

INSTITUTUL POLITEHNIC " TRAIAN VULIA " TIMISOARA  
Facultatea de electrotehnică

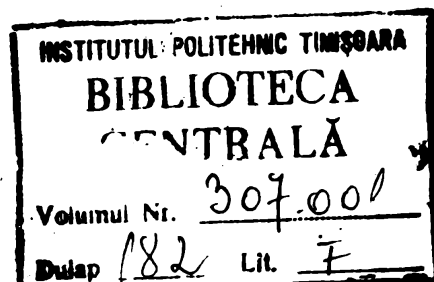
VINTILA CHIOREANU

" CERCETARI TEORETICE SI EXPERIMENTALE ASUPRA  
CONTACTULUI GLISANT PERIE-COLECTOR UTILIZAT  
LA MASINI ELECTRICE DE CURENT CONTINUU "

- t e z ă   d e   d o c t o r a t -

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

CONDUCATOR STIINTIFIC  
Prof.dr.ing. TOMA DORDEA



- 1 9 7 5 -

## INTRODUCERE

Preocupările cercetătorilor pentru studiul teoretic și experimental al contactelor electrice au fost determinate de o serie de consecințe nedorite ale proceselor fizice ce au loc în suprafața de contact (strivire, încălzire, eroziune, vaporizare).

Prin contact electric se înțelege ansamblul a două sau mai multor (piese) corpuri conductoare legate prin lipire (contacte fixe masive), prin strângere (contacte fixe de strângere) sau prin apăsare și alunecare (contacte glisante) care permite trecerea curentului electric de la o porțiune de circuit la alta, cu respectarea anumitor condiții dinainte impuse.

În lucrarea de față se studiază contactul glisant format de un colector de Cu de formă cilindrică, avînd suprafața crenelată și o perie de cărbune grafitat. Particularitățile acestui contact pot fi studiate plecînd de la cazul particular al unui contact simplu între două piese metalice, fixe una față de alta. cea mai largă răspîndire o au contactele glisante realizate între o piesă metalică și o piesă carbografică. Acest tip de contact se întîlnește în tracțiunea electrică cu fir de contact, la mașini electrice cu colector sau cu inele colectoare. Datorită posibilităților limitate ale contactului glisant între două piese solide de a conduce curenți de ordinul mîilor de amperi, în acest domeniu s-a impus contactul glisant lichid (între o piesă solidă și un jet de Hg) care prezintă marele avantaj că partea lichidă a contactului este într-o curgere continuă fiind deci exclusă încălzirea sa excesivă, sau vaporizarea, iar suprafața de contact cu piesa solidă este mult mai mare, pierderile prin frecare sînt practic neglijabile și ceea ce este esențial, densitățile de curent admisibile sînt (70-80 A/mm<sup>2</sup>) adică de 30-40 ori mai mari decît în cazul contactului glisant solid.

Contactul metal-lichid prezintă însă dificultăți de ordin constructiv, iar dacă se utilizează ca lichid Hg, mai apar o serie de inconveniente determinate de caracterul extrem de toxic al

vaporilor de mercur, de unde rezultă necesitatea închiderii sistemului de colectare într-o incintă perfect etanșă.

Dezvoltarea ascendentă a tracțiunii electrice din țara noastră cât și a ansamblului de centrale electrice, dotate cu sisteme de excitație rotative, constituie un domeniu de intensă utilizare a contactului perie-colector. De aici, necesitatea de studiere teoretică și experimentală a proceselor fizice care au loc în contactul glisant perie-colector (în continuare se va nota prescurtat : " contact p-c") și respectiv influența acestora asupra funcționării mașinilor electrice cu colector.

O alegere necorespunzătoare a periei pentru un regim dat de funcționare a mașinii electrice cu colector, sau o exploatare nerățională a contactului p-c, față de condițiile impuse inițial, au consecințe determinante (și ireversibile) atât asupra nivelului izolației din stator, dar mai ales din rotor, cât și asupra fiabilității mașinii electrice respective /160/.

Complexitatea proceselor de natură intrinsecă ale contactului p-c, cât și a factorilor întâmplători de origine externă, conferă acestui caz gradele de dificultate ale uneia dintre problemele cele mai complicate /24, 43, 7, 104, 50, 18, 39, 33, 90, 132/. Cercetările pe modelele realizate pînă în prezent /41, 137, 72, 155, 156/, au recurs la o serie de simplificări, care au îndepărtat stările cercetate de cele reale în suficientă măsură pentru ca rezultatele să aibă numai o valabilitate restrînsă. Evident, calea urmată este firească, însă o apropiere a modelului de situația reală a contactului p-c nu este exclusă, fiind deci posibilă o raționalizare în stabilirea normelor de alegere a periei și de exploatare a contactului p-c, pentru o mașină cu parametri și regim de funcționare date.

În aproape toate cazurile prezentate în literatura de specialitate, procesele din contactul p-c, sînt studiate pe modele formate din perii ce glisează pe colectoare cu suprafețe netede. Între acest caz și cel al unui colector real, cu suprafața crenelată, se interpun o serie de fenomene care influențează în mod hotărîtor calitățile contactului p-c.

Prin urmare este consacrat mai ales studiului fenomenelor microscopice, în timp ce pentru studiul fenomenelor macroscopice

statico și dinamic, se apelează uneori la modele de contact între perie și colector crenelat, cu lamele scurtcircuitate sau izolate (acesta din urmă fiind cel mai apropiat de cazul real).

În lucrarea de față se caută stabilirea limitelor de valabilitate a concluziilor deja verificate pe modele de contacte cu perii ce glisează pe colectoare netede (inele), în cazul contactului periei cu un colector cu lamele scurtcircuitate și respectiv cu un colector normal, cu lamele izolate, servind la comutația unui circuit R-L. Pe de altă parte se urmărește influența calității periei asupra procesului de comutație și mijloacele de stabilire a unei alegeri optime a sortului periei de contact.

Lucrarea se prezintă în cinci capitole:

- I) - Studii referitoare la teoria contactului electric.
- II) - Teoria contactului electric glisant perie-colector.
- III) - Realizări concepute pentru determinarea caracteristicilor contactului p-c.
- IV) - Cercetări experimentale asupra contactului perie-colector.
- V) - Contactul p-c în circuitul de comutare.
- VI) - Concluzii asupra lucrării.

Abordarea acestei teme are la bază necesitatea stringentă de a se pune la îndemâna întreprinderilor din țară ce construiesc sau exploatează mașini electrice cu colector, ca și a depourilor de locomotive electrice (LE) și Diesel electrice (LDE) mijloacele și metodele cele mai eficiente pentru alegerea optimă a periilor pentru mașini electrice.

Pentru studiile experimentale ale caracteristicilor contactului p-c, a fost realizat în cadrul Laboratorului de mașini electrice de la Facultatea de electrotehnică din Timișoara, un stand în două variante: 1) cu colector cu lamele scurtcircuitate ; 2) cu colector cu lamele izolate conectate la un circuit comutabil R-L, pentru studiul influenței contactului p-c asupra comutației.

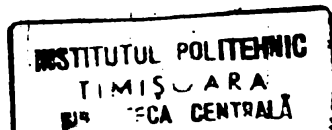
Lucrarea este în cea mai mare parte originală.

În cap.I se aduc completări (p. 16 + 20) și se efectuează sistematizarea documentației referitoare la teoria con-

tactului între piese metalice și conducția suprafețelor de contact, se interpretează printr-o analiză detaliată razele de dezvoltare a fritingului A și se subliniază raportul în care se modifică rezistivitatea punții formate prin friting față de cea a pieselor de contact când temperatura variază. În cap. II pe lângă sistematizarea materialului documentar se prezintă o nouă explicație a formării patinei pe colector (§ 2.2.1) care se verifică experimental în cap. IV, cauzele neuniformității patinei pe lățimea lamelei (§ 2.2.2), priviri critice asupra fritingului (p. 45-48) și precizări asupra conducției patinei. În cap. I și II, contribuția originală constă în completări, precizări și noi interpretări privind teoria contactului glisant perie-colector.

Capitolele III, IV și V sînt în întregime originale exceptînd unele relații de calcul statistic și ecuațiile comutației. În cap. III se prezintă o instalație complexă, de concepție originală, destinată cercetării experimentale a contactului p-c, într-o situație foarte apropiată de cazul real al mașinii de curent continuu, comparativ cu modelele existente în literatura consacrată. În cap. IV se efectuează o cercetare originală teoretică și experimentală asupra formării patinei pe colectorul lamelat pe care glisează perii carbo-grafitice, cu considerarea efectelor hîdrodinamice ale scurgerii aerului între lamele și perie; se face uz de caracteristicile V-A statice pentru analiza directă a contactului p-c și se elaborează o metodă statistică de determinare a corelației liniare între căderea de tensiune pe contact și densitatea curentului, avînd ca parametru presiunea periei pe colector. În cap. V se elaborează o metodă experimentală de determinare a influenței contactului p-c asupra comutației folosind un circuit R-L avînd aceeași parametrii, ca și bobina care comută, a mașinii de curent continuu pentru care se caută sortul optim de perie. Asocierea acestei metode cu aceea analizată a caracteristicilor statice V-A cu interpretarea statistică se prezintă ca o metodă unitară de selecționare optimă a periei pentru o mașină electrică dată.

Cercetarea contactului p-c, prezentată în lucrare, este laborioasă însă se justifică pe deplin dacă se ține

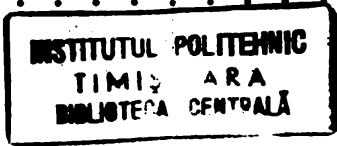


scama de importanța economică și tehnică a folosirii acestui contact în mașinile electrice de curent continuu în condițiile dezvoltării intense a tracțiunii cu locomotive electrice (LE) și Diesel electrice (LDE), a sistemelor de excitație rotative din centralele electrice și ale acționărilor electromecanice. La acestea se mai adaugă influența directă a contactului p-c asupra duratei de funcționare a acestor mașini . Din actualitatea acestor domenii de utilizare a mașinilor electrice de curent continuu rezultă și actualitatea acestei lucrări.

Concluziile la lucrare formează capitolul VI, după care se prezintă lista bibliografiei și anexele care cuprind 89 de tabele cu datele determinărilor experimentale și ale calculelor statistice.

CUPRINS

INTRODUCERE . . . . .	01
CAPITOLUL I. STUDII REFERITOARE LA TEORIA CONTACTULUI ELECTRIC . . . . .	1
1.1. Particularitățile contactului metalic de strângere . . . . .	1
1.2. Trecerea curentului electric prin su- prafața de contact . . . . .	5
1.2.1. Conducția electrică a suprafețelor "a" . . . . .	5
1.2.2. Conducția electrică a suprafețelor "A <sub>b</sub> " . . . . .	9
1.2.3. Conducția electrică a suprafețelor "A <sub>a</sub> " . . . . .	18
1.2.3.1. Fisurarea peliculei . . . . .	18
1.2.3.2. Fritingul . . . . .	19
1.2.3.3. Dimensiunile și rezistența punții . . . . .	26
1.2.3.4. Parametrii electrici ai zonei de contact . . . . .	29
1.3. Concluzii . . . . .	29
CAPITOLUL II. TEORIA CONTACTULUI ELECTRIC GLISANT PERIE-COLECTOR . . . . .	30
2.1. Particularitățile contactelor electri- ce glisante perie-colector . . . . .	30
2.2. Formarea patinei pe suprafața colecto- rului . . . . .	32
2.2.1. Formarea patinei fără trecerea curen- tului electric . . . . .	34
2.2.2. Formarea patinei la trecerea curen- tului electric prin contact . . . . .	37



2.3.	Trecerea curentului electric prin contactul p-c . . . . .	40
2.3.1.	Conducția electrică prin fritinguri . . . . .	40
2.3.1.1.	Influența polarității periei asupra conducției patinei la contactul p-c . . . . .	47
2.3.2.	Conducția electrică a patinei prin efect semiconductor . . . . .	52
2.4.	Concluzii . . . . .	57

CAPITOLUL III. REALIZARI CONCEPTE PENTRU  
DETERMINAREA CARACTERISTICILOR  
CONTACTULUI p-c .

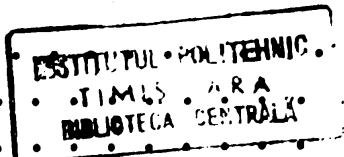
3.1.	Unele aspecte ale caracteristicilor funcționale ale contactului p-c . . . . .	59
3.2.	Realizări și cercetări privind experimentarea contactului p-c . . . . .	63
3.2.1.	Modele de experimentare diferențiată . . . . .	63
3.2.2.	Realizări proprii pentru studiul experimental al contactului p-c . . . . .	66
3.2.3.	Condițiile de experimentare a contactului p-c . . . . .	75
3.2.3.1.	Polul periilor . . . . .	75
3.2.3.2.	Condiții mecanice . . . . .	75
3.2.3.3.	Condiții electrice . . . . .	76

CAPITOLUL IV. CERCETARI EXPERIMENTALE ASUPRA  
CONTACTULUI p-c . . . . .

4.1.	Formarea patinei pe colectorul nerezistiv . . . . .	78
4.1.1.	Modarea periilor . . . . .	78
4.1.2.	Formarea patinei pe colector cu periele neparcuse de curent . . . . .	78
4.1.2.1.	Parcurs $0 / \text{km}$ . . . . .	79



4.1.2.2.	Parcurs 230 /km/ . . . . .	81
4.1.2.3.	Parcurs 860 /km/ . . . . .	84
4.1.2.4.	Parcurs 1500 /km/ . . . . .	85
4.1.2.5.	Parcurs 3100 /km/ . . . . .	86
4.1.2.6.	Parcurs 4400 /km/ . . . . .	87
4.1.2.7.	Parcurs 6600 /km/ . . . . .	88
4.1.2.8.	Parcurs 10.000 /km/ . . . . .	89
4.2.	Formarea patinei cu colectorul rectificat și echilibrat . . . . .	90
4.2.1.	Condiții de lucru . . . . .	90
4.2.2.	Efecte hidrodinamice în procesul de formare a patinei la contactul periiilor cu colectorul . . . . .	91
4.2.3.	Evoluția formei patinei și a caracteristicilor statice . . . . .	96
4.2.4.	Influența polarității periei asupra caracteristicii statice . . . . .	99
4.3.	Concluzii asupra etapei de rodare a contactului p-c . . . . .	104
4.4.	Cercetarea contactului p-c în cazul rotirii colectorului . . . . .	105
4.4.1.	Cercetarea experimentală a influenței densității de curent asupra căderii de tensiune pe contactul p-c . . . . .	108
4.4.1.1.	Periile de cărbune dur (C) . . . . .	108
4.4.1.2.	Periile metalo-grafitice (MG) . . . . .	112
4.4.1.3.	Periile electrografitice (EG) . . . . .	115
4.4.2.	Influența vitezei periferice asupra contactului p-c . . . . .	119
4.4.3.	Efectul lubrifiant al densității de curent asupra contactului p-c . . . . .	123
4.4.3.1.	Periile (C) . . . . .	126
4.4.3.2.	Periile (MG) . . . . .	127
4.4.3.3.	Periile (EG) . . . . .	128
4.5.	Concluziile caracteristicii statice a contactului p-c . . . . .	131



4.5.1. Metoda analizei statistico-matematice . . . . . 131  
4.5.2. Calculul ecuațiilor de regresie și  
funcțiilor de distribuție . . . . . 137  
4.6. Concluzii . . . . . 145

CAPITOLUL V. CONTACTUL p-c IN CIRCUITUL  
DE COMUTAȚIE

5.1. Realizarea comutației cu un circuit R-L . . . 148  
5.1.1. Influența contactului p-c asupra comuta-  
ției de rezistență . . . . . 152  
5.1.2. Influența contactului p-c asupra comuta-  
ției circuitului inductiv . . . . . 157  
5.2. Formele generalizate ale caracteristicilor  
statice . . . . . 165

CAPITOLUL VI. CONCLUZII . . . . . 168

BIBLIOGRAFIE . . . . . 171

ANEXE . . . . . 188

CAPITOLUL I.

STUDII REFERITOARE LA TEORIA CONTACTULUI ELECTRIC

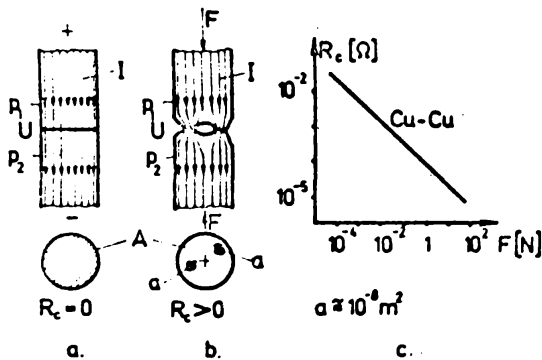
1.1. PARTICULARITĂȚILE CONTACTULUI METALIC DE STRINGERE.

Cercetarea fenomenelor ce au loc în contactul glisant solid este posibilă numai studiind în prealabil cazul particular al unui contact glisant aflat în repaus. Cazul cel mai general al contactelor glisante aflate în repaus îl poate constitui contactul de strângere între două piese metalice. Plecând de la acest caz, etapa imediat următoare o poate constitui contactul de strângere între o perie carbografică și o piesă metalică (în speță contactul p-c aflat în repaus) și în fine ultima etapă se poate materializa în contactul glisant între peria carbografică ca element fix și colectorul, cu suprafață crenelată, ca element mobil.

Cel care a aprofundat temeinic studiul fenomenelor ce au loc în contactele electrice a fost cercetătorul Ragnar Holm /79, 80, 81, 82, 19, 86, 87, 88, 89, 90, 91/ a cărui teorie este unanim recunoscută fiind de altfel și cea mai cuprinzătoare. Plecând de la teoria de bază a lui Holm privind contactele electrice de strângere între două piese metalice, alți cercetători au dezvoltat teoria contactului glisant solid /5, 160, 26, 65, 69, 73, 79, 75, 141/ între perii carbografice și colectoare metalice sau teoria contactului glisant lichid /106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 171/, constituit dintr-un element mobil metalic și o "perie" sub formă de jet de mercur, aceasta reprezentând și cazul cel mai general și mai complex al contactului glisant, când amândouă elemente de contact se află într-o continuă mișcare.

Contactul electric între două piese metalice, poate fi considerat "contact ideal" când suprafața reală de contact este egală cu suprafața aparentă (aria geometrică a fețelor aflate în contact), în care caz liniile densității curentului electric nu suferă strangulări la trecerea dintr-o piesă în alta, ca în fig.1.01 a (piesele fiind de secțiune constantă). Ariile frontale ale celor două porțiuni de bară, fig.1.01.a, dispuse

Într-un contact de strângere perfect axial, se numesc "suprafețe aparente de contact". Spre deosebire de acestea, "suprafețele reale de contact", sînt mult mai mici și ele pot lua naștere prin modalități diferite, în funcție de starea suprafețelor de contact, de forța de apăsare, de tensiunea dintre suprafețe, de temperatura contactului și de o serie de factori externi. Teoretic se poate spune că rezistența de contact  $R_c$ , determinată ca raportul între tensiunea  $U$  (măsurată între



două puncte  $p_1$  și  $p_2$  imediat vecine de o parte și cealaltă a suprafeței de contact) și curentul  $I$  ce parcurge suprafața totală de contact, este nulă în cazul a) și mai mare decât zero în cazul b) din fig. 1.01. Practic însă depinde de forța de apăsare  $F$  ca în fig.

Fig.1.01. Rezistența de contact ideală între două piese metalice curate.

1.01.c dacă piesele de contact sînt de cupru /1, 84, 107, 144/. Chiar și la cel mai înalt grad de prelucrare, pînă la lustruire, a suprafețelor de contact și curățirea perfectă a acestora nu se obține un contact intim pe toată suprafața (aparentă)  $A$  ci numai un contact în cîteva puncte ale suprafeței  $A$ , de forma suprafețelor  $a_i$  (numite suprafețe Herz), ca în fig.1.01.b, astfel încît există totdeauna relația:

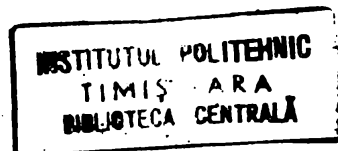
$$\sum_i a_i < A \quad (1.1)$$

Ca urmare liniile de curent în cazul fig.1.01.b se strâng în interiorul suprafețelor Herz, rezistența reală de contact rezultînd totdeauna mai mare decât rezistența aparentă, aceasta neavînd de fapt decît o semnificație fictivă, adică:

$$R_c = \rho \sum_i \frac{d_i}{a_i} \quad (1.2)$$

sau

$$\frac{U}{\rho \sum_i \frac{d_i}{a_i}} < \frac{U}{\rho \frac{L}{A}}$$



unde s-a notat cu :  $d_1$  - distanța dintre două plane paralele, de o parte și de alta a suprafeței de contact, între care liniile de curent sînt intens deformate față de cazul ideal din fig.1.01.a;  $\rho$  - rezistivitatea pieselor de contact;  $l$  - o lungime egală cu media aritmetică a valorilor  $d_1$ ;  $A$  - aria geometrică a suprafeței de contact. În continuare prin rezistență de contact se va înțelege rezistența determinată de totalitatea suprafețelor Herz cuprinse în aria  $A$ , suprafețe care strângulează liniile de curent și contribuie efectiv la conducția electrică între cele două piese de contact. În acest caz, de contact real, se obișnuiește să i se spună rezistenței de contact  $R_c$ , "rezistență de stricțiune" /87, 117/. Deoarece noțiunea de "stricțiune" implică și deformații volumetrice reversibile și reciproce, privite în raport cu efectele cîmpului magnetic (magnetostricțiune pozitivă și negativă) /19, 157, 29/, este de preferat a doua formulare, ca redînd mai fidel efectul de concentrare a liniilor densității curentului electric de către suprafețele Herz. Diferența între rezistența reală de contact și rezistența aparentă, apare numai datorită deformării liniilor de curent în urma strângulării lor în suprafețele elementare de contact.

Cazul descris poate fi considerat ideal, deoarece s-a admis că suprafețele reale de contact perfect prelucrate și curățite sînt egale cu suprafețele aparente. În realitate gradul de prelucrare își pierde din valoare după cîteva încălziri și răcirii repetate ale contactului cît și datorită deformațiilor plastice în punctele de contact care preiau forța de apăsare. Pe de altă parte oricum ar fi curățite suprafețele de contact, după un timp foarte scurt (la unele metale, de ordinul câtorva sutimi de secundă) ele se acoperă cu straturi de impurități, neuniform repartizate, constituite fie din straturi moleculare adezive, fie din combinații chimice sub formă de oxizi, sulfuri, carburi etc. Grosimea acestor pelicule /81, 84/ poate varia de la 1 Å ( $10^{-10}$  m) pînă la 1000 Å ( $10^{-7}$  m) sau chiar mai multe mii de Å. Prin urmare în cazul contactului real, rezistența de contact  $R_c$  va mai cuprinde și alți termeni pe lîngă rezistența de strângulare  $R_s$  datorată numai deformației liniilor densității curentului electric, stricțiunii acestor linii, în piesele de contact în imediata veci-

nătate a suprafeței de contact. Notînd cu  $R_{s1}$  și  $R_{s2}$  rezistența de strangulare în piesa de contact 1 respectiv 2 și cu  $R_p$  rezistența peliculei dintre piesele de contact, rezistența totală de contact va fi :

$$R_c = R_{s1} + R_{s2} + R_p \quad (1.3)$$

Trecerea curentului prin peliculă are loc în moduri diferite la diferite grosimi ale acesteia, așa cum se va arăta în continuare, încît  $R_p$  nu corespunde valorii rezultate din legea lui Ohm.

După R.Holm /81/, în funcție de proveniență și structură, aceste pelicule sînt de patru feluri: 1. Pelicule de oxizi și sulfizi, numite și pelicule de întunecare (cîteva sute de Å); 2. Pelicule adezive; 3. Pelicule pasivizante și 4. Pelicule unguente.

Datorită repartiției neuniforme a acestor pelicule, și mai ales datorită denivelărilor suprafețelor de contact, totdeauna are loc și o repartiție neuniformă a eforturilor mecanice de compresiune, deoarece întreaga forță de apăsare  $F$  este preluată de proeminențele aflate în contact, a celor două suprafețe ale pieselor de contact. În punctele unde proeminențele sînt mai mari, eforturile mecanice ating valorile maxime, încît pelicula este expulzată dintre piesele de contact și în urma deformației plastice a metalului, se obține un contact pur metalic, adică tocmai suprafețele de contact de tip Herz, suprafețele "a". Intre alte proeminențe în contact, peliculele vor exista și vor avea grosimi diferite, după proveniența lor și nivelele asperităților. Prin urmare, considerînd /149/ o suprafață elementară  $A_a$ , care preia forța de apăsare  $F$ , în tot domeniul acestei suprafețe se pot afla sectoare de contact, fie pur metalice de tipul "a", fie cu pelicule interpușe ca sectoarele  $A_b$  din fig.1.02, prin care se realizează numai un contact cvasimetalic și din care se consideră excluse suprafețele "a". Peliculele  $A_b$  nu depășesc în general grosimea de (15 - 30) Å /76, 81/, lor fiindu-le astfel caracteristică conducția prin efect Tunel. Sectoarele  $A_a$  din care se consideră excluse ariile "a" și " $A_b$ " sînt acoperite cu pelicule mai groase (de obicei peste 30-50 Å) pînă la cîteva sute sau mii de Å, prin care este pre-

ponderentă conducția prin efectul "Friting", conducția prin efect Tunel fiind practic neglijabilă. La intensități ale câmpului electric ce nu declanșează conducția prin friting, aceste pelicule sînt electroizolante.

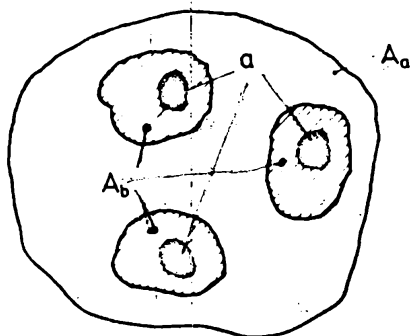


Fig.1.02.Sectoarele suprafeței de contact între două piese metalice:  
 - "Aa" - suprafața care preia efortul  
 - "Ab" - suprafața cu peliculă  
 - "a" - suprafață pur metalică (Herz).

## 1.2. TRECEREA CURENTULUI ELECTRIC PRIN SUPRAFAȚA DE CONTACT.

Tinînd seama de cele trei tipuri de sectoare din suprafața de contact, se dis-

tîng mecanisme diferite de conducție electrică prin fiecare fel de sector în parte.

### 1.2.1. CONDUCTIA ELECTRICA A SUPRAFETELOR " a " .

Datorită formării contactului pur metalic în suprafețele "a", prin expulzarea oricărui material străin /84, 42, 110/, trecerea curentului electric are loc prin conducția electronică, ca în orice cristal metalic, în care la temperatura ambianță normală, există electroni liberi ale căror energii sînt cuprinse în banda de conducție /154, 157, 174/. Cum conducția electrică a metalelor se caracterizează prin coeficient de temperatură al rezistivității pozitiv ( $\alpha_{\theta}(\vartheta) > 0$ ), rezultă că rezistivitatea și respectiv rezistența de strangulare, crește cu creșterea temperaturii. În ipoteza unei temperaturi constante ( $\frac{d\vartheta}{d\theta} = 0$ ), este posibil, în cazuri simplificate, să se calculeze rezistența de strangulare  $R_s$ . Astfel, presupunînd /107/ două medii conductoare infinite  $M_1$  și  $M_2$  aflate în contact printr-un plan electroizolant  $P_i$  considerat perpendicular pe planul hîrtiei ca în fig.1.03 admitem că mediile se află într-un contact pur metalic pe cuprinsul unei suprafețe circulare (fig.1.03.b) de rază  $r_a$ , în locul unde planul  $P_i$  prezintă o ascendență deschidere. La aplicarea unei tensiuni între cele

două medii conductoare, prin secțiunea circulară de contact metalic, va trece un curent electric. Liniile densității curentului electric, vor fi puternic deformate în apropierea suprafeței de contact metalic, atât în  $M_1$  cât și în  $M_2$ , datorită strângării lor în interiorul acestei suprafețe. Dacă în

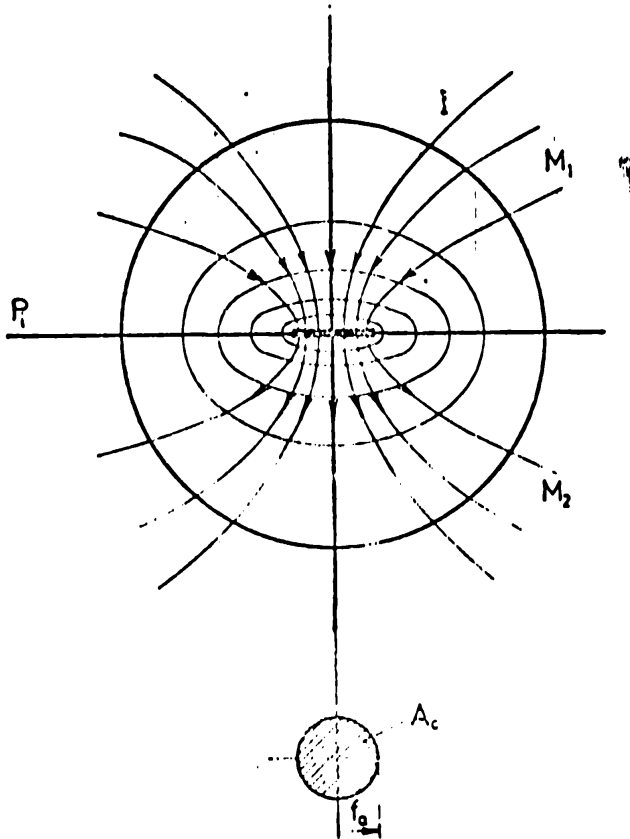


fig.1.03 se trasează și suprafețele echipotențiale, astfel ca distanța între două suprafețe vecine să corespundă la  $1/6$  din diferența de potențial între suprafața circulară  $A_c$  (de tipul "a") și o suprafață echipotențială aflată la  $\infty$ , respectiv la  $1/6$  din rezistența totală de strângulare, se constată  $1/81, 84, 144/$  că practic  $5/6$  din  $R_S$  (adică aproape întreaga rezistență de strângulare) este cuprinsă între suprafața de contact  $A_c$  și o suprafață echipoten-

Fig.1.03. Explicativă la rezistența de strângulare, în suprafața de contact  $A_c$  de formă circulară.

țială situată la o distanță, măsurată din centrul suprafeței  $A_c$ , egală cu dublul diametrului suprafeței  $A_c$  \*).

Din calcule /84 p.22, 183 p.164/ rezultă:

$$R_S = R_{S1} + R_{S2} = \frac{\rho_1}{4r_a} + \frac{\rho_2}{4r_a} \quad (1.4)$$

unde:  $r_a$  - este raza suprafeței de contact  $A_c$ , iar  $\rho_1$  și  $\rho_2$  rezistivitățile celor două medii conductoare  $M_1$  și  $M_2$ . Când

\* ) Cu această aproximație rezultă că rezistența  $R_S$  poate fi calculată cu neglijarea rezistenței mediului conductor pe porțiunea în care densitatea de curent e uniform distribuită.



ambele medii sînt din același material, cu rezistivitatea  $\rho$ , rezistența de strangulare este /144 p.164/ :

$$R_S = \frac{\rho}{2 r_a} \quad (1.5)$$

Din relația (1.5) se poate constata că la medii bune conductoare apar rezistențe de contact foarte mici, chiar la suprafețe  $A_c$  mici în care are loc strangularea liniilor densității curentului. Astfel la cupru cu  $\rho_1 = \rho_2 = \rho = 157 \cdot 10^{-10} / \Omega \cdot m$ , la un diametru al suprafeței  $A_c$  de numai 1 mm, rezultă  $R_S = 0,9 \cdot 10^{-5} \Omega$ .

Pentru alte forme ale suprafeței de trecere  $A_c$ , cum ar fi cea eliptică, s-a calculat rezistența de strangulare /81 p.29, 39 p.55/ obținîndu-se :

$$R_S = \frac{2 \rho}{\pi(\alpha + \beta)} K(k) \quad (1.6)$$

unde:  $\alpha$  și  $\beta$  sînt semiaxele suprafeței eliptice, iar  $K(k)$  este integrală eliptică de speța I, modulul  $k$  avînd valoarea

$$k = \frac{\alpha - \beta}{\alpha + \beta}$$

În cazul suprafeței  $A_c$  de formă eliptică (fig.1.04) suprafețele echipotențiale nu mai sînt sferice ci elipsoidale.

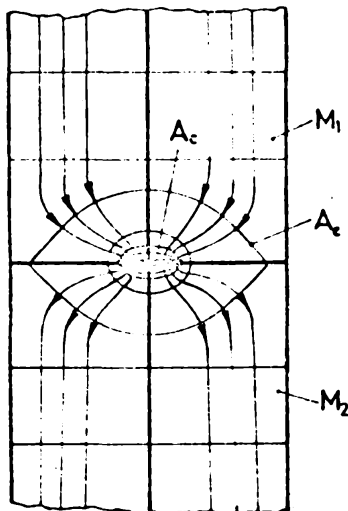


Fig.1.04. Explicativă la rezistența de strangulare în suprafața de contact  $A_c$  de formă eliptică.

Pentru cazul suprafeței de contact  $A_c$  linieformă, de lungime  $l$  și lățime  $2 r_a$ , s-a obținut /119,114/ următoarea relație :

$$R_S = \frac{2 \rho}{\pi l} \ln \frac{r_e}{r_a} \quad (1.7)$$

unde  $r_e$  reprezintă distanța de la axa suprafeței de contact pînă la o suprafață  $A_e$  dincolo de liniile densității de curent sînt uniform distribuite și ne-deformate.

În cazul în care vine în considerare o suprafață totală

de contact  $A_a$  (vezi fig.1.02) în care se află  $n$  suprafețe de contact  $A_c$  de tipul "a", uniform distribuite, avînd fiecare forma eliptică cu semiaxele  $\alpha$  și  $\beta$ , cu distanța între centrele a două suprafețe elementare egală cu  $2l$ , rezistența de strangulare  $R_S$ , pentru ambele piese de contact, se calculează /81 p.34, 39 p.56/ cu relația:

$$R_S(n, a, l) = 2 \rho \left[ \frac{f(\gamma)}{2 \cdot n \cdot a} \cdot \text{arc tg } \frac{l}{a} - \frac{l}{A_a} \right] \quad (1.8)$$

unde:

$$a = \sqrt{\alpha \cdot \beta}$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}}$$

$$f(\gamma) = \frac{4\delta}{\pi(1+\gamma^2)} K(M),$$

în care  $K(M)$  este integrală eliptică de speța I, iar

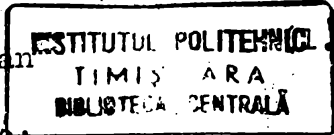
$$M = \frac{(\gamma^2 - 1)}{(\gamma^2 + 1)}$$

este modulul.

Dacă vine în considerare cazul unor suprafețe elementare neegale între ele, relația (1.8) rămîne valabilă, cu condiția ca să se utilizeze valoarea medie a acestor suprafețe. De asemenea, relația este valabilă și în cazul în care în suprafața  $A_a$  există o singură suprafață elementară de contact. În cazul  $\alpha = \beta$ , relația se simplifică, funcția  $f(\gamma)$  obținînd valoarea 1.

Un alt caz îl prezintă existența, în suprafața  $A_a$ , a mai multor suprafețe elementare neuniform distribuite și inegale ca valoare, dar avînd fiecare o formă circulară /183 p.166/. Considerîndu-se din nou  $n$  suprafețe elementare, avînd fiecare diametrul  $d_n$ , astfel distanțate între ele ca liniile densității de curent să nu se influențeze reciproc, conductanțele de strangulare, ale suprafețelor elementare, se însumează /183 p.167/, ținînd seama de (1.5):

$$\frac{1}{R_{S\Sigma}} = \sum_1^n \frac{2 \cdot r_{an}}{\rho} = \frac{2}{\rho} \sum_1^n r_{an}$$



de unde rezistența totală de strangulare:

$$R_{S\Sigma} = \frac{\rho}{2 \sum_1^n r_{an}} = \frac{\rho}{\sum_1^n 2 \cdot r_{an}} = \frac{\rho}{\sum_1^n d_n} \approx \frac{\rho}{2 \cdot n \cdot r_a} \quad (1.10)$$

unde s-a considerat  $r_a$  ca medie a valorilor  $r_{an}$ .

Dacă suprafețele elementare  $A_c$ , sînt atît de apropiate încît, domeniile lor în care are loc strangularea liniilor densității de curent, se influențează reciproc, se obține o creștere a rezistenței de strangulare  $R_g$ . Creșterea rezistenței se explică prin faptul că, valoarea medie a distanței de la centrul suprafeței elementare pînă la suprafața echipotențială  $A_e$ , dincolo de care liniile densității de curent sînt uniform distribuite, este acum mai mare.

### 1.2.2. CONDUCTIA ELECTRICA A SUPRAFETELOR $A_b$ .

Armăturile între care se realizează un contact, cum s-a arătat la punctul 1.1., sînt acoperite cu pelicule de diferite proveniențe și structuri. La o anumită forță de apăsare  $F$ , în jurul suprafețelor de tip Herz, datorită formei denivelărilor suprafețelor, se pot distinge suprafețe care realizează un contact cvasimetalic, fiind interpusse între suprafețele pieselor de contact, pelicule subțiri (20 - 30 Å). Asemenea pelicule se formează totdeauna pe suprafețe metalice, la un timp foarte scurt /84 p.111/, chiar după o curățire foarte îngrijită a acestor suprafețe (de ex. prin încălzire în vid pînă la incandescență). Pelicule cu grosimi de (20 - 30) Å pot să apară, fie în urma unei compresiuni insuficiente (între vîrfuri mai puțin proeminente) pentru expulzarea totală a materialului străin, fie prin formarea de pelicule adezive provenite prin adsorbție, la suprafața metalului, de atomul de gaze (de obicei oxigen), ioni sau molecule de apă, uleiuri, etc./107, p.317/.

R.Holm /81/ arată că cea mai cunoscută peliculă adezivă, constă din atomi de oxigen. Pe suprafața perfect curată, a unui metal supus acțiunii aerului, se depune oxigen, sub formă de molecule, fizic adsorbite prin forțe mici de legătură Van der Waals.

La temperatura contactului (80 - 100°C), este suficient un timp scurt pentru ca aceste molecule să disocieze foarte repede sub acțiunea catalitică a metalului. Consumitent, atomii pot fi chemoabsorbiți, adică legați covalent cu atomii metalului. Becker /10 p.73/, studiind straturile chemoabsorbite, a stabilit că pe Wolfram există două asemenea stra-

turi și că atomii primului strat au legături, mai puternice cu atomii metalului, decât au atomii celui de al doilea strat, deși se presupune că toți atomii de oxigen ating suprafața metalului. Becker numește aceste straturi: "adatomice". Primul strat posedă o energie de adsorbție de aproximativ 4 /eV/, iar cel de al doilea de 2 /eV/. Inșă nu toți atomii de O sînt chemoadsorbiți, ci există numai un strat de atomi de O legați fizic de metal (prin forțe Van der Waals). Această legătură este cu aproximativ un ordin de mărime mai slabă decât legătura chimică, dar rezistă la eforturi de compresiune, aproape de același ordin ca și metalul, în schimb poate fi ușor învinsă prin frecare.

Aceste pelicule atomice, foarte subțiri, se caracterizează /84 p.122/ prin conducție tunel, iar rezistivitatea peliculei depuse pe diferite metale, are aproape aceeași valoare ca și pentru W. Rezultă că straturile de oxigen chemoadsorbite pe diferite metale, au aceeași natură fizică și aceleași proprietăți.

Chemoadsorbtia, se poate explica apelînd la stările învelișurilor electronice ale atomilor de O și de Cu. Se știe /29, 95, 48/ că, O are în starea 2p doi electroni de spini paraleli, deci necompensați, iar Cu are un electron necompensat în starea 4s, de energie mai mare ca cea a stării 2p. Deci atomul de O (în virtutea regulii de maximă multitudine a lui Hund și a principiului excluziunii a lui Pauli), i se atașează un electron de la un atom vecin de Cu, prin trecerea acestuia pe un nivel de energie mai mică. Prin urmare la suprafața metalului se formează un strat de sarcină negativă, adioni negativi, și apare un cîmp imprimat orientat după normala la suprafața metalului. În consecință se mărește lucrul de extracție a electronilor din rețeaua de cupru. De exemplu pentru W curat /81 p.39/, lucrul de extracție este 4,2 - 5,5 /eV/, iar în prezența adioniilor lucrul de extracție crește la 6,6 /eV/. În schimb prezența stratului de adioni de O, determină strănlații ale ionilor de Cu, datorită cîmpului electric imprimat, spre stratul exterior de adatomi, formîndu-se astfel legături covalente și strat de oxid de cupru. Prin urmare, după un anumit timp de la formarea stratului de adatomi, începe formarea stratului de oxizi, deci, a peliculei de întunecare. Această peliculă se formează și crește în grosime, din spre interior spre exterior /107/. Evident că există și o translație inversă, de adion de O spre re-

țeaua atomică de Cu, dar aceasta este neglijabilă față de difuzia ionilor de Cu în spre exterior. Stratul de oxid de cupru va imprima un anumit caracter specific, conducției electrice între piesele de contact, așa cum se va arăta în paragraful următor (1.2.3).

Asemenea pelicule pot ajunge la grosimi mai mari de 30 Å și prin urmare, într-un asemenea caz, ele nu vin în considerare la teoria contactului prin suprafețe de tipul  $A_p$ . În schimb moleculele care formează pelicule adezive, legate slab de atomii metalului (legăturile Van der Waals scad cu puterea a 7-a a distanței), sînt sub grosimea de 30 Å și dispar ușor prin frecare. La pelicule cu grosimi atît de mici, se constată că rezistența electrică de volum, la trecerea curentului electric, diferă față de valoarea determinată corespunzător legii lui Ohm. Aceasta datorită faptului că, la apropieri atît de mici ale pieselor metalice de contact, este caracteristică conducția prin efect tunel. Există păreri relativ apropiate între diverși autori /84, 28, 107, 181, 136, 169, 61, 210, 211/ în ce privește condițiile în care apare conductibilitatea tunel, cît și asupra influenței acestia asupra proprietăților contactului între metal și pelicula de oxizi de pe suprafața sa. Dacă se consideră structura microscopică a metalului, în cazul ideal al unei rețele cristaline simetrice, atomii metalului au poziții cvasistabile în nodurile rețelei și localizează în jurul lor electronii cu excepția a cel puțin cîte unui electron, pentru fiecare atom, care la temperaturile tehnice se manifestă ca electron liber, cu posibilitate de mo-

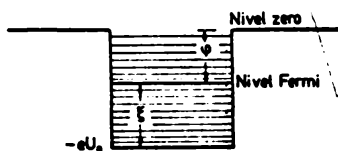


Fig.1.05. Groapa de energie potențială a metalelor.

bilitate în întregul spațiu interatomic al rețelei. La temperatura de zero grade absolute /0/°K/ se va nota în continuare simplu OK/, electronii pot avea orice viteză de la zero pînă la o valoare maximă și respectiv orice energie cuantificată de la zero pînă la o valoare maximă  $\xi$  :

Luînd în considerare numai energiile de valori discrete ale electronilor din banda de conducție și notînd cu  $\xi$  valoarea maximă a energiei pe care o poate a-

vea electronul la OK, față de cel mai scăzut nivel din banda de conducție, reprezentarea zonei de conducție prin nivele energetice apare ca în fig.1.05. Nivelul de energie  $\xi$  este nivelul Fermi. Celelalte valori de energii mai mari decât  $\xi$ , pe care electronii le pot obține cât timp se găsesc în câmpul de influență al sistemului de microparticule al rețelei atomice, pot atinge valoarea cel mult egală cu  $\varphi$ , constituind lucrul de extracție a electronilor din atom. La o energie egală sau mai mare ca  $\varphi$ , electronul poate părăsi rețeaua atomică deci poate fi emis în spațiul liber înconjurător. Referindu-ne la o armătură metalică, energiei totale ( $\xi + \varphi$ ) îi corespunde un potențial:

$$U_0 = \frac{\xi + \varphi}{e} \quad (1.11)$$

("e" fiind sarcina electronului), care în spațiul din afara metalului este nul. Se obține astfel, pentru domeniul metalului, imaginea gropii de potențial. După E.Spenke /180/, dat fiind că între rețeaua atomică a metalului și mediul exterior poate fi luat un potențial  $U \neq 0$ , trebuie făcută deosebirea

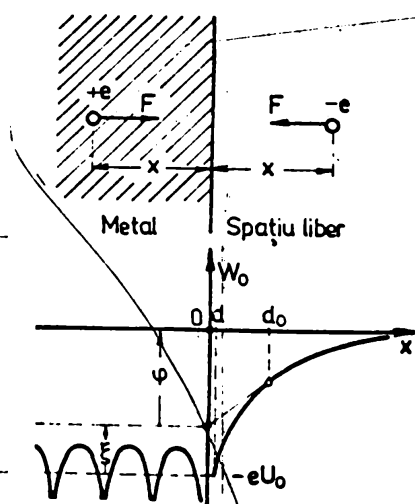


Fig.1.06. Explicativă la forța imaginii și variației energiei potențiale microscopice.

între acest potențial, numit macroscopic și potențialul  $U_0$ , numit microscopic și care determină energia potențială microscopică  $W_0$ . Energia potențială totală, apare, pentru  $U \neq 0$ , ca sumă a energiilor potențiale microscopice și macroscopice,

$$W_{\text{pot}} = W_0 + W = -e(U_0 + U) \quad (1.12)$$

Prin urmare, bariera de potențial ce apare la frontiera metal-spațiu liber, se explică numai prin energia potențială microscopică. Dintre încercările de a explica bariera de potențial nu microscopic ci macroscopic /67, 136/, mai plausibilă este aceea a forței imagine (sau oglindă) care se manifestă, asupra electronului ieșit din metal, de către o sarcină egală dar pozitivă, aflată în metal în punctul de imagine a electronului

față de suprafața metalului (fig.1.06). Cu notațiile din fig. 1.06, forța imagine este :

$$F = \frac{-e^2}{4\pi (2x)^2 \epsilon_0} \quad (1.13)$$

unde  $\epsilon_0$ , este permitivitatea vidului. Energia potențială microscopică, din care derivă această forță ( $F = -dW_0/dx$ ), rezultă:

$$W_0 = \frac{-e^2}{16\pi \cdot \epsilon_0 \cdot x} \quad (1.14)$$

de unde se constată că valabilitatea acestei relații se extinde de la o valoare a lui  $x$  cel puțin egală cu " $d$ ", la care  $W_0$  rămîne încă constantă și în afara metalului, pînă la  $x = \infty$ , unde  $W_0 = 0$ . Deci la  $x < d$ , legile interacțiunii dintre electron și imaginea sa din metal, nu se identifică cu (1.14), deoarece  $W_0 = \infty$ , la  $x = 0$ , constituie un non sens.

La contactul între două metale, sau metal și semiconductor, pentru trecerea barierei de potențial de către electroni, e suficient să se transmită joncțiunii o energie egală cu sau mai mare ca diferența lucrurilor lor de extracție, fiindcă nivelele lor Fermi coincid, la echilibru termodinamic. Ca urmare Schotky /168/, înlocuiește curba  $W_0 = f(x)$ , pe domeniul  $x = d_0$ , cu tangenta la curbă, dusă din punctul de intersecție a dreptei  $-\psi = f(x)$  cu axa ordonatelor. Acest punct de vedere

a fost adoptat și de către alți cercetători /84, 61, 67, 107, 211/.

La apropierea a două armături, din același metal, pînă la o distanță  $x < 30 \text{ \AA}$ , prin superpoziția curbelor  $W = f(x)$  fig.

1.06, se obține configurația variației energiei ca în fig.1.07 a ( $W_0 = f(x)$  reprezentată prin curba cu linie întreruptă). Prin urmare, forma barierei de potențial, depinde de distanța dintre armături, încît la valori de  $20 - 30 \text{ \AA}$ , lățimea barierei devine propice pentru efectul tunel. În adevăr, for-

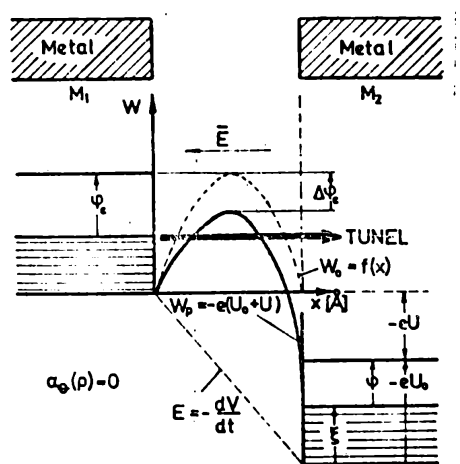


Fig.1.07.a. Explicativă la efectul tunel.

ma barierei din fig.1.07 a (curba intreruptă), presupune ca electronului liber să i se transmită o energie mai mare sau egală cu  $\varphi_e$ , pentru ca el să poată fi extras din rețeaua atomică a primului metal și să ajungă în rețeaua celui de al doilea. Această energie de extracție a electronului poate deveni mai mică, dacă la suprafața metalului se crează un câmp electric ( $E = -\frac{dv}{dx}$ ) orientat spre metalul  $M_1$  (din stînga), din care se presupune că se urmărește extragerca electronului (cîmpul  $E = f(x)$  este reprezentat cu linie intreruptă în fig.

1.07.a). Se constată că valoarea maximă a barierei scade cu  $\Delta\varphi_e$  și electronul poate fi extras pe scama unei energii de numai ( $\varphi_e - \Delta\varphi_e$ ). In teoria cuantică a conducției electrice, se demonstrează că electronii din primul metal, pot trece în cel de al doilea și cînd ei posedă o energie mai mică decît ( $\varphi_e - \Delta\varphi_e$ ), adică ca și cum nu ar escalada ci ar penetra (ca printr-un tunel) bariera de potențial. După conceptele teoriei cuantice, apariția conductibilității electrice, la aplicare unui câmp electric de intensitate  $E$ , se identifică cu viteza de variație a vectorului de undă  $K(r)$ , viteză constantă la cîmp constant. Aceasta este totodată viteza de grup a punctelor caracteristice din spațiul vectorului  $K(r)$ , care corespund stărilor electronului, ea fiind aceeași în puncte identice ale rețelei periodice și schimbul de stări ale electronilor, în două puncte din două spații conductoare, are loc după direcția cîmpului și dacă mediul este intrerpt, pe cîteva distanțe sau zeci de distanțe atomice ( $a = 1 \text{ \AA}$ ), deși în acest spațiu potențialul macroscopic se interpune între potențialele selfconsistente ale celor două rețele atomice ale pieselor metalice. Astfel conducția are loc chiar la energii ale electronilor mai mici ca ( $\varphi_e - \Delta\varphi_e$ ) cînd lățimea barierei (explicată după concepte clasice) nu depășește 20-30 de distanțe atomice, ceea ce este echivalent cu a spune că electronul penetrează bariera de potențial, ca printr-un tunel. De aici denumirea de efect "tunel".

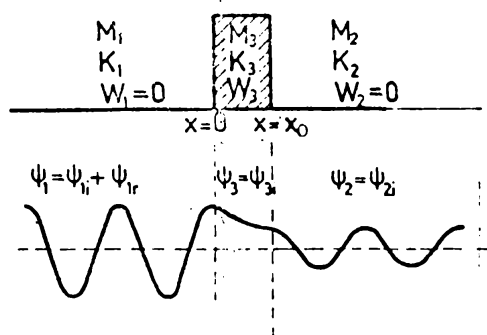


Fig.1.07.b. Explicativă la efectul tunel.  $M$ -mediu;  $k$ -vector de undă;  $W$ -energia totală a electronului;  $-$ funcția de undă;  $i$ -incidență;  $r$ -reflecată.

de efect "tunel" .



Aceasta se explică /23/, după teoria cuantică, prin faptul că ecuația lui Schrödinger are soluții diferite de zero atât în cele două metale cât și în interstițiul dintre ele (în bariera de potențial; care în alte cazuri este urmarea unor efecte termoelectrice de contact). Reconsiderând cazul din fig. 1.07.a, reprezentat ca în fig.1.07.b, soluțiile ecuației temporale a lui Schrödinger /95, 141/, se pot scrie pentru fiecare zonă a mediului parcurs de unda atașată electronilor /157, 168/; astfel:

$$\Psi_1 = A_{1i} \cdot e^{j(K_1 x - \omega t)} + A_{1r} \cdot e^{j(-K_1 x - \omega t)}$$

$$\Psi_2 = A_{2i} \cdot e^{j(K_2 x - \omega t)} + A_{2r} \cdot e^{j(-K_2 x - \omega t)}$$

Dar cum în mediul  $M_2$  nu au loc reflexii, termenul al doilea din membrul doi este nul. Deci

$$\Psi_2 = A_{2i} \cdot e^{j(K_2 x - \omega t)}$$

și

$$\Psi_3 = A_{3i} \cdot e^{j(K_3 x - \omega t)} + A_{3r} \cdot e^{j(-K_3 x - \omega t)}$$

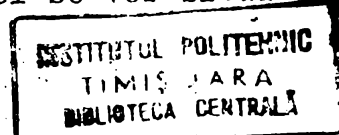
Dar cum  $W_3 > W_1$ , energia rezultantă este  $(W_1 - W_3) < 0$  și deci vectorul de undă este o mărime imaginară  $K_3 = j \cdot K_3$ , iar funcția de undă devine:

$$\Psi_3 = A_{3i} \cdot e^{-K_3 x} \cdot e^{-j\omega t} + A_{3r} \cdot e^{+K_3 x} \cdot e^{-j\omega t}$$

însă acum  $x = 20 - 30 \text{ \AA}$  se poate neglija  $e^{+K_3 x}$  și :

$$\Psi_3 = A_{3i} \cdot e^{-K_3 x} \cdot e^{-j\omega t}$$

de unde rezultă că funcția de undă, în interstițiul dintre piesele de contact, se atenuează exponențial, dar nu se anulează dacă grosimea barierei de potențial nu depășește o anumită valoare. Cu alte cuvinte în  $M_2$  ajung electroni din  $M_1$  caracterizați de aceeași funcție de undă, dar de amplitudine mai mică, ( $K_1$  și  $K_2$  sînt numere reale). Electronii în  $M_2$  vor avea deci aceeași energie totală ca și în  $M_1$ , deci se vor situa pe același nivel energetic.



Suprafețele de tip  $A_p$ , pe care straturile de material străin sînt, sau au fost, reduse la grosimi mai mici de cîtiva  $\text{\AA}$  și care deci conduc prin "efect tunel", nu trebuie să coincidă cu suprafețele "a" și sînt în general mai mici.

Rezistența de contact este formată prin urmare din rezistența de strangulare  $R_S$ , din cele două piese de contact și rezistența de tunel  $R_T$  :

$$R_C = R_S + R_T \quad (1.15)$$

Rezistența de tunel, poate avea ordinul de mărime de  $10^{-9} + 10^{-12} \Omega m^2$  /87, 110/, în funcție de grosimea peliculelor străine care conduce prin efect tunel.

Dacă  $U_T$  este căderea de tensiune determinată de trecerea curentului prin efect tunel cu densitatea de curent  $J_T$ , atunci rezistivitatea este :

$$\rho_T = \frac{U_T}{J_T}$$

și poate fi calculată ținînd seama de forma barierei de potențial /9, 84/, sau determinată experimental /84 p.124/. Astfel valorile calculate pentru diferite grosimi ale peliculei sînt reprezentate în fig.1.08, pentru valori diferite ale tensiunii dintre contacte și a lucrurilor de extracție a electronilor.

Dacă în interstițiul dintre piesele de contact se consideră, în locul aerului, un strat străin adeziv, acesta poate avea proprietăți semiconductoare, încît stărilor descrise cu fig.1.07 li se mai adaugă pe de o parte diferența de potențial de contact între metal și semiconductor (aici însă am presupus armăturile din același metal), iar pe de altă parte, efectul de diodă al contactului metal-semiconductor (se va nota în continuare "contact MOS"). Dacă însă este vorba de un strat semiconductor de numai cîtiva  $\text{\AA}$ , aflat la suprafața metalului, mai ales efectul de diodă devine neglijabil în raport cu "efectul tunel", sau chiar și cu cel de difuzie. În condițiile formării stratului semiconductor la suprafața piesei de contact, acesta trebuie considerat ca strat depus, deci suprafața de contact a acestuia cu metalul este chiar suprafața reală de contact. Diferența de potențial de contact care apare între metal și semiconductor și respectiv lățimea stra-

tului de baraj, nu poate constitui o bază a dezvoltării efectului de diodă, deoarece acest efect presupune existența

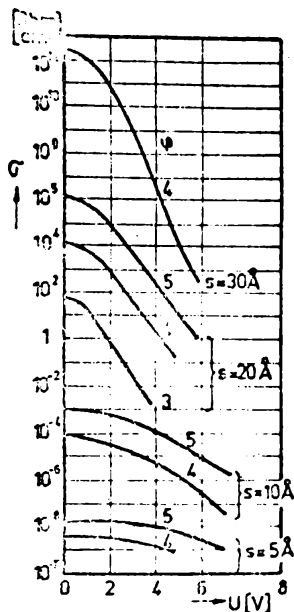


Fig.1.08. Rezistivitatea de tunel funcție de tensiunea dintre contacte, pentru grosimi diferite ale peliculei și valori diferite ale lucrurilor de extracție.

unui strat de baraj (de inversie) de ordinul miilor de Å, sau chiar mai mult /157/. La aplicarea unei tensiuni inverse a unui contact MOS, cu efect de diodă, se știe că are loc o lărgire a stratului de inversie, ori în cazul în care acesta ar cuprinde întregul strat semiconductor, cum e și cazul de față, regimul de lucru al stratului de contact se modifică, cum se arată în lucrarea lui H.A.Bethe /9/. În consecință, în acest caz efectul de diodă la frontiera M-S este neglijabil și conducția are loc cu precădere pe seama efectului tunel.

Dacă piesele de contact ar fi fost din metale diferite, evident că peste fenomenele descrise (fig.1.07) s-ar fi suprapus și tensiunea termoelectromotoare de contact. Mecanismul conducției "tunel", cu totul diferit de al conducției ohmice, este confirmat și prin independența conducției "tunel" de temperatură, constatată atât matematic cât și experimental /84, 107/.

Conducția prin efect tunel între contactele metalice cu pelicule adezive subțiri, a fost pusă în evidență, pentru prima oară de către R.Holm și Meisner prin experiențele efectuate, în anii 1932-33, la temperatura Heliului lichid la care rezistivitatea metalelor contactului este neglijabilă. O rezistivitate caracteristică, ce se manifestă în asemenea condiții, nu poate fi datorată decât efectului tunel, care este independent de temperatură. Mai mult chiar, cu relațiile stabilite pe această cale /84 ec. 26.01/ este posibilă determinarea grosimii peliculei depuse pe contacte la un timp foarte scurt după curățirea în vid la temperatură înaltă.

Prin urmare, pentru suprafețele de contact "A<sub>b</sub>" este proprie conducția prin "efect tunel" ce apare când între suprafețe de contact metalice există un interstițiu, sau un strat străin, de grosime mai mică de 30 Å, conducția fiind

independentă de temperatură, dar depinzând de grosimea stratului și de natura metalelor aflate în contact, așa cum reeșe și din fig.1.08. Rezultă că suprafața de contact are un caracter cuasimetalic.

### 1.2.3. CONDUCTIA ELECTRICA A SUPRAFETELOR $A_a$ .

Considerînd suprafața de contact din fig.1.02, suprafață care preia forța de apăsare, ca suprafață aparentă, ea este totdeauna acoperită cu materiale străine adezive care depășesc grosimea de 20 - 30 Å a straturilor chemo-sorbante, încît suprafața  $A_a$ , din care se consideră excluse suprafețele "a" și " $A_b$ " se prezintă ca o suprafață electroizolantă între piesele metalice de contact. Totuși practica demonstrează că nici la cele mai mici tensiuni ce intervin în mod uzual, stratul adeziv nu se manifestă ca un electroizolant, ci dimpotrivă, are loc trecerea curentului electric. Evident că aici conducția prin "efect tunel" nu mai este posibilă, sau dacă apare în unele puncte este neglijabilă.

Există două cauze care determină apariția conducției prin stratul străin interpus între piesele de contact, când grosimea acestuia depășește cîteva zeci sau sute de Å.

#### 1.2.3.1. Misurarea peliculei.

Practic la grosimi de cîteva zeci, sute sau chiar mii de Å, a peliculei adezive de la suprafața piesei de contact, la o anumită forță de apăsare se produce fisurarea peliculei și respectiv, date fiind dimensiunile mici ale fisurilor, efortul mecanic atinge valorile limitei la curgere a metalului pieselor de contact. Curgerea metalului prin canalele de fisură, formează astfel punți metalice de legătură. În aceste punți are loc o conductibilitate electrică ohmică, deci cu un coeficient de temperatură al rezistivității pozitiv.

Rezistența de contact se compune din rezistența punții  $R_f$  și rezistența de strangulare din piesele de contact, adică:

$$R_c = R_s + R_f \quad (1.17)$$

Din nou, trebuie precizat că suprafața care preia forța de

apăsare  $F$ , a contactelor, nu este egală cu suprafața frontală a punții conductoare, ci este în general mai mare. Ca urmare rezistența de contact este mai mare decât în cazul absenței stratului străin (fig.1.01.a), și se calculează ca și în cazul contactului prin suprafețe Herz, de la paragraful 1.2.1.

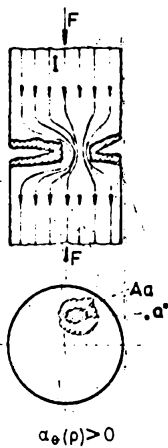


Fig.1.09. Formarea punților metalice prin fisurarea materialului străin dintre piesele de contact.

### 1.2.3.2. F r i t i n g u l .

Cel de al doilea mod de apariție a conducției, în prezența peliculei de material străin, îl constituie așa-numitul "friting". Pelicula adezivă este electroizolantă pînă la intensități ale cîmpului electric care nu produc străpungerea sa. Peste aceste valori ale intensității cîmpului, egale de obicei cu  $10^6$  V/cm, se produce străpungerea peliculei. Acest proces apare prin urmare și la forțe mici de apăsare a contactelor la care, în mod obișnuit, nu se obține strivirea și îndepărtarea stratului străin dintre suprafețele pieselor de contact. La străpungerea peliculei adezive, are loc topirea metalului la capetele canalului de străpungere și schimbarea poziției ionilor favorizează curgerea metalului, sub acțiunea forțelor electrostatice, în canalul format prin străpungere, realizîndu-se astfel legături metalice între piesele de contact, adică punți metalice. Acest fenomen este cunoscut sub denumirea de "friting". Rezistența de contact se calculează cu formula (1.17), ca și în cazul punților formate prin strivire.

Trebuie observat însă că diferența de potențial dintre piesele metalice scade brusc, la valoarea corespunzătoare căderii de tensiune pe puntea formată prin friting și prin urmare intensitatea cîmpului electric, în oricare punct al peliculei dintre piesele de contact, scade sub valoarea necesară străpungerii și topirii metalului dintre piesele de contact, încît un al doilea friting nu mai poate apare.

Si în cazul punții formate prin friting legătura fiind metalică și conducția punții fiind electronică, coeficientul de temperatură al rezistivității este și în acest caz

pozitiv /  $\alpha_0(\varphi) > 0$  /.

Intensitatea câmpului electric la care se produce străpungerea stratului adeziv depinde, evident, de structura și compoziția acestuia, dar nu iese în afara domeniului  $10^6 - 10^7$  V/cm. În cazul apariției fritingului, se formează o suprafață de contact pur metalică, ceea ce înseamnă că în raport cu conducția electronică, conducția prin efect tunel este neglijabilă. Pentru a sugera acest raport, în fig.1.10 nu s-a reprezentat decât suprafața "a", formată prin friting.

După valoarea tensiunii la care se produce fritingul, se deosebesc două cazuri, cu rezultate total diferite între ele. Dacă între două puncte ale pieselor de contact, separate printr-o peliculă adezivă, tensiunea atinge o anumită valoare, la care se produce fritingul, încălzirea contactului devine atât de intensă încât se poate atinge temperatura de topire a metalului. Temperatura dintre punctele de contact se poate determina /88/ cu relația:

$$\theta = \frac{1}{8} \frac{U^2}{\rho \lambda} \quad (1.18)$$

unde  $\rho$ , este rezistivitatea metalului pieselor de contact (presupuse din același metal), iar  $\lambda$  conductivitatea termică a metalului. Atât  $\rho$  cât și  $\lambda$ , se consideră la o anumită temperatură, fără a se ține seama de variația lor cu temperatura.

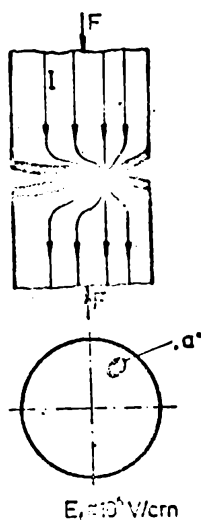


Fig.1.10. Formarea punctelor metalice prin friting.

**FRTINGUL A.** Dacă la străpungerea peliculei, tensiunea are o valoare corespunzătoare topirii metalului, apare fritingul A, caracterizat prin aceea că la capetele canalului format în peliculă, prin străpungerea electrică, se obține topirea și scurgerea în canal, a metalului din piesa de contact. După solidificarea metalului din canal, cele două piese sînt unite printr-o punte pur metalică. Evident

că tensiunea inițială a fritingului, trebuie să fie mai mare decât tensiunea de topire. Fritingul A, apare la pelicule cu

grosimi de ordinul zecilor și sutelor de Å. Este util de observat că tensiunea  $U_f$ , la care se declanșează fritingul, în cazul contactelor metalice scade brusc pînă la 0,4-0,5 V, în timp ce curentul prin pelicula de contact crește brusc, de la o valoare foarte scăzută, pînă la cea corespunzătoare rezistenței punții de legătură metalică directă între piesele de contact și rezistenței de strangulare. La o creștere a tensiunii pe contact, de la zero pînă la valoarea  $U_f$ , se obține o scădere a rezistenței, deci o creștere a conductivității electrice a peliculei, de forma celei din fig.1.11. Curba se referă la /82 p.132/ o peliculă de 840 Å grosime, formată pe o vergea de Cu cu diametrul de 3 mm, pusă în contact cu o vergea de Au de aceeași formă și dimensiuni. Scăderea rezistenței are loc în salturi, în cazul fritingului A, pînă cînd căderea de tensiune se stabilește la o valoare constantă, astfel încît puntea metalică se solidifică, starea de conductivitate mărită, care precede decalșarea fritingului se menține pe o durată oarecare, la un contact fix și constituie un fenomen reversibil. Dacă contactul e format din metale diferite, atunci tensiunea de friting  $U_f$  depinde de polaritatea fiecărui metal (fig.1.11). Rezistența de contact scade de aproximativ 10 ori pînă în momentul declanșării fritingului (zona P-R din fig.1.11), indiferent de polaritatea pieselor de contact. În fig.1.11 curba A corespunde electrozului de Cu anodic, iar curba B electrozului de Cu catodic.

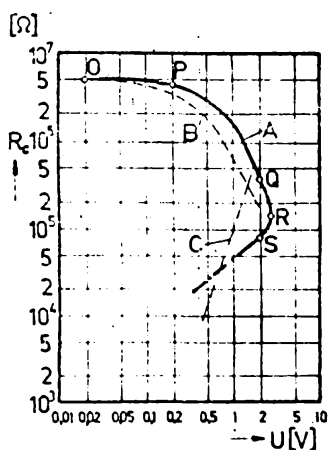


Fig.1.11. Caracteristica R-U la contactul între doi electrozi metalici

- A - cupru anodic
- B - cupru catodic

Deoarece mecanismul dezvoltării fritingului după R.Holm, își păstrează valabilitatea și în cazul contactului p-c aflat în repaus, sau în situația de contact glisant, considerăm că este utilă o interpretare mai aprofundată a etapelor de apariție a conductivității prin friting. Din fig.1.11 se observă că la valori mici ale tensiunii rezistența de contact rămîne constantă, apoi scade după o curbă aproximativă exponențială, pînă într-un punct în care începe o scădere mai lentă, după care tensiunea atinge un maxim, iar rezistența scade brusc, la o valoare proprie conductivității electrice a metalelor, adică pînă la valoarea

rea corespunzătoare punții metalice formate prin fritingul A. Considerăm că o analiză mai amănunțită a evoluției fenomenelor din contact, înainte și după friting o putem face luând în considerare fiecare domeniu al caracteristicii RU, dată de R.Holm /82 p.132/, cu intensitățile câmpului electric ale cărui valori sînt specifice pentru tipul de conductibilitate al peliculei, de la un domeniu la altul. Notînd porțiunile respective ale curbei  $R=f(U)$  ca în fig.1.11, se poate observa că fritingul apare la capătul unui șir de fenomene distincte sub aspectul conducției electrice. În porțiunea OP a curbei, conducția peliculei este cea specifică dielectricilor solizi la câmpuri mici (sub 1-10 kV/cm), rămînînd valabilă legea lui Ohm /29, 48, 174/, încît rezistența rămîne constantă. Aici conductivitatea electrică este independentă de intensitatea câmpului electric /157, 174/ :

$$\sigma = C \cdot e^{-\frac{W}{kT}} \quad (1.19)$$

unde : C , este o funcție de temperatură, practic invariabilă în raport cu exponențiala ; k - este constanta lui Boltzmann ( $1,38 \cdot 10^{-16}$  ergi/grad); -T, temperatura în /OK/, iar W, energia necesară apariției defectelor interstițiale (Frenkel) și de substituție (Schottky) ale rețelei, în ea fiind cuprinsă și energia de activare a acestor defecte , adică energia la care apare conducția ionică în rețea /29, 48/.

La grosimea dată /840 Å / a peliculei de oxid de cupru /85 p.132/, rezultă că în punctul P intensitatea câmpului electric atinge aproximativ 10 kV/cm iar în Q depășește  $10^2$  kV/cm. La asemenea valori ale intensității câmpului electric /48/, peste conductibilitatea ionică a rețelei se suprapune conductibilitatea electronică și conducția are loc după legea lui Poole

$$\sigma = A \cdot e^{BE} \quad (1.20)$$

unde : A și B sînt constante ce depind de natura materialului dielectric, iar E este intensitatea câmpului electric. Această lege este valabilă pentru intensități de câmp cuprinse între  $10^2$  și  $10^4$  kV/cm, după care are loc străpungerea stratului. De fapt R.Holm admite ipotetic /85 p.131/ că acesta este stadiul incipient al străpungerii dielectricului,



prin distrugerea rețelei peliculei dintre piesele de contact, conform /54/<sup>\*)</sup>. Desigur că în această zonă, conducția electrică ca și apariția de noi purtători de sarcină, e datorată și caracterului semiconductor al stratului de oxid, prin joncțiunea ce există între metal și semiconductor (joncțiune MOS). Conducția joncțiunii este cu precădere de natură electronică, deoarece la intensitățile mari ale câmpului electric, apare pe lângă activarea golurilor ( $\text{Cu}_2\text{O}$  fiind un semiconductor de tip "p" - acceptor), o trecere directă de electroni din zona de valență în zona de conducție. Fenomenul de diodă al joncțiunii MOS /168 - 182/, este pregnant pus în evidență de diferența ce apare între curba A (Cu anodic) și curba B (Cu catodic) din fig.1.11, curentul avînd o variație exponențială /157 p. 178/. La aplicarea pe peliculă a tensiunii inverse (curba B), caracterul de diodă dispare încă la o tensiune de numai 0,01 V, ceea ce se afirmă și în /85 p.132/. Studii asupra naturii conducției electrice a peliculei de  $\text{Cu}_2\text{O}$ , pînă la producerea fritingului, au fost efectuate de Peter Klaudy /106/ care a stabilit că pelicula prezintă la  $U < U_p$  coeficient de temperatură al rezistivității negativ, comportîndu-se deci ca un semiconductor. O confirmare similară apare și în lucrarea /206/.

Din punctul Q al curbei din fig.1.11, în care începe fritingul A, rezistența de contact scade mai lent, ceea ce nu se poate explica decît pe seama a două procese ce apar la valoarea dată a câmpului electric. Intensitatea mare a câmpului electric, produce distrugerea rețelei peliculei și o creștere a încălzirii locale, rezultînd străpungerea simultan electrică și termică. Deoarece tensiune atinge valoarea corespunzătoare relației (1.18), are loc, odată cu străpungerea peliculei, topirea metalului din piesele de contact la cele două capete ale canalului format prin străpungere. La acest moment apar cele două fenomene care determină scăderea mai lentă a rezistenței de contact. Pe de o parte rezistivitatea metalului în stare topită crește /29/ în raportul 2,07/1 pentru cupru, raport care va tinde din nou spre valoarea 1, numai oda-

\*) Franz W. "Dielektrische Durchschlag. Handbuch der Physik XVII, Berlin, 1956.

tă cu solidificarea metalului din canal. Pe de altă parte, în piesele de contact, într-o parte și cealaltă a punții metalice formate, are loc o intensă deformare a liniilor intensității curentului ce trece prin contact, rezultând o creștere relativă a rezistenței de strangulare  $R_S$  (1.17). Evident că rezistența totală de contact  $R_C$  continuă să scadă, deoarece conductivitatea punții metalice este de câteva sute de ori mai mare decât cea a peliculei (care este predominantă pînă în punctul Q) .

În concluzie în cazul fritingului A, rezistența de contact scade mai întîi pe seama conductivității (ca dielectric și ca semiconductor) a peliculei de oxid, iar apoi pe seama conductivității electronice a punții metalice (fig.1.10). În porțiunea OQ, rezistența de strangulare  $R_S$  rămîne practic invariabilă, influența ei manifestîndu-se numai în momentul apariției fritingului.

Procesul de formare a punții metalice din momentul începerii topirii metalului la capetele canalului format prin străpungerea peliculei, are loc sub acțiunea forțelor electrostatice ce se exercită asupra atomilor metalului ajuns în starea de agregare lichidă. Aceste forțe, atrag metalul topit, spre mijlocul canalului sub formarea a două prelungiri conice. Cînd aceste prelungiri se unesc, puntea metalică este constituită, dar forma sa continuă să se schimbe, crescînd secțiunea, pînă cînd tensiunea scade la o valoare aproximativ constantă, egală cu 0,4 - 0,5 V. În acest timp, are loc solidificarea punții metalice și respectiv scăderea rezistenței de contact pînă la valoarea determinată de  $R_F$  și  $R_S$  din (1.17).

Scăderea rezistivității, după ce a avut loc fritingul, concomitent cu scăderea tensiunii, are loc după o variație liniară, ceea ce se poate atribui faptului că deși tensiunea scade mai repede decât temperatura punții metalice, raportul  $U/\theta$  variază neglijabil. Cu alte cuvinte neexistînd valabilitatea legii lui Ohm pentru porțiunea ST a curbei din fig.1.11 și considerînd extrapolarea valabilității relației (1.13) peste  $U = U_F$  deducem, la o variație  $\varrho = f(U)$  liniară, că raportul  $U/\theta$  este constant. Variația rezistivității și deci a rezistenței punții metalice la  $U = U_F$ , depinde prin urmare și de conductivitatea termică  $\lambda$  a punții și a pie-

sclor de contact. În timp ce se solidifică puntea metalică, este parcursă de un curent constant.

Dacă contactul este format din două elemente diferite, cu temperaturi de topire mult deosebite cum ar fi Cu și C, modalitatea formării punții rămâne aceeași cum s-a arătat, numai că puntea apare doar la suprafața cuprului, sub forma unei prelungiri conice spre peria de cărbune. Asemenea forme de semi-punți au fost sesizate în experiențele efectuate de E. Holm, asupra contactului perie - colector neted /74, 75, 78/.

FRIHINGUL B apare între piesele de contact atunci când tensiunea, în virtutea relației (1.18), este mai mică decât valoarea de topire a metalului. Tensiunea este suficientă pentru a produce străpungerea unei pelicule subțiri, în jur de 40-60 Å, încât intensitatea câmpului electric ajunge la aceeași valoare ca și în cazul fritingului A. Prin străpungerea peliculei, de fapt, are loc o dezoxidare a două suprafețe de tip "a" aflate față în față și formarea unui contact pur metalic ca și în cazul din fig. 1.01.b. Fritingul B se dezvoltă la liziera peliculei din jurul suprafeței "a", prin forțe tangențiale /76/ ce deplasează această lizieră, spre exterior, mărinnd suprafața metalică de contact; deci mărinnd conducția electrică în punctul B fritingat, după care se petrece deformarea liniilor densității curentului electric în piesele de contact. Deci simultan cu scăderea rezistenței, prin trecerea de la conducția prin peliculă la conducția prin suprafețe Herz și deci a scăderii totale a rezistenței de contact, are loc o creștere relativă a componentei de strangulare  $R_S$ .

De fapt procesele fizice ale fritingului B, nu sînt încă în detaliu elucidate /85/.

Peter Klaudy, constată că /107/ la peliculele de  $Cu_2O$ , la tensiuni pînă la  $10^{-2}$  V ce preced apariția fritingului B, are loc o scădere în salturi a rezistenței de contact. Este fără îndoială sigur că acest mod de variație a rezistenței de contact cu creșterea tensiunii, este o consecință a faptului că deși pelicula are un caracter semiconductor, efectul de diodă nu se face resimțit, deoarece grosimea peliculei este sub valoarea minimă a stratului de inversie a unei joncțiuni MOS /157/. Prin urmare pelicula manifestă numai conductibilitate ionică (1.19), peste care se suprapune cea electronică (1.20),

de data aceasta în salt (datorită grosimii mici a peliculei), după care urmează străpungerea prin friting B, fără ca tensiunea  $U$ , la care se află pelicula, să atingă valoarea necesară (1.18) topirii metalului.

Grosimea peliculei nu influențează decît modul de variație a rezistenței de contact cu tensiunea și felul fritingului, dar nu și valoarea intensității cîmpului electric la care apare fritingul.

Desigur, nu poate fi negat faptul că la pelicule sub  $100 \text{ \AA}$ , la care se manifestă în mod obișnuit fritingul B există și o anumită probabilitate de conducție prin efect tunel, dar care este neglijabilă în raport cu celelalte procese de conducție electrică.

### 1.2.3.3. Dimensiunile și rezistența punții

Acestate pot fi determinate dacă se ține seama de următorii factori: - lungimea punții este egală cu grosimea peliculei; - imediat după fritingul A tensiunea scade totdeauna la 0,3 - 0,6 V dacă electrozii sînt metalici, ea fiind ca ordin de mărime foarte aproape de tensiunea de topire (dar mai mică); - pierderile de căldură în punte sînt neglijabile; - puntea conține și atomi de impurități proveniți din peliculă, încît timpul de relaxare al electronilor este mai mic pentru punte decît pentru piesele de contact, adică rezistivitatea sa este mai mare; - grosimea punții depinde de curentul ce trece prin contact.

Cum puntea și piesele de contact sînt din același metal și diferă numai prin gradul de puritate, curbele de variație cu temperatura a rezistivităților lor, conform legii lui Mattiessen sînt paralele. În consecință coeficienții de temperatură ai rezistivităților punții și respectiv pieselor de contact, se află totdeauna într-un raport constant. Ca tensiunea, după friting, să fie apropiată de valoarea corespunzătoare topirii metalului, lungimea punții nu trebuie să depășească de 5 ori valoarea diametrului punții /SS/. Din cele arătate se deduce că puntea trebuie să prezinte caracteristici  $R-U$  corespunzătoare metalelor, adică rezistența lor să scadă cînd curentul scade, cum se întîmplă de fapt. Scă -

derea rezistenței punții este mai puțin vizibilă /85 p.137/ în cazul punților foarte înguste care determină rezistențe de strangulare  $R_s$  mari, ceea ce corespunde unui coeficient de temperatură al rezistivității punții  $\alpha_\theta(\rho_f)$  mai mic decât al metalului pur din piesele de contact  $\alpha_\theta(\rho)$ . Aceasta însă numai datorită faptului că  $\rho_f > \rho$  și nu nevalabilității legii lui Mattiesen. De fapt și ecuația 27.10 din /85 p.138/ conține implicit valabilitatea acestei legi, ceea ce se deduce dacă, considerînd coeficienții de temperatură ai rezistivității

$$\alpha_\theta(\rho) = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{d\theta}$$

pentru punte și respectiv pentru piesa de contact, scriem, la o temperatură  $\theta$ , egalitatea între tangentele la cele două curbe despre care spuncam că sînt paralele, adică :

$$\frac{d\rho_f}{d\theta} = \frac{d\rho}{d\theta}$$

sau

$$\alpha_f \cdot \rho_f = \alpha \cdot \rho$$

și

$$\rho_f = \rho \frac{\alpha}{\alpha_f} \quad (1.21)$$

Lungimea punții fiind egală cu grosimea peliculei, pe care o notăm cu "b", rezistența totală de contact, ținînd seama și de rezistența de strangulare (1.5), va fi :

$$R_c = \frac{\rho_f \cdot b}{\pi r_a^2} + \frac{\rho}{2 \cdot r_a} \quad (1.22)$$

unde se poate afla  $r_a$  dacă  $R_c$ ,  $\rho_f$ , b și  $\rho$  sînt cunoscute. Asemenea calcule au fost efectuate /88 p.138/ referitoare la NiO. Se remarcă aici că dacă un electrod este din grafit, se deduce o altă relație pentru rezistența punții și că aceasta arată că după friting, temperatura spațiului dintre punte și grafit, nu se deosebește sensibil de temperatura de topire a metalului. În 1931 R.Holm și E.Holm, studiînd punțile ce se formează între NiO și grafit / \* / , au constatat că acestea

\* R.Holm, Guldenpfenig F, Holm E., Strömer R., "Wiss. Veröff-Siemens Werk" 10/4, 20 (1931).

au forma unor conuri ascuțite, cu vârful îndreptat spre grafit, cu diametrul de  $2b$  la vîrf și  $8b$  la bază (pe Ni). La micșorarea curentului ce trece prin contact, punțile devin și mai subțiri. De exemplu, s-a observat că o punte printr-o peliculă cu grosimea  $b = 100 \text{ \AA}$ , avea o rezistență de  $R_p = 600 \Omega$ . Se presupune deci că grosimea punții e foarte mică iar rezistivitatea sa foarte mare. Dacă se admite că rezistivitatea punții este de 20 de ori mai mare ca a metalului pur, rezultă diametrul punții de  $20 \text{ \AA}$ . În realitate însă, se pare că atît diametrul punții cît și rezistivitatea sa, sînt mai mari, deoarece din măsurările efectuate, rezultă că rezistivitatea punții nu este mai mare decît de 5 ori rezistivitatea metalului. S-a constatat de asemenea că energia necesară topirii metalului și formării punții, mai ales la curenți mici de ordinul a  $0,01 \text{ A}$ , sînt atît de mici ( $10^{-13}$ )J, încît ele pot fi furnizate și prin inducție, de către circuite electrice învecinate (bobine ale releelor sau întreruptoarelor etc), producînd cu ușurință fritingul.

La contacte fixe, punțile formează legături mecanice, cu rezistență la rupere cu atît mai mare, cu cît ele sînt mai subțiri.

Astfel de punți se stabilesc și între colectoarele de cupru și perile grafitice, la contactul p-c aflat în repaus sau în alunecare, cu consecințe importante asupra proprietăților de conducție electrică a contactului. La contactul glisant p-c, formarea și ruperea repetată a punților, favorizează apariția fritingurilor, deoarece chiar dacă temperatura contactului depășește  $100^\circ\text{C}$ , oxidarea suprafețelor de rupere, nu are timp să se facă între contactele ce se stabilesc succesiv, de la o perie la alta, în așa măsură încît să constituie pelicule de întunecare. Formarea punților prin friting și apariția conducției între piesele de contact pe această cale, este posibilă la toate contactele de strîngere de joasă tensiune și evident cu atît mai mult la cele de înaltă tensiune, încît caracterul electroizolant al peliculei nu se manifestă nici la contactele din circuitele cu tensiuni de numai cîțiva volți. Aceasta, deoarece totdeauna este posibilă formarea de punți metalice, fie prin strivirea peliculei, fie prin friting (cînd forța de apăsare a contactelor este

mai redusă), sau la peliculele sub  $30 \text{ \AA}$ , cum s-a arătat, conducția se realizează prin efect tunel.

#### 1.2.3.4. Parametrii electricei ai zonei de contact.

În zona de contact, care cuprinde cele două domenii de strângere a curentului în piesele de contact și suprafața de trecere a curentului prin peliculă, pe baza efectului tunel sau prin punți metalice formate în urma fritingului de strivire sau a fritingului A, sau prin suprafețe de contact metalic fără peliculă interpusă, în afara rezistențelor  $R_{S1}$ ,  $R_{S2}$ ,  $R_p$  (1.3),  $R_T$  (1.15) și  $R_f$  (1.17), se mai pot determina și alți parametrii cum ar fi : - capacitatea suprafețelor de contact separate prin pelicule de întunecare; - inductivitatea domeniului de strângere /88/. De asemenea este utilă cunoașterea variației cu temperatura a rezistenței domeniului de strângere /88/, precum și relațiile de legătură între curentul ce trece prin contact și tensiune, pentru o anumită durată de timp /113, 104, 118, 149/.

Față de cazul contactelor de strângere considerate până aici, apar în cazul contactelor glisante, sau mobile, o serie de factori dependenți și independenți, care influențează conductibilitatea stratului adeziv dintre piesele de contact. Ca urmare complexitatea proceselor de conducție devine atât de mare și separarea factorilor influenți atât de dificilă (sau uncori imposibilă) încât cauzele unora dintre fenomenele observate experimental au rămas încă neexplicate.

### 1.3. CONCLUZII.

1. În suprafața aparentă a contactului electric, există suprafețe Herz, suprafețe cvasimetalice, pelicule adezive și pelicule de întunecare.

2. Fritingul A este o succesiune de procese distincte:  
- conducție extrinsecă a peliculei; - conducție intrinsecă;  
- încălzirea căii de curent; - scăderea rezistivității și strângerea curentului; - străpungerea peliculei; - topirea metalului; - formarea punții metalice topite; - lărgirea punții și solidificarea sa.

3. Fritingul B apare la grosimi mici ale peliculei (60-

100 Å<sup>0</sup>), urmînd aceleași faze ca și fritingul A, dar fără topirea metalului și formare de punte. Prin străpungere are loc formarea suprafețelor Hertz, iar apoi lărgirea lor, potrivit valorii curentului.

4. Rezistența totală de curent este formată din rezistențele de strangulare din piesele de contact, rezistența punții, rezistența tunel, sau la temperaturi și tensiuni scăzute, rezistența peliculei (semiconductoare).

## CAPITOLUL II.

### TEORIA CONTACTULUI ELECTRIC GLISANT PERIE - COLECTOR

#### 2.1. PARTICULARITĂȚILE CONTACTELOR ELECTRICE GLISANTE PERIE - COLECTOR .

Forma cea mai generală și mai completă a contactelor electrice, sub aspectul complexității proceselor fizice, electrice, termice și mecanice, o constituie contactele glisante lichide, formate dintr-un colector în rotație și o "perie" constînd dintr-un jet de mercur, sau alt material conductor în stare lichidă. Teoria acestor contacte a fost mult dezvoltată în ultimii ani grație unor cercetări deosebit de laborioase /39, 41, 106, 107, 108, 109, 111, 112/, menite să rezolve fie colectarea curenților de ordinul miilor și zecilor de mii de amperi /11, 109, 110, 112/, fie să aducă o perfecționare în construcția redresoarelor și modificatoarelor de frecvență mecanice /39/.

Forma cea mai răspîndită însă, de contacte glisante, o constituie contactele formate de colectoare metalice cu suprafață netedă (inele), sau crenelată (colectoare cu lamele) și perii de cărbune sau cărbune grafitat.

Trecerea curentului electric prin contactul perie-colector (contactul p-c), este însoțită, pe de o parte, de o serie de procese fizice mic oscopice, dependente de natura și proprietățile peliculei de pe suprafața colectorului, iar pe de altă parte, de procese macroscopice, puse în evidență



prin caracteristicile statice și dinamice tensiune-curent, care depind de factori variabili dependent (sau reglabili) ca :

- densitatea de curent în perie  $j / A/m^2$ ;
- presiunea periei pe colector  $p/N/m^2$ ;
- viteza periferică la colector  $V/m/s$ ,

cît și de factori variabili independent ca :

- presiunea atmosferică ;
- umiditatea mediului ambiant;
- impuritatea mediului ambiant;
- impuritatea mediului ;
- vibrații mecanice.

Prin urmare, în timp ce la contactele de strîngere ale întreprinderilor, contactoarelor, releelor etc, pot fi realizate totdeauna presiuni de contact suficient de mari, pentru a se realiza conducția tunel sau prin punți, la contactele glisante acest lucru nu e posibil, deoarece frecarea trebuie să fie cît mai redusă pentru a evita uzura și încălzirea contactelor. De aceea presiunea pe contact nu poate depăși, la contactului p-c,  $1 \cdot 10^5 / N/m^2$ , dar datorită existenței vibrațiilor nici nu poate coborî sub  $0,2 \cdot 10^5 / N/m^2$ . În consecință, efectul de strivire a peliculei adezive ca și efectul tunel devin neglijabile, iar conducția se realizează pe seama fritingului /74, 75, 185, 171, 172/.

Datorită prezenței excesive a carbonului la suprafața colectorului, în structura peliculei adezive există pe lîngă combinații ale carbonului sub formă de carburi și carbonați, mai ales combinații cu oxigenul sub formă de diverși oxizi ca și ale cuprului cu oxigenul, oxizii de cupru. Oxizii, avînd proprietăți semiconductoare, determină procese de conducție în zona peliculei și a frontierei peliculă-mezal, cu totul diferite față de zona metalică a colectorului. Din această cauză și caracteristicile tensiune-curent, al contactului p-c, vor diferi în funcție de starea peliculei, de structura și grosimea acesteia, precum și de polaritatea joncțiunii metal-semiconductor. Grosimea peliculei este determinată de duritatea periei și de coeficientul de frecare, iar aceasta depinde de impuritățile lubrifiante din atmosferă (vapori de apă, vapori de ulei, sau gaze). Pe lîngă uzura mecanică, se manifestă și uzura electrică (eroziune) a periei și colectorului. Uzura electrică depinde de polaritatea periei și de prezența arcelor electrice. Arcele sînt determinate de densitatea de curent în perie, de parametrii circuitului comutabil și mai ales de stabilitatea dinamică a sistemului mecanic al contactului (ansamblul de piese ce contribuie la realizarea fizică a contactului ).

Rezultă că factorii ce concură la funcționarea contactului p-c, se constituie dintr-un ansamblu de mare complexitate și că studierea influenței izolate a unuia sau câtorva în raport cu ceilalți este practic imposibilă /74, 110, 140, 185/.

Au fost elaborate pînă în prezent unele studii privind proprietățile intrinseci ale peliculei de pe suprafața colectoarelor netede pe care alunecă perii grafitice, însă nu există încercări în care să se efectueze aceleași studii dar pe colectoare cu suprafețe crenelate cum sînt cele cu lamele izolate. Sînt de mare importanță deosebiriile între cele două cazuri, sub aspectul proprietăților electrice și de fricțiune ale peliculei, ca și caracteristicile statice și dinamice ale contactului între perie și colector.

Concluziile stabilite pe baza cercetării contactului dintre perii și inele colectoare, nu sînt în întregime extrapolabile în cazul contactului p-c, decît în măsura valabilității unor proprietăți intrinseci a materialelor pieselor de contact și peliculei, ca și influența unor factori de mediu. Aceasta deoarece contactul p-c se caracterizează printr-o serie de factori proprii: - neuniformitatea grosimii peliculei de la o margine la cealaltă a lamelei; - abraziunea peliculei de către particulele provenite din izolația de micanită a lamelor; - acțiunea unei forțe portante asupra periiilor, datorită presiunii aerului antrenat de canalele dintre lamele (fapt negat de cîțiva dintre cercetători); - vibrații mecanice mai intense; - eroziunea electrică a periiilor și colectorului etc.

Datorită acestei complexități de fenomene nu s-a elaborat încă o teorie unică a contactului p-c și cu atît mai puțin un program unic de încercări, care să servească pentru alegerea sortului optim de perie pentru o mașină cu parametri și regim de funcționare date. Asupra controverselor din cadrul acestei probleme se va reveni în capitolul următor.

## 2.2. FORMAREA PATINEI PE SUPRAFAȚA COLECTORULUI.

Procesul de formare a unei pelicule de oxizi la suprafața colectorului de cupru este caracterizat prin cele arătate la pct. 1.2.2. și nu diferă în acest caz, față de situația oricărui contact metalic, ținut în atmosferă de oxigen, după o prealabilă curățire. În afara acestui proces de oxidare,

la colectoarele de cupru, cu suprafețele netede sau crenelate, după un scurt timp de la începerea alunecării periilor pe colector, apare o patină de culoare închisă, care nu poate fi ștearsă decât prin abraziune. Aceasta înseamnă că nu e vorba de o simplă peliculă adezivă, ci de o peliculă de întunecare, formată prin reacții chimice între atomii colectorului și cei ai elementelor conținute de perie și de atmosfera în care se află contactul. Influența atmosferei a putut fi ușor evitată prin încercări în vid, sau prin modificarea compoziției sale cu diverse gaze.

Asupra mecanismului de formare a patinei nu există o teorie unitară, ci ipoteze diferite sînt parțial verificate experimental, dar se acceptă aproape unanim că proprietățile patinei depind mai ales de stratul de oxid de cupru. Evident că fiind dată marea complexitate a fenomenelor, precum și faptul că ele nu pot fi, decât parțial prinse în relații matematice, dar mai ales că acțiunea factorilor independenți este în-tîmplătoare, se poate ca uneori anumite rezultate experimentale să suscite o anume îndoială sau incertitudine. În asemenea cazuri nu se poate recurge, decât la mărirea numărului de încercări care să facă posibilă o interpretare statistică.

Formarea peliculei diferă de la cazul alunecărilor periilor pe colector fără curent electric, la cel de alunecare cu trecerea curentului, numai în ce privește durata de obținere a peliculei cu grosime stabilă. Aceasta are loc, atît din cauza temperaturii diferite într-un caz și celălalt, cît și din cauza transportului de particule între perie și colector, și invers, ce are loc în prezența curentului electric. La formarea patinei în condițiile trecerii curentului electric, mai apare o diferență clară între patina formată sub peria negativă și cea formată sub peria pozitivă ca și între acestea două și cea formată prin alunecarea ambelor perii pe aceeași pistă.

M.R.Mayeur /140/, presupune că patina este formată din incluziuni de corpusculi de carbon, în metalul colectorului sub forma unui mozaic de carbon într-un "ciment" de metal. El reușește prin titrarea peliculei dizolvate într-o soluție acidă, să determine cantitatea de carbon și chiar grosimea peliculei formate la suprafața unui inel colector. Se deduce apoi, pe baza acestei ipoteze, grosimea peliculei cuprinsă în-

tre 0,3 și 0,5  $\mu\text{m}$  și adâncimea de pătrundere a atomilor de carbon de 3 până la 3,8  $\mu\text{m}$ . Pe baza acestei ipoteze se dezvoltă celelalte cercetări /141, 142, 143, 144, 145/ ale autorului lor, care pun ulterior la baza conducerii peliculei, trecerea curentului prin granule de carbon, interpușe între perie și rețeaua atomică a piesei metalice a colectorului, ipoteza emisă este, în parte, verificată și experimental și pusă la baza interpretării caracteristicilor statice ale contactului p-c. De altfel nu se neagă faptul, în literatura de specialitate, că teoria elaborată de Mayeur, constituie un adevăr. Valabilitatea teoriei însă, constituie numai un aspect al complicatului mecanism prin care se formează pelicula. Cu toate acestea, reprezentarea simplificată a formării peliculei, în teoria lui Mayeur, i-a permis acestuia să tragă concluzii asupra caracteristicilor macroscopice ale contactului între perie și inelul colector, care nu diferă de cele obținute de alți cercetători ce au plecat de la alte ipoteze ale formării peliculei.

#### 2.2.1. FORMAREA PĂȚINII FĂRĂ TRECEREA CURENTULUI ELECTRIC.

Procesul formării peliculei nu poate fi separat de nici una din stările fizice care își manifestă influența asupra lui. Pătrunderea particulelor de carbon în masa metalului nu este efectul numai al unor cauze mecanice. Pentru o lămurire în acest sens, este necesar să se țină seama de datele fizice ale celor trei elemente principale Cuprul, Carbonul și Oxigenul, care participă la formarea peliculei pe suprafața colectorului. Cuprul cristalizează în sistemul cubic cu fețe centrate /143, 157, 174/ caracterizat prin cea mai mare valoare a compactitudinii (74,04%) și numărul de coordonare egal cu 12. La 20°C parametrul rețelei este  $a = 3,6 \text{ \AA}$ . Cuprul are numărul atomic 29, posedînd un electron necompensat pe stratul 4s. Electronegativitatea sa este în jur de 2. Grafitul este format din cristale de atomi de carbon dispuși în colțuri de hexagoane. Sistemul de cristalizare plan hexagonal este dispus în plane paralele, legate între ele prin forțe Van der Waals și aflate la distanța de 3,37  $\text{\AA}$  unul de altul. Parametrul rețelei în fiecare plan es-

te  $a = 1,42 \text{ \AA}$ . Numărul atomic al carbonului este 6, cu numai doi electroni pe stratul 2p, iar electronegativitatea este 2,5. Oxigenul are numărul atomic 8, cu 4 electroni pe stratul 2p și dispune de cea mai mare electronegativitate, față de Cu și C, aceasta fiind de 3,5. Având datele celor trei elemente și observând diferența între diametrele atomilor de Cu și ai celor de C, la prima vedere, pare plauzibilă ipoteza formării peliculei de întunecare pe suprafața colectorului prin "îndesarea" corpusculilor de C în rețeaua de Cu. Acest lucru nu este posibil decât în limita în care în cristalele superficiale ale rețelei de Cu, în interstițiile atomilor metalului, se pot configura legături cu atomii de C, chiar și numai de natura legăturii Van der Waals, sau chiar a unei legături de tip ionic, ținând seama de faptul că electronegativitatea C este mai mare decât a cuprului și prin urmare primul își atașează pe stratul 2p electronul din stratul 4s al celui din urmă. Dar o asemenea situație, în care să ajungă în contact numai Cupru pur și Carbon, nu apare în cazul formării patinei pe suprafața colectorului, deoarece așa cum s-a mai arătat (1.2.2), imediat după curățirea colectorului, prima și cea mai puternică reacție există între Cu și O, chiar la temperatura camerei. Această reacție, are loc foarte repede la temperatură mai mare. Reacția este intensă din cauza electronegativității foarte mari a oxigenului (3,5) față de cea a Cu (2). Deci, după primul contact al Cuprului cu  $O_2$  din atmosferă și formarea stratului de "adatomii" /10, 81, 84/ (punctul 1.2.2), începe formarea stratului de  $Cu_2O$  prin legături de valență /29, 95, 48/. Aceasta înseamnă că nu poate fi tratată problema formării patinei pe colector decât luând în considerare prezența peliculei de  $Cu_2O$ .

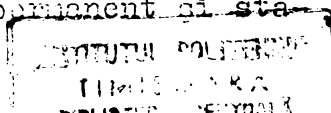
Caracterul semiconductor al peliculei  $Cu_2O$ , conferă joncțiunii cu Cuprul proprietățile unei joncțiuni MOS de tip acceptor /168, 182, 157, 43/ și respectiv apariția unei bariere de potențial la frontiera dintre oxid și metal, este unul din elementele ce influențează conducția electrică a peliculei și determină în funcție de intensitatea câmpului, dar mai ales de temperatură, perturbații în caracteristicile contactului, care apar în cercetarea experimentală, uneori, ca anomalii sau stări inexplicabile.

După formarea stratului de oxid de cupru, contactul acestuia cu peria de cărbune, favorizează apariția unei noi so-

ne de contact deci a unei noi bariere de potențial. La frecarea periei pe colectorul de cupru, temperatura crește repede la câteva zeci de grade. Particule de cărbune și grafit, desprinse din perie în urma procesului de uzură mecanică, considerînd pentru început că nu trece curent electric prin contact, ajung după scurt timp la un grad de finețe suficient de mare ca, la un conținut mic de atomi de carbon pe granulă, să poată interacționa cu rețeaua de oxid. Rezultă o impurificare și distorsionare a rețelei oxidului. Pe lîngă oxigen și carbon sînt prezente și alte elemente ca azotul, hidrogenul (din compoziția hidrocarburilor folosite la fabricarea periilor), siliciul provenit din izolația dintre lamele, zincul în cazul inelelor de alamă, fosforul în cazul inelelor de bronz fosforos etc. Atît carbonul cît și oxigenul intră în reacție cu aceste elemente formînd oxizi, carburi și carbonați.

Rezultă că după stratul de  $Cu_2O$  se formează un al doilea strat foarte bogat în carbon, care posedă de asemenea proprietăți semiconductoare. Legăturile între aceste combinații și rețeaua oxidului de cupru se stabilesc atît prin întrepîtrunderea sistemelor lor de cristalizare cît și prin legături de valență sau de inducție (Van der Waals). De asemenea, cu o anumită probabilitate, simultan cu formarea celui de al doilea strat, au loc reacții de disociere a moleculelor formate, iar apoi elementele rezultate pot reacționa și cu alte elemente decît cele de care s-au disociat, sau pot fi eliminate din reacție. Pe de altă parte existența acestor reacții în partea superficială a celui de al doilea strat, ca și gradul de heterogenitate ce reduce duritatea stratului, se verifică prin aceea că grosimea patinei pe colector nu crește proporțional cu timpul ci mai de grabă exponențial, ajungînd să se stabilizeze la o valoare de echilibru, după un anumit parcurs de alunecare a periilor. Caracterul semiconductor al acestui strat este predominant de tip donator /205/.

Prin urmare între peria de cărbune și colector există un strat de baraj între Carbon și oxidul de Cu și un strat de baraj între  $Cu_2O$  și Cuprul colectorului. Experimental se semnalează în mod predominant efectul stratului dintre  $Cu_2O$  și Cu, care prezintă un caracter permanent și sta-



bil. Proprietățile acestui strat corespund legilor stabilite pentru joncțiunea MOS. Proprietățile celui de al doilea strat sînt fluctuante, atît din cauza efectului de șlefuire exercitat de perii, cît și din cauza acțiunii factorilor externi din atmosferă, sau a peliculei de aer care se interpune între el și perie. Asupra acestora se va reveni.

### 2.2.2. FORMAREA PATINEI LA TRECEREA CURENTULUI ELECTRIC PRIN CONTACT.

Dacă formarea patinei are loc în prezența trecerii curentului prin contact, cîmpul electric ce se stabilește între perie și colector accelerează procesele descrise.

Pe de altă parte, parcursul de alunecare după care grosimea patinei se stabilește la valoarea de echilibru depinde de intensitatea curentului în perie, la aceeași apăsare a periei și aceeași viteză periferică la colector. Aceasta, deoarece intervine uzura electrică a periei și efectul lubrifiant al curentului, deci un alt mod de variație a coeficientului de frecare.

În aceleași condiții de densitate de curent în perie, viteză periferică la colector și apăsare a periei, grosimea patinei diferă, după același parcurs de alunecare, de la un sort de perie la altul. Sub acest aspect, s-ar putea determina o legătură între grosimea stabilizată a patinei și raportul durităților periei și colectorului.

Formarea patinei pe suprafața crenelată a unui colector cu lamele, izolate sau scurtcircuitate, are loc prin aceleași procese ca cele prezentate în cazul considerării suprafeței netede a unui inel. Datorită însă prezenței canalelor între lamelele colectorului, va rezulta o neuniformitate a peliculei pe lățimea unei lamele. Aceasta este cauzată de natura însăși a modului în care se face contactul, după fiecare rotație a colectorului, între muchia de intrare a lamelei și muchia periei, cît și de scînteile și arcele ce se formează între muchiile lamelei și cele ale periei. În decursul unei rotații a colectorului, după care aceeași lamelă reîntră sub perie, aceasta își schimbă poziția în casetă, încît, aproape de fiecare dată, lamela poate întîlni muchia periei în altă poziție. Ca urmare uzura patinei în apropierea muchiei de intrare a lamelei este

mai pronunțată, atât la alunccarea cu trecerea curentului, cât și fără curent. La trecerea curentului aceeași uzură apare și la muchia de ieșire a lamelei de sub perie, datorită eroziunii produse de arce și scînteii, dar și datorită unei cauze mecanice. La muchia de ieșire, cauzele de natură mecanică, ce duc la uzură mai pronunțată a patinei de pe lamelă, rezidă de asemenea în mișcarea periei în casetă și s-a <sup>observat</sup> /192/ că în cazul periilor plasate în casete uzate, sub muchia lor de ieșire apare o uzură sub formă de praguri. Pe de altă parte, între perie și colector, există tot timpul un film de aer a cărui presiune depinde de viteza periferică. Deși influența acestui factor asupra caracteristicilor contactului este, cu mici excepții, în general negată în literatura de specialitate, ea totuși poate fi pusă în evidență așa cum se va proceda în capitolul următor. Filmul de aer are un efect de suprapresiune sub muchia de intrare și invers un efect de depresiune sub muchia de ieșire. Ca urmare /apare o aspirație între perie și lamelă, care poate fi mai pronunțată în fața muchiei de ieșire a lamelei din cauza unghiului făcut de suprafața periei și a lamelei /141/, ceea ce determină o creștere mai lentă a patinei în această față de rest, un număr mare de particule fiind absorbite în mediul înconjurător.

În consecință repartizarea patinei pe suprafața lamelei, de la o margine la alta, va prezenta grosimi mai mici spre extremități. Aceasta atrage după sine o repartiție neuniformă a coeficientului de frecare, deoarece la extremități, pelicula e mai subțire dar tot aici intensitățile curentului sînt mai mari. Aceste aspecte, nu numai că deosebesc contactul glisant între perie și colectorul cu lamele, față de inelul cu suprafață netedă, dar influențează și conducția electrică prin contactul situat într-un circuit care comută.

Un alt factor determinant în formarea patinei la trecerea curentului electric, îl constituie sensul curentului, deci polaritatea periei. Se știe că dacă o perie pozitivă și cealaltă negativă alunecă pe piste diferite, sub prima se formează o patină mai groasă și cu un coeficient de frecare mai mic decît sub a doua /75, 76, 78, 79, 142/. Faptul se explică ca o consecință nu numai a acțiunii cîmpului electric asupra moleculelor de carbon ionizate, de la suprafața



periei, ci și prin natura conductibilității straturilor semiconductorilor ce alcătuiesc patina (2.2.1). Când peria este pozitivă joncțiunea MOS este alimentată în sens direct, astfel că rezistența contactului p-c scade. La suprafața periei ca și a patinei există atomi și molecule de carbon ionizate care sînt transportate de cîmpul electric spre rețeaua heterogenă de oxizi, carburi și carbonați, a patinei. Aceasta are ca urmare creșterea grosimii patinei. În același timp, patina este supusă unui proces de șlefuire datorită frecării cu periile, astfel că după un anumit parcurs de alunecare, grosimea ajunge la o valoare de echilibru.

Cînd peria are polaritate negativă, rezistența de contact devine mai mare datorită alimentării inverse a joncțiunii MOS, iar pe de altă parte, forțele cîmpului acționează în sensul transportării particulelor de carbon de la colector spre perie. O mare parte a particulelor de carbon, desprinse din perie, sînt disipate și numai restul sînt prinse în reacțiile ce au loc la suprafața colectorului pentru formarea patinei.

Dacă ambele perii alunecă pe aceeași pistă, efectele polarităților opuse, asupra formării patinei, se echilibrează corespunzător unei grosimi a acesteia, apropiată mai mult de cazul periei pozitive.

În concluzie patina formată la suprafața colectorului este constituită dintr-o peliculă de întunecare cu două straturi, unul de oxid de cupru aflat în contact direct cu cuprul și al doilea format din oxizi, carburi, sulfuri aflat în contact cu oxidul de cupru. La suprafața exterioară a patinei mai există un strat bogat în particule de grafit care sînt slab legate de stratul de carburi și sulfuri, dar care intervine în procesele din contact, mai ales în cele de fricțiune. Pelicula de întunecare este rezultatul reacțiilor chimice dintre elementele proprii colectorului, periei și atmosferei și a unor procese electrice, mecanice și fizice.

Acest proces este influențat și de condițiile de mediu ca umiditatea, impuritățile din atmosferă, presiunea atmosferică etc., acestea putînd fi studiate prin încercări speciale cu reproducerea diferitelor condiții climatice.

### 2.3. TRECEREA CURENTULUI ELECTRIC PRIN CONTACTUL p - c .

Problema conductiei electrice a patinei interpusa între perie și suprafata collectorului ca și natura conductibilității însăși, nu este încă în întregime elucidată. Totuși o serie de procese au fost identificate cu totală certitudine și constituie stări reproductibile ale contactului glisant p-c.

În literatura de specialitate sînt destule publicații care atribuie conducția electrică a patinei, formării punților prin friting, sau suprafețelor "a", sau efectului tunel sau, în fine, proprietăților semiconductoare ale straturilor de  $Cu_2O$  și Carbon. Alteori /141/, se consideră ca bază a conductiei existența unei perpetue legături directe, între perie și collector, prin granule fine de carbon care rulează în zona de contact.

În realitate toate aceste fenomene există la trecerea curentului prin contactul glisant p-c, dar în funcție de condițiile în care este pus contactul, pot să predominine unele sau altele dintre ele. O analiză atentă a acestor condiții, permite stabilirea unui mod unitar de apreciere a fenomenelor care înlesnesc, cît și ale celor care însoțesc, trecerea curentului electric prin contactul glisant p-c.

#### 2.3.1. CONDUCTIA ELECTRICA PRIN FRITINGURI.

S-a arătat la punctul 1.2.3.2 că la contactul între oxidul de nichel și perie, apar fritinguri A și B ca și la peliculele de întunecare dintre contactele metalice, însă tensiunea de friting produce topirea numai a metalului și respectiv se formează o punte, numai dinspre metal spre perie. Concluziile rămîn valabile și în cazul contactului static între o perie și un inel de Cu, pe care există o patină formată prin alunecarea periei pe un parcurs corespunzător, pentru atingerea grosimii de echilibru a straturilor de oxizi și carbonați.

În cazul contactului glisant între perie și inel, cercetările întreprinse de E.Holm, au arătat că formarea

punților nu mai este posibilă. O serie de ipoteze privind trecerea curentului prin contactul glisant perie - inel colector, au fost parțial verificate, dar problema continuă să rămână la fel de controversată și incomplet elucidată. Majoritatea lucrărilor din literatura de specialitate continuă să se ocupe de proprietățile macroscopice ale contactului glisant cu elemente solide: perie - inel sau perie - colector (p-c). Nici aceste rezultate însă, nu pot fi complet explicate și interpretate, dacă nu se ține seama de fenomenele microscopice, ce au loc la trecerea curentului între perie și inel prin patina formată la suprafața acestuia. În nici un caz trecerea curentului prin peliculă nu trebuie urmărită în afara proceselor care au dus la formarea patinei pe colector. În funcție de condițiile în care s-a format patina (polaritatea periei, forța de apăsare, materialul periei, raportul dărităților periei și colectorului, etc.), trecerea curentului va avea loc printr-una sau alta dintre modalitățile posibile.

Indiferent că au loc fritinguri A sau fritinguri B, și în cazul contactului glisant p-c, conducția începe prin străpungerea straturilor peliculei. În lucrarea sa /54/ W.Franz prezintă ipoteza că primul pas în friting îl constituie eliberarea interioară (posibil și exterioară), a electronilor, prin efectul de emisie, "câmp interior", iar pasul al doilea, încălzirea căii curentului de către torentul de electroni. Această ipoteză e fundamentată pe teoria străpungerii dielectricilor relativ groși. R.Holm /84/, consideră că fritingul este o străpungere aparte, deosebită de cea a dielectricilor, prin faptul că apare și la tensiuni sub 1 V și totdeauna la aproximativ aceeași intensitate a câmpului electric. Inșă de fapt intensitatea câmpului de friting variază în funcție de timpul de formare a peliculei de întunecare, devenind cu atât mai mare cu cât pelicula e mai aproape de stabilitatea sa maximă /84 fig.27.02/. Pe de altă parte, aceasta arată că pe măsură ce pelicula se stabilizează, se reduc sursele potențiale ale atomilor, adică numărul defectelor de rețea scade, ceea ce înseamnă că fritingul nu se mai poate produce decât prin eliberare de electroni la câmpuri foarte intense. Faptul că fritingul este precedat de o încălzire, a căii de scurgere a curentului, s-a verificat prin aceea că la un șoc de tensiune de 50 Hz, fritingul A se produce într-un timp mai scurt decât la 5000 Hz când sînt necesare

câteva perioade, încît s-a tras concluzia că probabil e nevoie de aproximativ  $1/300$  sec, pentru încălzirea căii fritingului, fără a fi considerată aceasta ca o străpungere termică.

Ipoteza lui W.Franz, nu pierde din valabilitate față de argumentele care precizează caracteristicile fritingului. De fapt apariția fritingului totdeauna la aceeași intensitate a câmpului /84 p.140/, nu este încă o teorie verificată experimental în ce privește acțiunea inițială a câmpului. Tocmai în legătură cu această acțiune inițială, se emit ipotezele /54/ și se caută verificări experimentale.

Patina formată la suprafața colectorului, nu este o simplă peliculă de oxizi, așa cum s-a arătat deja. Procesul foarte complex de fenomene ce contribuie la formarea patinei (pct. 2.2.1), justifică structura heterogenă a acesteia și anizotropia sa electrică. În rețeaua patinei aflate în curs de formare există mari gradienti ai purtătorilor de sarcină. Aceștia cauzează apariția curentilor de difuzie și deci migrația ionilor (n și p) în rețea. La un moment dat, se ajunge la o stare de echilibru, în sensul că o mare parte a atomilor ocupă poziții în rețeaua normală a patinei, deci se reduce numărul de defecte și distorsiunile rețelei. Aceasta poate fi una din cauzele care determină creșterea intensității câmpului de friting, pe măsura stabilizării patinei, deoarece scade numărul purtătorilor de sarcină constituiți din ionii interstițiali și de substituție și crește în schimb numărul de electroni promovați în banda de conducție a atomilor rețelei. În legătură cu aceasta, interpretarea pe care am dat-o fenomenelor ce preced declanșarea fritingului propriu-zis (fig.1.11), servesc pentru explicarea trecerii curentului prin patina contactului p-c.

Fritingul nu este asimilat în întregime cu străpungerea dielectricilor /79/, deoarece în cazul acestora teoria urmărește modul de transmitere de energie electronilor, necesară ionizării (tensiunea de ionizare = 10 V), în timp ce la friting tensiunea este mult mai mică (1 V sau chiar mai puțin) /84 p.140/. Totuși aceasta nu constituie o deosebire fundamentală între străpungerea dielectricilor și friting, deși mai mult încă, peliculele fiind și semiconductoare mai intervin și alte procese, dar acestea nu fac să difere decât procesele de conducție între peliculă și dielectric, ci nu și cele

de străpungere. Este edificator în acest sens, să observăm că în timp ce fritingul are loc totdeauna la intensități ale câmpului de ordinul a  $10^6$  V/cm, pentru dielectrice limita superioară a legii lui Poole este de  $10^6 + 10^7$  V/cm, la care are loc străpungerea dielectricului. Aceasta înseamnă că natura fenomenelor în cele două cazuri este aceeași. Deosebiri între cele două cazuri, apar în ce privește modul de variație a tensiunii și curentului prin pelicula străpunsă, respectiv prin dielectric. Pe de altă parte s-a constatat că peliculele de pe contacte, sînt electroizolante pînă la atingerea intensității de câmp la care are loc fritingul, prin urmare conducția foarte redusă a peliculelor de oxizi la tensiuni mici, ca și a dielectricilor, atestă că purtătorii de sarcină nu sînt electronii, ci ionii de interstiție și de substituție. Si într-un caz și în celălalt, la valori ale câmpului electric de ordinul a  $10^3 + 10^4$  V/cm, apare și conducția electronică. Aceasta determină în mai mare măsură posibilitatea încălzirii locului de contact prin friting, ca și a încălzirilor locale din dielectrice înaintea momentului străpungerii. Incălzirea punctului de contact, determină o micșorare a rezistenței patinei și în consecință o strangulare a curentului din perie în punctul respectiv. Apare o rezistență de strangulare mult mărită și respectiv căderea de tensiune pe contact crește, intensitatea câmpului atingînd valoarea necesară fritingului.

Ceea ce este însă mai important, referitor la trecerea curentului prin contactul p-c pe seama fritingurilor, zidă în deosebirile esențiale între efectele fritingului la contactul static patină - bară de grafit, față de contactul glisant patină - perie.

S-a arătat /74/ că la contactul între pelicula de întunecare formată din oxizi sau patina formată de perie pe un inel colector și o bară metalică ( de ex. de Au), după producerea fritingului tensiunea la capetele canalului atinge valoarea (1.18) de topire, formîndu-se punți metalice de legătură. Variația tensiunii în timp sau în funcție de curent (caracteristici UI), a fost observată prin oscilografieră, (fig.2.01). Tensiunea a fost mărită de la zero la 2,5 V în mai puțin de 0,25 sec. La 2,5 V s-a produs fritingul A, tensiu-

nea reducându-se brusc la 0,38 V, ceea ce depășește tensiunea de topire a Cuprului sau a Aurului. Deci, apare în acest caz un contact metalic. Tensiunea scade la început pînă la 0,14 V, corespunzător rezistenței de strangulare, apoi cu creșterea curentului are loc lărgirea petei de contact, iar

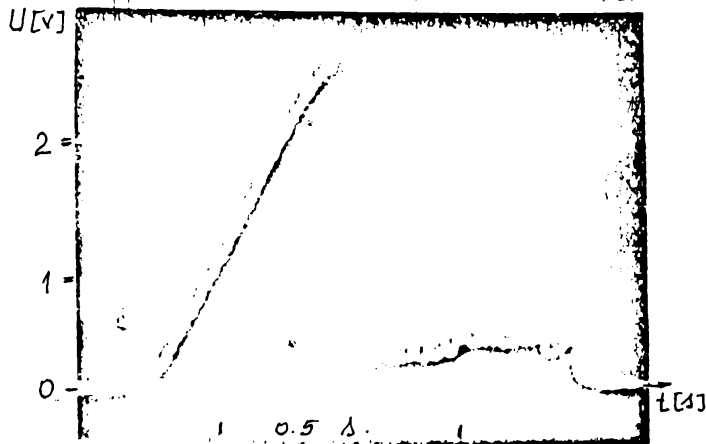


Fig. 2.01. Variația în timp a tensiunii la fritingul patinei de pe inel ( $\varnothing$  7 cm) în contact cu o bară de Au ( $\varnothing$  0,32 cm).

tensiunea atinge 0,38 V, corespunzător topirii contactelor și formării punții metalice solidificate. În același fel, s-a găsit că variația curentului în timp este liniară, adică rezistența de contact rămîne practic constantă, deci contactul este metalic, rezistența sa scăzînd odată cu tensiunea, deci cu temperatura. O mică parte a curentului trece însă și

în afara petei de contact "a", prin pelicula ce o înconjoară.

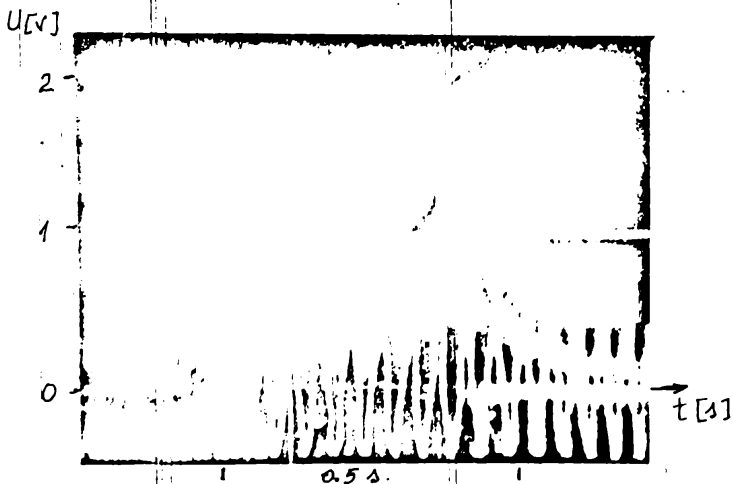


Fig. 2.02. Variația în timp a tensiunii la fritingul patinei de pe inel ( $\varnothing$  7 cm) în contact cu bara de cărbune grafitat.

Incercări similare, /74/ s-au efectuat între patină și o bară de cărbune grafitat. Fritingul apare aici la numai 1 V, dar după friting tensiunea rămîne relativ ridicată. Aceasta corespunde (fig. 2.02) căderii de tensiune pe rezistența de strangulare din contactul de cărbune și numai o mică parte celei din contactul de Cu. Temperatura calculată

pentru acest caz după /84/ , nu depășește 80 - 100°C, ceea ce înseamnă că nu are loc topirea contactului. Această situație e caracteristică pentru formarea contactului conduc-

tor între inelul de Cu cu patină și contactul de cărbune, în sensul că după apariția fritingului, prin străpungerea patinei la 1 V, este necesară o tensiune de aproximativ aceeași valoare (1 V), pentru lărgirea petei de contact. Din fig.2.02 se observă că după aproximativ 0,4 sec, are loc o variație cu viteză maximă a tensiunii, pînă la lărgirea petei de contact corespunzător valorii curentului. Adică după apariția primului friting, etapele următoare de conducție au loc pe seama fritingului B. Si în acest caz se constată, la o variație rapidă a curentului că rezistența de contact rămîne aproximativ constantă și egală cu  $0,45\Omega$ . La încercări, efectuate pe patină formată de peria catodică, s-a constatat că inițial rezistența de contact are o valoare de  $3,2\Omega$ , care se menține după primul friting, pînă cînd tensiunea de contact ajunge la 0,4 V, în punctele în care apare fritingul B, după care rezistența scade la  $0,5\Omega$ .

Rezultă că la contactul între patină și bara de cărbune, trecerea curentului se face prin fritinguri B, după ce au loc în prealabil fritinguri A, prin care patina este străpunsă.

În cazul contactului glisant între peria de cărbune și inelul colector sau colectorul cu lamele, trecerea curentului are loc cu precădere prin fritinguri. Există și din acest punct de vedere diferențe de păreri, unii autori considerînd, în baza cercetărilor experimentale efectuate /33,122/, că nu apar fritinguri decît la temperaturi mici ale patinei, adică la punerea în funcțiune a mașinilor cu colectoare și perii, contactul putînd fi considerat încă rece. La intensități mici de curent în perii, la care temperatura crește pînă la  $30^{\circ}\text{C}$ , conductibilitatea patinei se datorează caracterului său de semiconductor extrinsec, prin activarea atomilor interstițiali. Peste  $80 + 100^{\circ}\text{C}$ , apare conductibilitatea electronică, intrinsecă, încît patina prezintă o conducție proprie foarte mărită. Deoarece aceeași conducție apare și la intensități de cîmp ce depășesc  $5 \cdot 10^5 \text{ V/cm}$ , este destul de greu de apreciat în ce măsură această conducție aparține fritingurilor sau conducției intrinseci a patinei. Totuși dacă se ține seama că grosimea stratului de oxid și chiar a patinei în totalitate, nu depășesc  $100 + 150 \text{ \AA}$ , efectul semiconductor neexistînd decît la valori mici ale cîmpului, rezultă că la temperaturi mici și intensități mari ale cîmpului, este predominant fenomenul de

friting atît A cît și B. După un anumit timp de funcționare a contactului p-c, suprafețele "a" fritingate pînă aici, nu se acoperă, la mișcarea fără curent între două perii succesive, decît cu un strat foarte subțire de oxid la care nu mai poate fi vorba de caracter semiconductor în sensul efectului de diodă. În schimb, aceste suprafețe pot fi și în continuare ușor fritingate A și respectiv B. Conducția prin aceste pelicule foarte subțiri, este de tip tunel. De exemplu, cînd perii alunecă pe un colector proaspăt curățit, se constată conducție prin friting la peria catodică și prin efect tunel la cea anodică /76/. În același timp însă, în puncte de contact care nu au fost distruse prin friting și în care grosimea patinei a rămas mai mare, există gradienti de temperatură de valori foarte mari. În aceste puncte este posibilă apariția conductivității intrinseci a patinei, la valori corespunzătoare ale cîmpului, sau chiar descărcarea în avalanșă și respectiv străpungerea. Deci cele două posibilități de conducție, prin fritinguri și prin scăderea rezistenței patinei (datorită conductivității intrinseci), coexistă atît la temperaturi mari cît și la cele mai scăzute, însă în ultimul caz predomină fritingurile și invers.

Raportul între conducția patinei prin fritinguri și cea intrinsecă, este în mod esențial influențat de starea atmosferei în care se află contactul glisant p-c. În vid dispăre orice friting și orice supratensiune la contact.

În atmosferă normală de oxigen, după ce patina atinge grosimea de echilibru ( $100-150 \text{ \AA}$ ), o mărime caracteristică pentru sensul trecerii curentului, prin contactul p-c, o constituie tensiunea la contact, după apariția fritingului. E.Holm, studiind sub acest aspect contactul între perie și inel, stabilește că, în afară de fritinguri A și B, este posibil ca la peria catodică să apară fritinguri prin punți, care se rup mereu, iar proaspătele suprafețe se oxidează repede și iau naștere merou noi punți /76/. Urmărindu-se simultan fritingul prin punți, fritingul A și fritingul B, se deduc concluzii importante pentru influența sensului curentului asupra căderii de tensiune pe contactul glisant perie-inel. Acestei influențe nu i se poate da o interpretare corectă decît dacă se pun în evidență și proprietățile semiconductoare



ale patinei. Acestea însă nu apar decît, așa cum s-a arătat, la grosimi de peste  $100 \text{ \AA}$  ale patinei.

### 2.3.1.1. Influența polarității periei asupra conductivității patinei la contactul p-c.

La o alunecare liniștită a periei pe un inel colector se poate constata, experimental, influențele polarității periei asupra conductivității patinei. Evitarea oricăror surse de vibrații, este necesară pentru a nu se produce oscilații ale tensiunii la contact.

Dacă peria este catodică (deci curentul trece de la inel la perie), se constată că apar oscilații ale tensiunii, care nu pot fi decît un indiciu că iau naștere punți metalice, prin friting, chiar la tensiuni mici, atunci cînd contactul este fix. Dacă inelul se află în mișcare, apar tensiuni și supratensiuni mult mai mari, evident necesare pentru formarea unor punți momentane, dar și datorită faptului că suprafețele de rupere ale punților metalice se oxidează foarte repede. Structurile de oxid ce se formează în timp scurt, sînt foarte subțiri și pot fi ușor fritingate. Pentru aceste fritinguri necesare supratensiuni (adică creșteri ale tensiunii la contact peste o valoare de echilibru).

Pentru peria anodică, s-a constatat /78/ că la intensitatea cîmpului de  $10^6 \text{ V/cm}$ , apare strangularea curentului și respectiv fritingul A, după care suprafața de contact, se mărește sau se micșorează, prin fritinguri B, corespunzător valorii curentului ce trece prin contact. După apariția fritingului A, suprafața de contact nu este stabilă, ci oscilează între o bună conducție și izolație, datorită acțiunii forței tangențiale din planul suprafeței "a", asupra lizierei peliculei de oxid ce o înconjoară de jur împrejur. La un moment dat, în funcție de valoarea curentului, se stabilește un echilibru între oxidarea suprafeței "a" și acțiunea forței tangențiale de îndepărtare a lizierei filmului de oxid. Această forță tangențială, a fost calculată de R.Holm /88/ în 1961 și a fost aplicată în relații cantitative, cu bune rezultate. Totuși, nu se cunosc încă cu exactitate cauzele care determină adaptarea suprafeței metalice de contact "a", la valoarea curentului, ast-

fel ca tensiunea să rămână mereu constantă, la echilibru. Se presupune de asemenea, că de fapt, pe suprafețele de rupere ale punților metalice, nu are loc o îndepărtare completă a stratului de oxid și că rămîne un strat extrem de subțire, în care predomină conducția tunel. Ceea ce se poate însă constata experimental, la peria anodică, este faptul că după ce prin friting A, sau alte împrejurări, are loc strangularea curentului în zona suprafeței de contact "a" instabilă și imperfectă, începe fritingul B, iar la echilibru, tensiunea la contact scade la o valoare  $U_0 = 0,4 \text{ V}$ , pentru cele mai diferite mărci și materiale de perii. Concluzia care rezultă, este că suprafețele "a", ce apar în patina pe care alunecă peria anodică, se oxidează abia puțin și deci, nu apar supra-tensiuni caracteristice fritingurilor, conducția făcîndu-se prin efect tunel. Ca toate acestea să poată fi observate se impune realizarea cu strictețe a alunecării liniștite a periei pe colector.

În cazul în care peria este catodică, curentul trecînd prin patină dinspre cupru spre peria, se constată fenomene cu totul opuse, tensiunea la contact prezentînd oscilații pînă la valori de peste  $1,4 \text{ V}$ , adică cu  $1 \text{ V}$  peste valoarea de echilibru  $U_0$ , din cazul periei anodice. Aceasta dovedește că suprafețele "a", se oxidează repede și că trecerea curentului, are loc prin punți metalice, formate prin fritinguri și prelungite spre perie.

Asemenea fenomene, au fost puse în evidență prin înregistrarea simultană a tensiunilor la peria anodică și catodică ca funcție de timp /76, 78/. Pentru cazul alunecării liniștite, oscilograma de prezintă ca în fig.2.03. Oscilograma

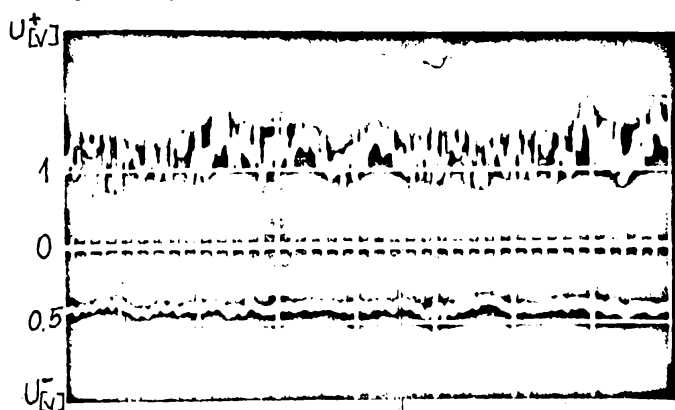


Fig.2.03. Variația tensiunilor la peria (+) și la peria (-) în funcție de timp.

variabilei căderii de tensiune pe periele anodice și catodice, din fig. 2.03 reprezintă căderea de tensiune la peria catodică pe axa  $(0-U^+)$  iar la peria anodică pe axa  $(0-U^-)$ . S-a notat cu  $U^+$  căderea de tensiune pe contact în cazul cînd Cuprul colectorului este

legat la borna pozitivă a sursei și respectiv cu  $U^-$  când colectorul e legat la borna negativă a sursei (peria fiind deci la anod). Oscilograma este ridicată în condițiile mișcării liniștite a periiilor pe inel. La periiile aflate în repaus, se constată de asemenea, deosebiri clare între o polaritate și cealaltă a periei. Dacă peria este anodică rezistența de contact scade cu creșterea tensiunii (cu cca. 10% pentru un interval de 0,17 V). Datele se referă la un contact între perie și suprafața unui inel colector proaspăt curățată, pe care nu există decât un strat subțire de oxid de cupru și nu s-a format încă o patină în sensul celor arătate la punctul (2.2.1). Totuși, explicația nu poate fi atribuită conductivității joncțiunii MOS (metal oxid-semiconductor), prin ionizarea defectelor de rețea, deoarece stratul de oxid este sub 30-40 Å. Ținând seama de caracterul acceptor al oxidului, joncțiunea este alimentată în sens direct, dar conducția are loc prin efect tunel. Dacă peria este caticică se măsoară o creștere a rezistenței de contact, cu creșterea curentului., datorită formării de suprafețe metalice de contact ( $\alpha_{\theta}(\varphi) > 0$ ) prin fritinguri și respectiv creșterii rezistenței de strangulare.

Când periiile nu sînt în repaus față de colector, trecerea curentului prin contact este însoțită de aceleași fenomene, numai că devin mai mari căderile de tensiune pe contact.

Dacă se studiază evoluția influenței grosimii patinei asupra trecerii curentului prin contact la polarități diferite, începînd de la starea curată a suprafeței colectorului neted și terminînd cu patină ajunsă la grosimea de echilibru, se pot stabili cîteva etape caracteristice:

a) la alunecarea fără curent pînă la 20 km de parcurs a periiilor pe inel, nu apar schimbări esențiale față de momentul inițial. Se observă însă la peria anodică, că deși pelicula a crescut, nu apar fritinguri A și în consecință curentul trece tot prin efect tunel sau, eventual, suprafețe "a".

b) la aproximativ 500 km de parcurs, patina formată, fără trecerea curentului, atinge grosimea aproape stabilizată, de cca. 100 Å, deoarece se constată că sub peria anodică pînă la aproximativ 1 V, tensiune aplicată, nu trece nici un curent, deci patina este izolantă. Peste tensiunea de 1 V, apar fritinguri A și mici suprafețe "a", care păs -

trează totuși un film de oxid prin care curentul trece prin efect tunel. În schimb la peria catodică, pînă la aproximativ 2 V, apar punți prin friting a căror rezistență se stabilește la o valoare constantă.

Experiența arată că grosimea patinei, formată fără curent, rămîne la aproximativ  $100 \text{ \AA}$  chiar și după un parcurs de 10.000 km, iar fritingurile A se produc în jur de 1,2 V, ceea ce înseamnă că începînd de la 500+1000 km creșterea grosimii patinei este contrabalansată de uzura mecanică.

La alunecarea periilor pe patină cu grosimea de  $100 \text{ \AA}$ , în condițiile trecerii unui curent de 5 A prin contact, nu se constată nici o modificare după 10 km de parcurs și nici după mai mult, în raport cu o alunecare de numai 1 sec. dacă peria este catodică. În schimb la alunecarea cu trecerea curentului, la peria anodică, se constată stabilirea echilibrului între forța tangențială de îndepărtare a oxidului și procesul de oxidare, la o tensiune de 0,4 V, care se păstrează aceeași, pentru un domeniu larg de valori ale curentului sau de sorturi de perii.

Fenomenele rămîn în general aceleași și în cazul în care experimentarea se face cu trecerea curentului nu după formarea patinei, ci imediat după o curățire perfectă a inelului colector. Adică, se măsoară supratensiuni care oscilează, dacă peria este catodică și respectiv o tensiune  $U_0$  constantă (0,4 V), dacă peria este anodică. La peria anodică se realizează contactul prin suprafețe "a", care nu suferă oxidare mai mare decît cea care permite conducția prin efect tunel. La creșterea curentului de la o valoare la alta, începînd încă de la 3 A, apare fenomenul de echilibru între oxidare și forțele tangențiale din suprafețele "a". Pentru atingerea acestui echilibru la tensiunea  $U_0$ , este necesară o alunecare de 10+20 km din momentul creșterii curentului. De aici rezultă clar că suprafețele "a" sînt mai mici decît suprafețele care preciau forța de apăsare (fig.102). Prin urmare, se poate deduce că grosimea stratului de oxid, care rămîne după curățirea colectorului, este neuniformă și că în punctele unde aceasta e mai mică, are loc conducția prin efect tunel la peria aflată în repaus. La alunecare însă, din cauza tensiunilor la contact mai ridicate, apar fritinguri B. Între tensiunea de echi-

libru  $U_0$  și curent (la care se adaptează totdeauna suprafața "a"), s-a stabilit o relație /76/ de forma:

$$IR = \frac{C}{r_a} \cdot I = U_0 = 0,4 \pm 0,1 \text{ V} \quad (2.1)$$

în care  $r_a$  este raza medie corespunzătoare unei suprafețe "a", iar  $C$  o constantă ce depinde de rezistivitatea periei și de numărul "n" de suprafețe "a" de sub perie (număr presupus independent de  $\varphi$ ). De exemplu, dacă curentul este mărit de la 5 A la 10 A, tensiunea crește imediat peste  $U_0$ , deoarece liniile densității de curent trebuie să se restrângă forțat prin suprafața îngustă "a". Ca urmare crește forța tangențială <sup>≡)</sup> de îndepărtare a filmului de oxid. După 10+20 km de alunecare, suprafețele "a" ajung ca valoare, potrivite curentului și tensiunea devine din nou constantă și egală cu  $U_0$ . Dacă se execută o micșorare a curentului, tensiunea scade la început sub  $U_0$  iar apoi după un timp relativ lung ajunge din nou la valoarea de echilibru  $U_0$ .

Aceste rezultate pot fi folosite în activitatea de selecționare a mărcii optime de perie pentru condiții date, deoarece se poate găsi peria care se adaptează mai repede schimbării valorilor curentului.

Dacă se efectuează aceleași încercări ale contactului p-c dar în vid, care nu e nevoie să fie prea înaintat (cel puțin  $10^{-2}$  torr), se constată că patina nu se mai formează și că între perie și inel există contact metalic pe întreaga suprafață ce preia forța de apăsare. Tensiunea la contact, pentru amândouă sensurile curentului, este la fel de mică, cca. 0,4 V, deci mult inferioară tensiunii  $U_0$ . Coeficientul de frecare crește de la 0,14 la 0,3, iar uzura periilor devine de 30-40 de ori mai mare decât la presiunea atmosferică normală. Aceasta este o dovadă a faptului că între perie și colector, contactul este pur metalic. În același mod se comportă toate materialele de perii. Pe de altă parte, aceasta este o dovadă că la formarea patinei, prezența oxigenului este o condiție indispensabilă și că presiunea atmosferică influențează timpul de formare a patinei, la o grosime stabilizată.

<sup>≡)</sup>  $F = \frac{U \cdot a}{2} \cdot \alpha \cdot \frac{U}{a}$

### 2.3.2. CONDUCTIA ELECTRICA A PATINEI PRIN EFECT SEMICONDUCTOR.

Caracterul semiconductor al patinei rezultă, parțial, din contextul prezentărilor anterioare ale proprietăților contactului glisant p-c, dar nu are în toate situațiile o influență determinantă asupra conductivității electrice. Din acest punct de vedere se pot face confuzii între cazurile în care predomină caracterul semiconductor al patinei și cele în care conducția are loc, cu precădere, pe seama fritingurilor.

Proprietățile semiconductoare ale patinei au fost temeinic studiate de către Schröter /170, 171, 172, 173/ care arată că în anumite condiții nu sînt necesare fritinguri pentru trecerea curentului. În cercetări ulterioare /121, 122, 206/ s-a reușit punerea în evidență a domeniului de conducție extrinsecă și a celui de conducție proprie (intrinsecă), la temperaturi peste 80°C.

S-a arătat pînă aici că patina este formată de stratul de oxid de cupru ( $Cu_2O$ ) peste care se depune un strat foarte bogat în grafit și care conține de asemenea carburi, carbonați, sulfuri și oxizi. Pentru oxidul de cupru, s-a stabilit că are conductibilitate prin goluri /180/, fiind deci un semiconductor de tip "p" (acceptor). Lățimea benzii interzise este 2,1 /eV/, iar lățimea dintre nivelul nivelului zonei de valență și nivelul acceptor este de 0,8 /eV/. Conform teoriei lui Bardeen /157/, concentrația purtătorilor de sarcină în semiconductor este mai mare în vecinătatea imediată a frontierei de separație cu metalul. Pentru o rețea cu defecte electronice, deci cu conducție prin goluri, concentrația purtătorilor de sarcină și respectiv conductivitatea electrică /157, 44, 180, 182, 174/ este o funcție exponențială de forma:

$$\sigma = \sigma_{\infty} \cdot e^{-\frac{W_p}{2kT}} \quad (2.2)$$

unde:  $\sigma$  - conductivitatea la temperatură foarte înaltă  
 $W_p$  - energia Fermi a semiconductorului "p" ( $Cu_2O$ )  
 $k$  - constanta lui Boltzmann  
 $T$  - temperatura absolută

Dacă se consideră o valoare  $\sigma_0$  cunoscută a con-

ductivității (de ex.  $1 \Omega \text{cm}^{-1}$ ) la o anumită temperatură de referință, atunci se vede că din (2.2) putem obține o relație de forma

$$\ln \left( \frac{\sigma}{\sigma_0} \right) = f \left( \frac{1}{T} \right) \quad (2.3)$$

Cum la baza acestor relații din fizica semiconductorilor stau expresiile concentrațiilor purtătorilor de sarcină după statistica Fermi-Dirac sau Maxwell-Boltzmann, care se aplică și oxidului de cupru, rezultă că o relație de forma (2.3) poate fi verificată experimental, cu patina formată pe un colector de cupru. Patina trebuie însă încălzită de la o sursă aparte

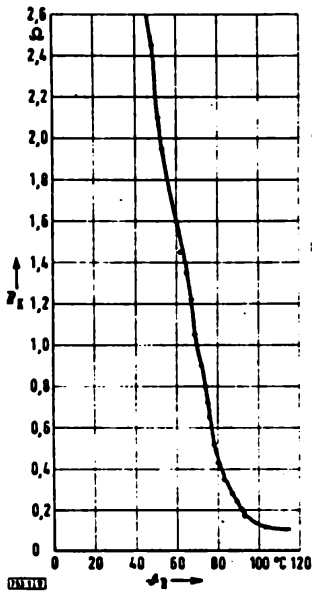


Fig.2.04. Variația cu temperatura a rezistenței de contact p-c.

și nu prin trecerea curentului prin contactul p-c, care dimpotrivă trebuie să fie mic (100-200 mA) și de frecvență 50 Hz pentru a nu produce o polarizare unilaterală /204/. Pentru o patină formată cu perii electrografitice, s-a obținut o curbă de variație a rezistenței de contact cu temperatura ca în fig.2.04.

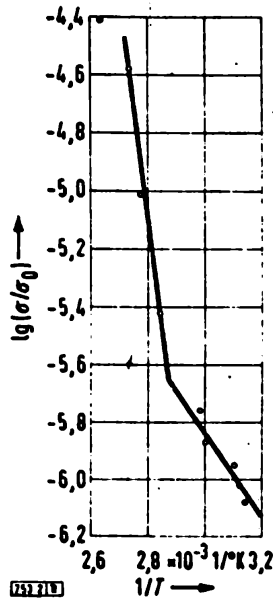
Rezistența de contact a fost determinată la un curent de 0,2 A, 50 Hz. Această curbă permite să se aprecieze atât faptul că patina este semiconductoră

$\alpha_{\theta}(\varphi) < 0$ , cât și valoarea rezistenței de strangulare  $R_S$  în perie. Într-adevăr la o temperatură de peste  $100^{\circ}\text{C}$  se poate neglija rezistența patinei încît, ceea ce apare în curbă, (de ex. la  $120^{\circ}\text{C}$ ), este rezistența de strangulare în perie.

Pentru cazul dat rezultă  $R_S = 100 \text{ m}\Omega$ . Cu

$\sigma_0$  determinat la temperatura mediului ambiant se poate trasa caracteristica (2.3) ținînd seama de curba din fig.2.04. Pentru patina formată de perii electrografitice se obține rezultatul din fig.2.05. Se observă că această variație a conductivității cu temperatura este identică, ca formă, cu cea a semiconductorilor. În plus, se constată că în cazul patinei, pînă la  $80^{\circ}\text{C}$ , predomină conducția prin impurități, iar la temperaturi mai mari apare conducția proprie (intrinsecă). Din panta caracteristicii din fig.2.05 se poate deduce  $\Delta W_p$ . Faptul că pentru temperaturi pînă la  $80^{\circ}\text{C}$  s-a obținut  $\Delta W_p = 0,6 \text{ /eV/}$ ,

adică o valoare mai mare decât la semiconductorii uzuali, denotă că în acest domeniu de temperaturi nu sînt disociați toți



atomii impurităților. La temperaturi mai mari,  $\Delta W_p$  este mult mai mare, ceea ce corespunde conducerii intrinseci, care necesită energii mari pentru trecerea electronilor din banda de valență direct în banda de conducție.

Faptul că patina este semiconductoră, are ca urmare variația sensibilă a rezistenței sale cu temperatura. Aceasta se va putea lua în considerare la influența rezistenței de contact asupra comutației. Rezistența patinei poate fi determinată și prin măsurări directe /203/ la curenți mici, cu frecvența de 50 Hz. Mă-

Fig.2.05. Variația conductivității patinei cu inversul temperaturii absolute.

surînd tensiunea și curentul se determină rezistența de contact, din care scăzîndu-se  $R_s$  se obține rezistența patinei  $R_p$ , la diferite valori ale tempera-

turii. Asemenea rezultate, obținute cu un colector încălzit de la o sursă separată, sînt date de W.Volkman /205/ care pentru rezistența  $R_p$  și temperatura  $O_p$  a obținut valorile următoare:

$R_p$ mΩ	2150	2047	1780	1480	1100	827	652
$O_p$ °C	50	51	55	60	68	71	75

Rezistența patinei poate fi dedusă și prin calcul folosind relațiile cunoscute din fizica semiconductoarelor. Astfel din relația (2.2) se deduce (după înlocuirea conductivității în expresia rezistenței electrice) :

$$R_p = R_\infty \cdot e^{\frac{\Delta W_p}{2T}} \quad (2.4)$$

în care luîndu-se  $\Delta W_p = 0,6$  /eV/ și  $R_\infty$  apreciat la o temperatură suficient de mare (se ajunge la valori de ordinul  $50 \cdot 10^{-3}$  mΩ), celelalte elemente fiind cunoscute, rezultă  $R_p$ . Intre valorile determinate experimental și cele obținute prin



calcul s-a ajuns la o coincidență a rezultatelor /204/, în domeniul temperaturilor sub  $30^{\circ}\text{C}$  și câmpuri mici și la diferențe neglijabile în domeniul temperaturilor mai mari și intensității de câmp electric mai ridicate. Diferența apare deoarece la câmpuri de  $5 \cdot 10^5$  V/cm se produce ionizarea prin șoc, adică nu mai există o conducție determinată exclusiv de atomii impurităților, deci o conducție a semiconductorului.

Dependența trecerii curentului de caracterul semiconductor al patinei se manifestă mai ales la polaritatea catodică a periei, ceea ce corespunde unei alimentări inverse a joncțiunii MOS cu  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Adică tensiunea mai ridicată la contactul periei catodice, la colector în rotație, decât căderea de tensiune pe contactul periei anodice, corespund cazului în care la redresorul cuproxid este negativă polaritatea electrodului pus în contact cu stratul de oxid, deci baza este blocată. Spre deosebire însă de alimentarea inversă a redresorului de cuproxid, la contactul perie (catodică) - patină - colector, se constată /206/ că valoarea curentului invers, la aceeași valoare a tensiunii inverse, este mai mare. Se poate presupune deci, că pe lângă funcția de redresare a patinei mai apar și alte fenomene, care în anumite situații pot fi determinante pentru conducția electrică. Diferența între căderea de tensiune pe contact la peria catodică și la cea anodică depinde de mai mulți factori, care prin anumite modalități de experimentare au fost puși în evidență fără ca alte cauze să influențeze rezultatele. Se remarcă în mod deosebit influența temperaturii inelului, a sortului de perie care a format patina, a sortului de perie care face contactul cu patina formată de o altă perie, a umidității și impurităților mediului ambiant și în fine a frecvenței cu care se schimbă polaritatea aceleiași perii ce alunecă pe un inel încălzit. Până în prezent însă, nu există explicații teoretice unice ale influențelor acestor factori, determinate pe cale experimentală.

Pentru o singură perie, care alunecă pe patina unui inel colector încălzit la  $50^{\circ}\text{C}$  și căreia i se schimbă brusc polaritatea, s-au obținut rapoarte ale căderilor de tensiune pe peria catodică (notate cu  $\Delta U^-$ ) și peria anodică (notate cu  $\Delta U^+$ ) ca cele cuprinse în tabelul (II.01).

Tabelul (II.01)

Felul periei	Temperatura inelului 50°C		Temperatura inelului 90°C	
	$\Delta U^-/\Delta U^+$	j A/cm <sup>2</sup>	$\Delta U^-/\Delta U^+$	j A/cm <sup>2</sup>
A	5,2	0,2	1,2	12
B	3	0,2	2,5	12

Pentru aceeași perie alimentată la tensiune alternativă de 50 Hz rezultatele sînt cele din tabelul (II.02), unde  $\Delta U^=$  și  $\Delta U^~$  sînt căderile de tensiune pe contactul p-c în curent continuu, respectiv în curent alternativ.

Tabelul (II.02)

Felul periei	Temperatura inelului 50°C		Temperatura inelului 90°C	
	$\Delta U^=/\Delta U^~$	j A/cm <sup>2</sup>	$\Delta U^=/\Delta U^~$	J A/cm <sup>2</sup>
A	11	0,2	0,1	12
B	6	0,2	4	12

Dacă se ține seama de faptul că atât pentru formarea patinei cît și pentru adaptarea suprafețelor B fritingate (punctul 2.3.1.) este necesar un anumit timp, rezultă că explicația diferențelor căderilor de tensiune, în funcție de frecvența de depolarizare, nu se poate face decît plecînd de la teoria fritingurilor /54, 79, 84/ deși autorul /204/ datelor din tabelele (II.01) și (II.02) nu face uz de aceasta.

Faptul că la tensiune alternativă dispar diferențele mari polare ale căderilor de tensiune pe contact, relevă că nu apare o conducție a patinei în sensul strict al fizicii semiconductorilor și aceasta e explicabil dacă se ține seama de grosimea mult mai mică a patinei decît a straturilor de oxizi de la redresoarele cu oxid. Patina este de obicei mai subțire decît stratul de inversie de la aceste redresoare încît numai datorită neuniformității sale poate prezenta pentru unele puncte conducție tunel, în timp ce în altele sînt predominante conducția prin efectul de diodă. În cazul din urmă, la alimentarea inversă, se pot produce fritinguri momentane, în urma cărora conducția crește la aceeași valoare valoare a tensiunii inverse la care la un redresor cu joncțiune MOS pelicula de oxid este încă izolantă. Trebuie precizat, pe de altă parte că, conducția ca semiconduc-

tor de tip "p", deci prin impurități, are loc numai pînă la temperaturi apropiate de cea a mediului ambiant, în timp ce la temperaturi mai mari conducția devine proprie. Aceasta însă se poate declanșa fie pe seama creșterii temperaturii fie pe cea a creșterii cîmpului electric urmată de fritinguri. Astfel din tabelele (II.01) și (II.02) se observă că la temperaturi mai mari, aproape dispare diferența polară a căderilor de tensiune și aceasta datorită numărului mai mare de purtători de sarcină. Există și părerea că deosebirile între căderile de tensiune dispar la rotorul încălzit deoarece rezistențele de strangulare din perii sînt foarte mari în raport cu rezistența patinei.

Există părerea /204/ că la colector încălzit nu apar fritinguri, dedusă din faptul că pînă la densități de curent de  $40 \text{ A/cm}^2$  care produce intense încălziri locale, nu s-au observat fritinguri. Dar la o polaritate a joncțiunii MOS corespunzătoare alimentării inverse, chiar dacă temperatura crește, numărul purtătorilor de sarcină, care traversează joncțiunea, este foarte mic și deci fritingurile nu sînt excluse, ci dimpotrivă prin ele se realizează, la intensități corespunzătoare ale cîmpului, treceri de la conducția extrinsecă la cea proprie.

Proprietățile semiconductoare ale patinei se manifestă direct în forma caracteristicilor statice și a celor dinamice ale contactului p-c, așa cum se va arăta în capitolul următor.

## 2.4. CONCLUZII

1. Patina ce se formează la suprafața colectoarelor pe care alunecă perii de cărbune, conține un strat de  $\text{Cu}_2\text{O}$  în contact cu metalul, formînd împreună o joncțiune MOS acceptoare, și un strat exterior care conține carburi, carbonați, sulfuri și oxizi, ce are un caracter semiconductor donox. Stratul bogat în carbon formează cu oxidul de cupru, o joncțiune n-p.

2. Formarea patinei este un proces complex, ce este precedat întotdeauna de oxidarea metalului. Ea se formează prin procese chimice, fizice, mecanice și termice, incluzînd reacții între toate elementele prezente la locul de contact.

3. Patina are proprietăți semiconductoare.

4. Trecerea curentului prin patină are loc pe seama fritingului A și B la grosimi de peste 40 - 60 Å și prin efect

tunel la grosimi mai mici.

5. Deși patina formată de peria anodică este mai groasă, aici predomină conducția tunel, deoarece joncțiunea MOS este alimentată în sens direct. În schimb la peria catodică, la patină mai subțire decât sub peria anodică, apar fritin-guri A și B.

6. Cu creșterea temperaturii, crește conductivitatea patinei, atât în sens direct cât și invers, astfel că influența polarității periei devine neglijabilă.

7. Patina se formează numai în prezența elementelor atmosferice. Ea are și un efect lubrifiant, la alunecarea periiilor pe colector.

3.1. UNELE ASPECTE ALE CARACTERISTICILOR  
FUNCTIONALE ALE CONTACTULUI p - c

Cercetările contactului dintre perie și colectoare, sînt subordonate folosirii raționale și eficiente a acestuia în construcția și funcționarea mașinilor electrice. Cele mai complexe și dificile probleme apar la contactul periei cu un colector cu lamele. Alegerea sortului optim de perie, pentru acest caz, este o cerință majoră impusă de răspîndirea mașinilor electrice cu colector în acționări, tracțiuni, sisteme de excitație ale centralelor, etc.

Numărul foarte mare de încercări, ce se impun pentru examinarea completă a comportării unui sort de perie în condiții date, împiedică, prin durata și complexitatea lor ca și a instalațiilor necesare, o cuprindere a acestora în probele obligatorii standardizate. Ca urmare s-a ajuns la un minim de probe, a căror diversitate difere de la o țară la alta. O privire critică /202, 203, 205/ asupra celor mai complete standarde /212, 213, 214, 215, 216/, scoate în evidență o situație paradoxală: sînt obligatorii măsurările ale caracteristicilor fizice, mecanice și electrice, (porozitate, conținutul de cenușă, coeficientul de frecare, duritatea, rezistența la înconvoiere și compresiunea, rezistivitatea, caracteristicile volt-amperice (V-A) statice, ș.a), dar rămîne neimpuse caracteristicile dinamice ale contactului p-c ca și proprietățile de comutație ale periei. Acestea din urmă sînt recomandate de unele standarde /215, 214/, dar nu sînt impuse. În practica exploatării mașinilor electrice cu colector, se constată /42, 205, 207, 208, 210/ că fiabilitatea mașinii depinde, în mare măsură, de capacitatea de comutație a periei, respectiv de nivelul eroziunii electrice a contactului p-c, în timp ce alte caracteristici au o influență mai redusă.

La mașinile electrice de curenți mari, la care pe aceeași consolă funcționează mai multe perii în paralel,

trebuie determinată repartiția curentului în acestea și să se aleagă perile la care asimetria distribuției curentului este minimă.

Pentru mașinile electrice care funcționează în regim de sarcină variabilă, este necesar să se mai determine și uzura mecanică și electrică a perii și colectorului.

Caracteristicile funcționale ale contactului p-c se referă la:

- 1) Caracteristica voltamperică statică  $\Delta U = f(j)$  la viteză periferică la colector ( $v$ ), constantă și apăsarea periei pe colector ( $p$ )<sup>\*</sup>, constantă. Căderea de tensiune  $\Delta U$  poate fi luată pe o pereche de perii de polarități diferite, sau pentru fiecare perie în parte.
- 2) Uzura mecanică în funcție de  $v$  și  $p$ .  
Se determină scăderea relativă a lungimii  $\Delta l$ , sau a greutatea  $\Delta g$ , a periei după un parcurs de 1000 /km/.
- 3) Uzura electrică  $\Delta l = f(j)$ , la  $v = ct$  și  $p = ct$ .
- 4) Nesimetria  $\Delta j / j_{mediu}$  a distribuției curentului între perii de același sort, funcționând în paralel, în funcție de  $j$  la  $v$  și  $p$  constante.
- 5) Capacitatea maximă de comutație, adică  $j_{max}$ , la care se realizează comutație fără scântei când  $v$ ,  $p$ ,  $R$  și  $L$  sînt date, ( $R$  și  $L$  sînt parametrii circuitului care comută).
- 6) Stabilitatea maximă a contactului p-c, care se referă la domeniul de viteze periferice în care  $\Delta U$  rămîne constant la  $j = ct$  și  $p = ct$ , adică  $\Delta U = f(n)$ ,  $n$  - fiind turația colectorului.
- 7) Coeficientul de frecare „ $\mu$ ” în funcție de  $j$  la  $p = ct$ .

La acestea se mai pot adăuga :

- determinarea căderilor de tensiune pe muchia de intrare și respectiv de ieșire a periei, în func-

\*) deși noțiunea de „presiunea periei pe colector” este improprie, dar unanim utilizată în literatură, o adoptăm pentru simplificare, cu valabilitate identică cu noțiunea de apăsare „apăsare”, sau presiune asupra periei pe colector.

ție de  $j$ .

Deoarece caracteristicile funcționale nu pot fi studiate direct la colectoarele mașinilor electrice, se folosesc standuri special amenajate, prevăzute cu colectoare model cu lamele scurtcircuitate și sistem basculant de portperii, pentru determinarea coeficientului de frecare /146 , 199/. Cu asemenea instalații, nu pot fi obținute caracteristici ale capacității de comutație, pentru acestea fiind necesare colectoare cu lamele izolate.

Rezultate corespunzătoare pentru practică, nu se pot obține decât dacă se efectuează determinările caracteristicilor, în condiții cât mai apropiate de cele reale. În mod deosebit, determinarea capacității de comutație implică mari dificultăți. Ca urmare, în mod frecvent se face uz de modele simplificate /93 , 94 , 124 , 127 , 198 /, care, mai mult sau mai puțin, îndepărtează condițiile de experimentare de cele reale de funcționare a contactului p-c. De fapt, fiecare model este adaptat pentru studierea cu precădere a anumitor caracteristici ale contactului p-c, (de ex. procesele electrice și termice la stabilirea și ruperea contactului între perie și lamelă, sau caracteristica de comutație cu o singură lamelă și o singură perie, etc).

Reproducerea condițiilor reale din mașina de curent continuu nu este posibilă.

Singura soluție, mai apropiată de cazul real, constă în experimentarea periilor pe colectoare cu lamele izolate, conectate la circuite comutabile, având parametrii R și L reglabili.

În consecință, deoarece unele proprietăți ale contactului glisant realizat de perii, pot fi determinate cu colectoare cu lamele scurtcircuitate, iar altele cu colectoare cu lamele izolate, am găsit justificată considerarea a trei etape distincte de cercetare experimentală a contactului p-c, pe care le propunem după cum urmează:

ETAPA A. cuprinde rodarea periilor pe colectorul cu lamele scurtcircuitate și formarea patinei, efectuându-se după diferite parcursuri, următoarele determinări :

A.1) Caracteristicile  $\Delta U = f(j)$  la  $v = 0$  și  $p = ct.$

pentru o pereche de perii de polarități diferite,

legate în serie cu colectorul și alunecând pe aceeași pistă.

A.2) Uzura periiilor, conform punctului 2 de mai sus.

A.3) Nesimetria distribuției curentului, între perii de același sort, legate în paralel  $\frac{\Delta j}{j_{med}} = f(j)$  la  $v = ct.$  și  $p = ct.$

Etapa A se încheie după 8000 - 10.000 /km/, după obținerea patinei stabilizate.

ETAPA B cuprinde încercarea periiilor pe același colector, dar cu determinarea caracteristicilor cu colectorul în rotație, astfel :

B.1) Caracteristica statică  $\Delta U = f(j)$ ,  $v = ct$ ,  
 $p = ct.$

B.2) Uzura periiilor, conform punctului 3 de mai sus.

B.3) Caracteristica  $\Delta U = f(n)$ , din care se deduce domeniul de viteze periferice în care se obține  $\Delta U = ct.$  la  $j = ct.$  și  $p = ct.$ , conform 6) de mai sus. Se determină acțiunea portantă a filmului de aer dintre perie și colector.

B.4) Coeficientul de frecare  $\mu = f(j)$  la  $p = ct$ , cu care se apreciază efectul lubrifiant al densității de curent.

Instalația pentru experimentări a fost concepută, în cadrul acestei lucrări, astfel ca etapile A și B să poată fi efectuate cu un colector cu lamele izolate montat în starea de simulare a colectorului cu lamele scurtcircuitate. În acest fel a fost posibilă determinarea fiecărei caracteristici separat pentru peria anodică și pentru cea catodică.

ETAPA C se realizează cu colectorul cu lamele izolate, legat la un circuit comutabil, cu parametrii R și L, astfel :

C.1) idem cu B.1).

C.2) idem cu B.2).

se efectuează numai pentru scopuri de studiu, obținându-se din comparația lor influența procesului de comutație asupra caracteristicii statice și uzurii.

C.3) Se oscilografiază curentul în circuitul comutabil :  $i = f(t)$  la  $v$ ,  $p$ , R și L dată.



Prin interpretarea statistică a rezultatelor de la punctul B.1), se determină valoarea minimă și maximă, la care poate fi obținută rezistența de contact p-c. Cu aceasta se pot apoi stabili valorile R, L și T (perioada de comutație) astfel ca să fie îndeplinită condiția /40, 59 p.112, 164 p.381/ :

$$T \frac{R_c}{L} \gg 1 \quad (3.1)$$

pentru care, la mașina reală, are loc comutația fără scînteii.

Invers, pentru parametrii dați, R și L, ai circuitului comutabil, ținînd seama de limitele de variație a lui T (în exploatarea mașinii), se alege sortul de perie care realizează, în celelalte condiții optime, rezistențe de contact  $R_c$ , în acord cu (3.1).

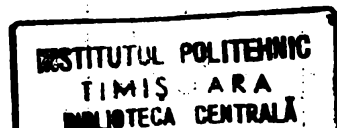
Oscilograficerea (C.3) a curentului din circuitul comutabil este necesară pentru a se putea stabili, în mod direct, limitele parametrilor R, L și p (respectiv  $R_c$ ), astfel ca să se obțină comutația corectă. Această necesitate e determinată de faptul că obținerea statistică a lui  $R_c$  intervin erori și că măsurările (B.1) sau (C.1) nu pot cuprinde toți factorii care influențează comportarea contactului p-c.

### 3.2. REALIZARI SI CERCETARI PRIVIND EXPERIMENTAREA CONTACTULUI p-c

#### 3.2.1. MODELLE DE EXPERIMENTARE DIFERENȚIALE

- Necesitatea cunoașterii tuturor proceselor ce au loc în contactul p-c, a dus la conceperea și construirea unor modele care reproduc, separat, una sau cîteva dintre condițiile ce interacționează, în ansamblu, la funcționarea acestui contact.

Modelul cel mai frecvent utilizat este realizat sub formă de colector cu suprafața crenelată, sau cum i se mai spune: „cu lamele scurtcircuitate” (fig.3.01). El este format dintr-un cilindru de cupru, pe care sînt frezate canalele dintre „lamele”, astfel ca la alunecarea periilor să se obțină aceeași uzură mecanică ca și la un colector normal.



La trecerea curentului electric prin perechea de perii (1 a - 1 b), la  $v$  și  $p$  date, se obține și caracteristica 3) de la § 3.1. Uzura electrică însă, nu este influențată aici și de factorii electromagnetici, ca în cazul mașinii de curent continuu, încât apar unele diferențe, dar nesemnificative. Cu acest model pot fi determinate următoarele caracteristici :

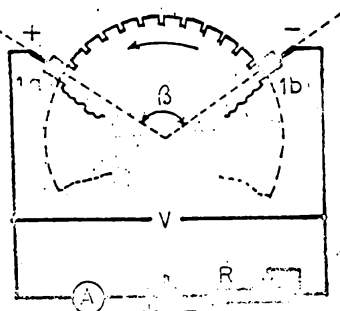


Fig.3.01. Modelul colectorului cu „lamelle scurtcircuitate”.

- formarea patinei cu sau fără curent electric, când alunecă pe aceeași pistă perii de polarități diferite, dar de același sort, sau când acestea alunecă pe piste diferite;
- toate caracteristicile din etapele A și B ;
- cu rezultatele obținute se pot stabili valorile optime  $p$ ,  $j$  și  $v$  pentru funcționarea contactului p-c.

Cu acest model nu se poate realiza producerea fenomenelor de comutație.

Un model care permite reproducerea simplificată a comutației, este /116 , 127 , 199/ reprezentată în fig.3.02. Acest model este format dintr-un inel, pe periferia cărui se află izolată o lamelă. Inelul 1, este conectat la un inel colector, iar lamela 2 este conectată la un alt inel. Ierarca de perii (a-b) poate fi conectată la o sursă de tensiune continuă, sau de impulsuri de curent (impuls triunghiular sau trapezoidal).

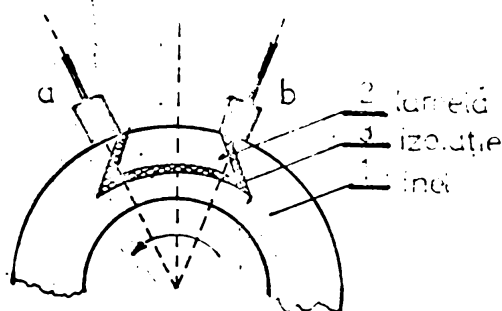


Fig.3.02. Colector cu o singură lamelă.

Comutația poate fi urmărită prin înregistrarea variației căderii tranzitorii pe tensiune pe contactul glisant, în funcție de variația curentului, sau de parametrii circuitului comutabil.

Deși cu acest model se poate studia stabilirea, sau ruperea contactului periei cu lamela colectorului, condițiile de comutație sînt mult îndepărtate de

cele de la mașina de curent continuu. Cu acest colector, pot fi obținute caracteristici V-A de impuls, care însă sînt diferite de cele utilizate pentru alegerea periiilor de mașini electrice, cu colectoare scurtcircuitate. De asemenea pot fi puse în evidență inerțiile patinei în momentele de schimbare a conductivității, adică de adaptare a suprafețelor „a”, în urma fritingurilor, la noua valoare a curentului. Dacă se lucrează cu impulsuri de curent, ce se transmit sincron cu poziția periei față de intrarea în contact cu lamela izolată, se pot reproduce distinct condițiile de lucru la marginea de ieșire a periei de pe lamelă, sau la marginea de intrare.

Alți cercetători /52, 75, 77, 202, 204 / au folosit alte modele, dar cu același scop de a separa reproducerea anumitor procese, dintre cele ce au loc la contactul p-c în timpul comutației.

Un model mai apropiat de cazul real îl constituie cel utilizat de Konstanov /116/. Din schema de principiu a acestui model (Fig.3.03) rezultă că nu poate fi utilizat decât pentru studiul comutației cu o singură perie, de o singură polaritate. Acest model poate fi însă folosit pentru studiul influenței parametrilor bobinei și a capacității de comutare a periei, adică la care gradul de scînteiere rămîne încă în sub nivelul superior admis.

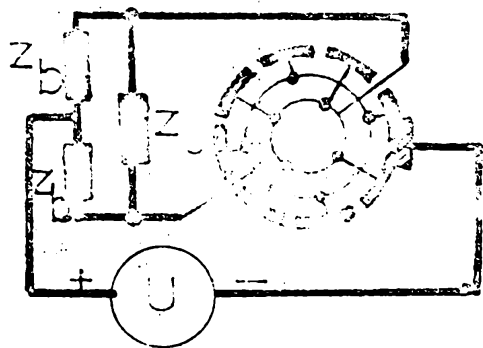


Fig.3.03. Modelul colectorului pentru comutația cu o singură perie.

Un model de colector și o instalație care să permită studierea tuturor caracteristicilor contactului p-c, implică dificultăți atât de realizare cît și de adaptare pentru măsurări statice, respectiv dinamice.

In lucrarea de față s-a plecat de la acest deziderat și s-au căutat soluțiile care să facă posibilă realizarea unei instalații corespunzătoare tuturor cazurilor de studiere a caracteristici-

lor contactului glisant p-c.

### 3.2.2. REALIZARI PROPRII PENTRU STUDIUL EXPERIMENTAL AL CONTACTULUI p-c

Prima fază de experimentări, din programul de selecționare a periiilor pentru o mașină electrică, presupune determinarea rezistivității periei și a rezistenței de contact între aceasta și cablul flexibil de racord.

Pentru determinarea rezistivității a fost realizat un dispozitiv de contact ca cel din fig.3.04. Acesta permite atât determinarea rezistivității, prin metoda voltametrică, la temperatură constantă, cât și determinarea variației rezistivității cu temperatura. În primul caz se fac încercări la curenți mici, iar în al doilea la curenți mari, lăsînd la fiecare valoare a curentului să se stabilizeze temperatura periei.

Pentru măsurarea rezistenței de contact între perie și cablul flexibil, s-a executat dispozitivul de contact din fig.3.05, cu care se efectuează determinări conform normelor.

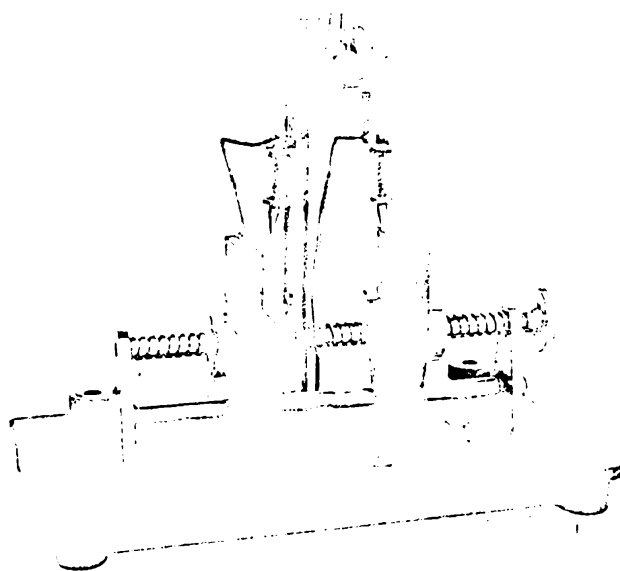


Fig.3.04. Dispozitivul de contact pentru determinarea rezistivității periiilor

Pentru determinarea caracteristicilor de contact de frecțiune, ale caracteristicilor V-A statice și dinamice

cît și pentru determinarea capacității de comutare a periei, s-a realizat o instalație, după o concepție proprie. Schema

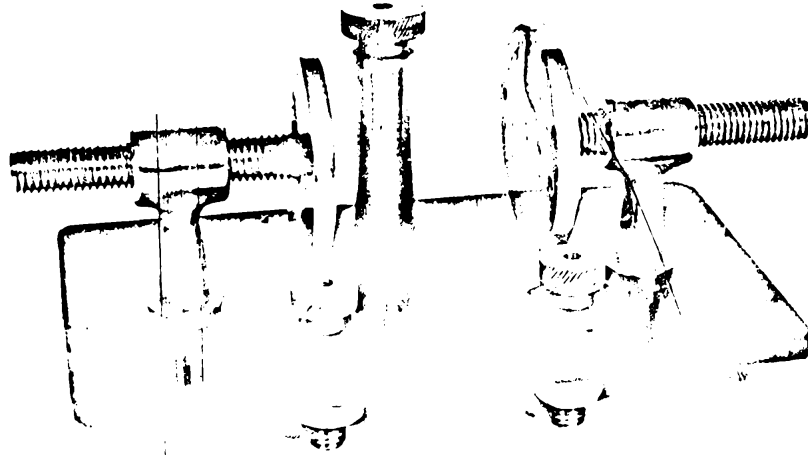


Fig.3.05. Dispozitiv pentru determinarea rezistenței de contact între perie și cablul său de racord.

principială a instalației este cea din fig.3.06.

Grupul de lamele impare este conectat la inelul colector I, iar grupul de lamele pare este conectat la inelul colector II.

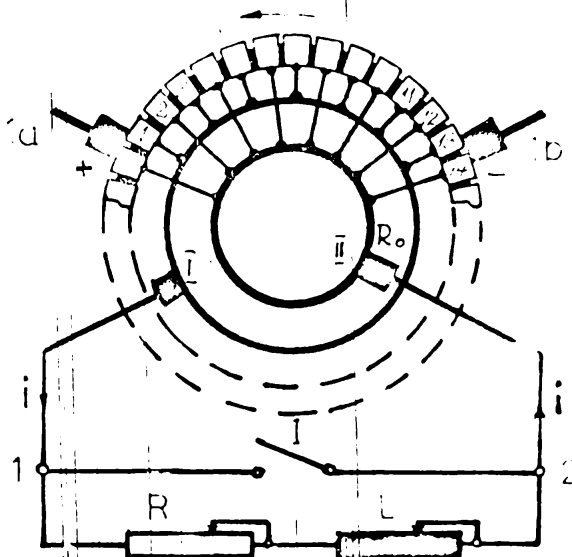


Fig.3.06. Schema principială a instalației pentru cercetarea experimentală a contactului p-c

La cele două inele se conectează un circuit R-L, cu parametrii reglabili, ce poate fi scurtcircuitat prin comutatorul I. Când peria (1.a) face contact cu lamela 1, curentul trece prin circuitul comutabil de la (1) spre (2), iar când sub peria (1.a) ajunge lamela 10, curentul trece invers, realizându-se astfel procesul de comutație, identic celui de la mașina de cusut de curent continuu. Spre deosebire de mașina de curent continuu, în

circuitul R-L lipsește t.e.m. indusă, ca aceea datorată câmpului magnetic al inductorului, în bobina care comută.

Aceasta nu schimbă însă valabilitatea determinărilor experimentale privind comportarea contactului p-c în procesul de comutație, cel puțin sub aspect calitativ. Pe de altă parte, compensarea câmpului în bobina care comută este astăzi realizată prin poli de comutație, la toate mașinile de construcție modernă.

Instalația a fost prevăzută cu două colectoare interschimbabile, care se caracterizează prin datele din tabelul (III.01).

Colectorul cu lamele scurtcircuitate, se prezintă ca în fig.3.07, iar cel cu lamele izolate este prezentat montat pe standul de încercări, în fig.3.08.

Tabelul Nr.(III.01).

Nr. crt.	Denumirea	Unit. măsur.	Tipul colectorului		Obs.
			lamele scurtcircuitate	lamele izolate	
1.	Diametru colector	mm	D = 203,18	D = 203	
2.	Înălțimea lamelei	mm	l = 132	l = 132	
3.	Lățimea lamelei	mm	b = 10	b = 10	
4.	Distanța între lamele	mm	a = 1	a = 1	
5.	Diametrul inelului	mm	-	d = 195	
6.	Lățimea inelului	mm	-	b <sub>1</sub> = 12	
7.	Ovalitatea colectorului	mm	0	0	
8.	Dezechilibrul dinamic ( $\delta_{\max} - \delta_{\min}$ )	mm	≈ 2	< 2	
9.	Nr. de lamele	buc.	58	58	

Ambele colectoare cu arborele dimensionat corespunzător pentru a nu se dezechilibra dinamic ca urmare a apăsării periiilor pe colector (sarcină unilaterală), pînă la o turație de 5000 /rpm/.

Colectorul este antrenat cu un motor de curent continuu cu excitație în derivație, cu turația reglabilă între 100 și 5000 /rpm/.

Periile sînt puse în contact cu colectorul printr-un sistem dinamometric de portperii, la care forța de apăsare

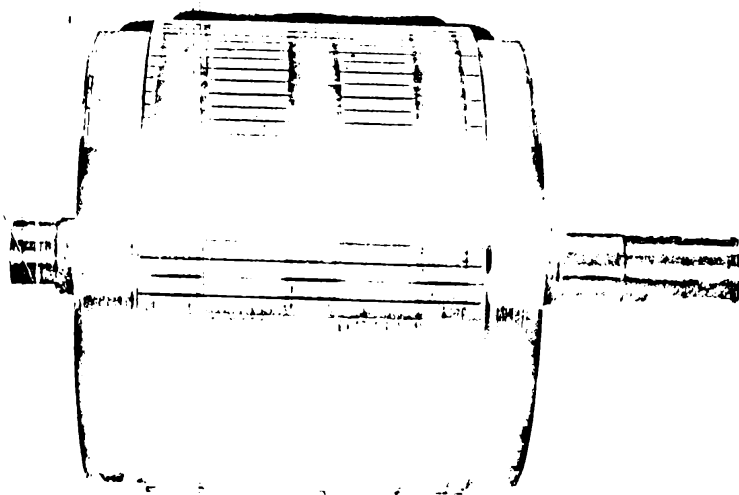


Fig.3.07. Colector cu lamele scurtcircuitate

poate fi reglată între 4 și 20/N/. Cum dimensiunile casetelor permit utilizarea de perii cu secțiunea de  $1 \times 2/\text{cm}^2$ ,



Fig.3.08. Colectorul și portperiile

rezultă că presiunea periei pe colector poate fi reglată între 2 și  $10/\text{N}/\text{cm}^2$ , ceea ce corespunde întregului dome-

niu de valori utilizate în practică. Ansamblul colector - portperii este prezentat în fig.3.08. Una dintre traverse-

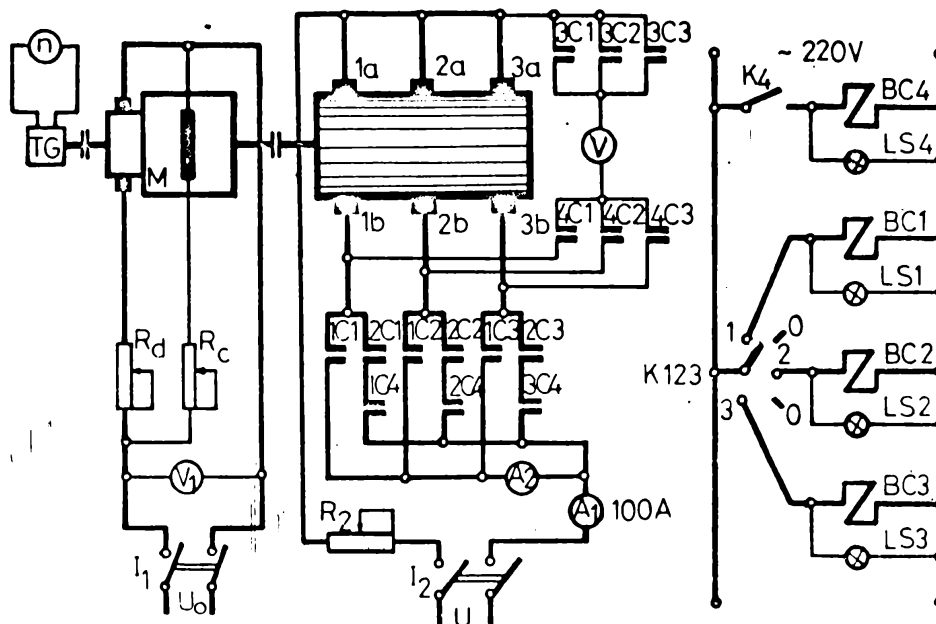


Fig.3.09. Schema electrică a standului cu colector cu lamele scurtcircuitate

le portperiilor poate fi montată astfel ca periile sale să calce pe o lamelă pară, sau să fie deplasată cu un pas de colector, ca periile să calce pe o lamelă impară, în timp ce periile celelalte traverse calcă pe o lamelă impară. Cauzele care au determinat alegerea acestei soluții vor fi prezentate ulterior. Periile unei perechi sînt situate pe colector după direcția razei, decalate între ele cu un unghi de  $90^\circ$ . Standul este astfel conceput ca să permită alimentarea fie numai a unei singure perechi de perii, fie a tuturor periilor simultan, pentru a se studia distribuția curentului între perii de același sort (caracteristica 4 de la § 3.1).

Schema electrică a standului cu colector cu lamele scurtcircuitate este prezentată în fig.3.09. Măsurarea căderii de tensiune se face, în acest caz, pentru ambele perii de polarități diferite ( $2 \Delta U$ ).



Pentru cazul colectorului cu lamele izolate, schema electrică a fost completată astfel ca să se poată măsura căderea de tensiune pe fiecare perie de polaritate (+) sau (-) și să se conecteze colectorul, la nevoie, în starea de colector cu lamele scurtcircuitate. Schema electrică este prezentată în fig.3.10. Deoarece elementele primei scheme sînt cuprinse și în cea de a doua, este suficient să fie prezentat modul de funcționare numai pentru aceasta din urmă.

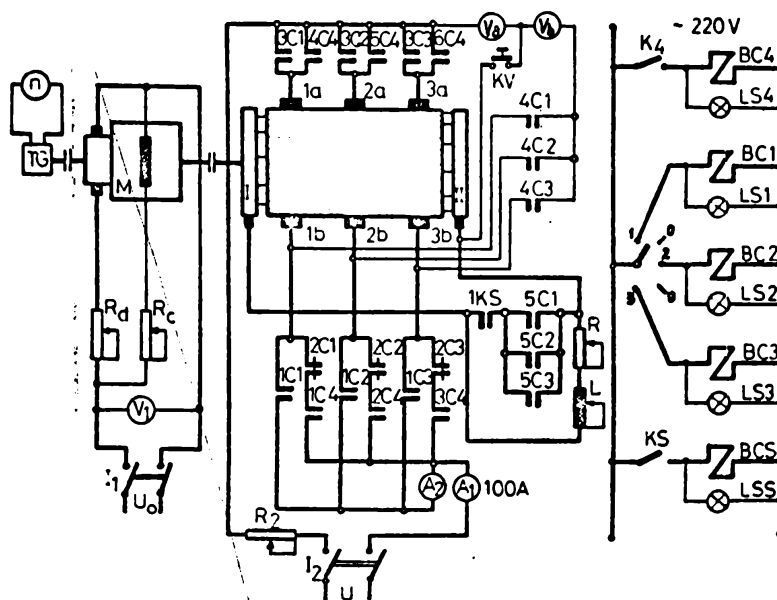


Fig.3.10. Schema electrică a standului cu colector cu lamele izolate.

După așezarea periilor în casete, astfel ca fiecare sort de perie să ocupe pista corespunzătoare de alunecare, se reglează forța de apăsare la dinamometre, la valoarea dorită. Se pornește motorul de antrenare a colectorului și se reglează turația, la valoarea necesară pentru viteza periferică la colector. Pentru cazul de față, valorile vitezelor periferice la colector (v) corespunzătoare cîtorva valori ale turației, sînt date în tabelul III.02.

Tabelul III.02

$\frac{n}{\text{rpm}}$	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
$\frac{v}{\text{m/s}}$	10,63	15,95	21,26	26,31	31,89	37,20	42,52	47,83	53,15

Alimentarea periiilor se face de la o sursă de curent continuu cu tensiunea reglabilă în limitele necesare experimentării, astfel ca să se poată obține densități de curent în perie, pînă la valorile maxime prescrise pentru marca respectivă.

Lamelele pare și impare sînt conectate la inelul II, respectiv I. Intre inele este conectat, prin două perii de curent grafitat, circuitul comutabil cu parametrii R și L aleși corespunzător bobinei care comută, din mașina pentru care se studiază alegerea sortului de perie. Alimentarea periiilor se face prin închiderea întreruptorului  $I_2$  și respectiv a contactorului  $C_4$  care închide contactele  $1 C_4 - 6 C_4$ . Toate cele trei perechi de perii sînt astfel parcurse de curent. Căderea de tensiune pe contactul p-c al fiecărei perii se măsoară cu (mV) prin închiderea contactoarelor  $C1$ ,  $C2$  sau  $C3$ . De exemplu, pentru perechea de perii l.a și l.b, se închide contactorul  $C1$  prin punerea comutatorului K 123 în poziția "1". Ca urmare, se deschide  $2C1$  și se închide  $1C1$ ,  $3C1$ ,  $4C1$  și  $5C1$ . În această situație ampermetrul A2 măsoară curentul din circuitul primei perechi de perii (l.a - l.b). Pentru a măsura și căderile de tensiune, se deschide contactorul  $C4$ , rămînînd în circuit numai prima pereche de perii. Se observă din fig. 3.10 că milivoltmetrul ( $mV_1$ ) măsoară căderea de tensiune între peria l.a și colector, în momentul închiderii butonului KV. Pentru a se evita oscilațiile tensiunii datorită conectării la inelele I și II a cîte unui grup de lamele, este necesar ca înainte de a conecta voltmetrele prin butonul KV, să se închidă contactorul CS prin închiderea comutatorului KS, urmat de închiderea contactorului 1 KS care realizează conectarea grupului de lamele impare cu lamele pare și colectorul este astfel pus în starea de colector cu lamele scurte-circuitate. Toate contactele contactoarelor trebuie să fie argintate și de dimensiuni suficient de mari pentru a nu se încălzi.

Dacă nu se închide contactorul CS, cele două grupuri de lamele rămîn independente, cele impare conectate la inelul I, respectiv cele pare la inelul II. La inelele I și II este conectat circuitul comutabil cu parametrii R și L.

O vedere de ansamblu a standului este prezentată în fig.3.11. Standul este mobil și poate fi utilizat numai pentru încercarea periiilor cu secțiunea de  $2 \times 1 / \text{cm}^2$ .

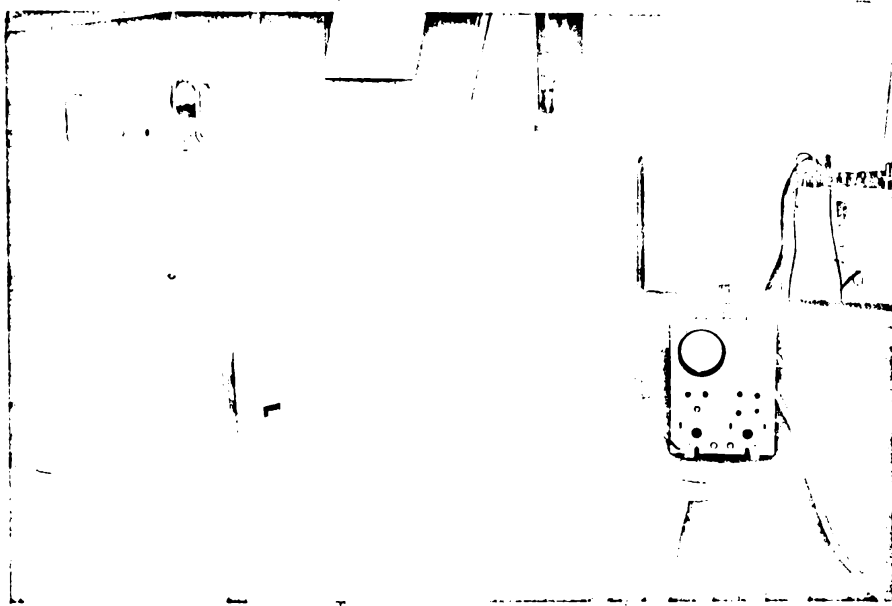


Fig.3.11. Vedere generală a standului pentru încercarea periiilor de mașini electrice.

Deși instalația este astfel executată ca să poată funcționa atât cu colectorul cu lamele scurtcircuitate pentru ridicarea caracteristicilor statice, cât și cu colectorul cu lamele izolate pentru reproducerea procesului de comutație, în timpul experimentărilor s-a constatat că prin închiderea contactorului CS și scurtcircuitarea celor două grupuri de lamele nu se obține o situație identică cu aceea a colectorului executat, prin construcție cu lamele scurtcircuitate (fig.3.09). Neidentitatea apare deoarece circuitul I-1KS-5C1-II din fig.3.10, prin care se realizează scurtcircuitarea lamelor, prezintă o inductivitate suficientă pentru ca de fapt să se manifeste un proces de comutație care să perturbe ridicarea caracteristicilor statice. Perturbația rămâne aceeași chiar dacă scurtcircuitarea se face prin conectarea directă a periiilor de pe inelele I și II cu un conductor de cupru. Deoarece la toate periiile funcționând pe colectorul astfel scurtcircuitat, apar

scînteieri la muchia de ieșire a periei, comutația este în-  
tîrziată, fiind prin urmare determinată și de inductivita-  
tea circuitului de alimentare. Pentru a se evita această  
situație s-a creat posibilitatea ca traversa B din fig.3.08  
să poată fi montată fie în poziția "1" fie în poziția "2",  
ca în fig.3.12. Cînd traversa B este montată în poziția  
"1" se observă că dacă sub peria "a" se află lamela impară,  
sub peria "b" se va afla lamela pară, și invers. In acest  
caz colectorul are cele două grupe de lamele izolate una de  
alta și conectate prin inelele I și II la circuitul comuta-  
bil. In această situație, colectorul cu lamele izolate se  
utilizează pentru reproducerea procesului de comutație și  
pentru determinarea capacității de comutație a periei. Dacă  
traversa B se montează însă în poziția "2", se constată  
(fig.3.12) că atît peria "a" cît și "b" se află, în fiecare  
moment, în contact cu lamele din aceeași grupă, fie pare,  
fie impare. Curentul trece de la o perie la alta prin inelul  
I, prin inelul II sau prin ambele conectate în paralel, cînd  
periile calcă simultan pe lamele vecine (una pară iar cea-  
laltă impară). In acest fel, colectorul cu lamele izolate  
poate fi adus în starea de colector cu lamele scurtcircuitate,

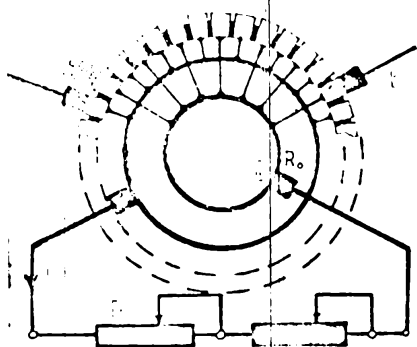


Fig.3.12. Explicativă la  
schimbarea poziției  
traversei B.

tate, fără ca să apară deo-  
sebirii între acest caz și  
cel al colectorului avînd,  
prin construcție, lamelele  
scurtcircuitate.

Parametrii electrice  
ai sectorului de inel cu-  
prins între lamelele pe  
care calcă periile "a" și  
"b" sînt neglijabili.

Măsurarea turației co-  
lectorului se face cu un  
tahogenerator montat pe

axul motorului de antrenare. Colectorul nu a fost pre-  
văzut cu sistem basculant de portperii, încît coeficientul  
de frecare se va determina prin măsurarea puterii  
luate de motor de la rețea, în absența și res-

pectiv în prezența periiilor pe colector /148/.

Relația de calcul, pentru coeficientul de frecare este

$$\mu = \frac{P - P_0}{p \cdot S \cdot v} \quad (3.1)$$

unde:  $P /W/$  - puterea absorbită de motor, când periile sînt ridicate de pe colector;

$p /N/cm^2/$  - presiunea periei pe colector;

$S /cm^2/$  - suprafața totală de frecare a periilor ;

$v /m/s/$  - viteza periferică la colector.

Acest mod de determinare a coeficientului de frecare, cu aceeași relație de calcul, este utilizabil și la contactul între perii și inele colectoare.

Posibilitățile pe care le oferă instalația pentru studiarea contactului p-c, ca și situațiile în care a fost utilizată, vor fi prezentate de la caz la caz.

### 3.2.3. CONDITIILE DE EXPERIMENTARE A CONTACTULUI p-c

#### 3.2.3.1. Felul periilor

Cu instalația prezentată în fig.3.11 au fost studiate trei tipuri de perii, dispuse corespunzător fig.3.10, astfel:

- 1) perechea 1.a - 1.b , perii metalografice (MG);
- 2) perechea 2.a - 2.b , perii de cărbune dur (C) ;
- 3) perechea 3.a - 3.b , perii electrografice (EG).

Periile de cărbune dur au fost așezate la mijlocul colectorului pentru a nu se produce dezechilibrare în repartiția forțelor cu care sînt apăsate periile, dat fiind că, în anumite cazuri în cursul experimentărilor, periile (C) necesită apăsare cu forțe mai mari decît periile (MG) și (EG).

Periile au fost ajustate pentru a se mișca liber în casetele portperiilor, dar fără joc față de casete, pentru a se evita vibrațiile sau oscilațiile în plan orizontal.

#### 3.2.3.2. Condiții mecanice

Colectorul folosit este cel cu lamele izolate și nu a fost pregătit în mod special pentru un echilibru dinamic cît

mai bun, păstrându-se în starea rezultată după prelucrarea la strung. Ca urmare, etapa de rodare a contactelor p-c s-a împărțit în două:

- a) cu colectorul neechilibrat,
- b) cu colectorul rectificat și echilibrat dinamic.

După prelucrarea la strung, la gradul maxim de precizie al acestuia, colectorul a prezentat următoarele abateri:

- ovalitatea colectorului : 80  $\mu\text{m}$ /
- ovalitatea inelelor : 20  $\mu\text{m}$ /
- dezechilibrul dinamic : 700-800  $\mu\text{m}$ /

După parcurgerea etapei de experimentări în aceste condiții, colectorul și inelele au fost supuse unei prelucrări prin rectificare, la o mașină de foarte mare precizie, iar, apoi a fost efectuată echilibrarea dinamică, încât s-a ajuns la următoarele rezultate:

- ovalitatea colectorului : 0,1 + 5%  $\mu\text{m}$ /
- ovalitatea inelelor : 0,1  $\pm$  5%  $\mu\text{m}$ /
- dezechilibrul dinamic : 1,5  $\pm$  10%  $\mu\text{m}$ /

În felul acesta se asigură un mers liniștit astfel că pînă la turații de 3500 și 4000 /rpm/ nu se resimte o influență a dezechilibrului dinamic asupra caracteristicilor de contact. În timpul experimentărilor însă s-a observat apariția unor perturbații dinamice chiar la turații mai mici de 3000 /rpm/. Aceasta însă sînt datorate rulmenților și cuplajului semielastic dintre motor și colector.

### 3.2.3.3. C o n d i ț i i e l e c t r i c e

Ca sursă de alimentare a periilor s-a utilizat un generator de curent continuu de 8 V, 130 A ( a cărei tensiune oscilografată va fi prezentată în capitolul următor), pentru caracteristicile V - A statice, cît și pentru unele caracteristici de comutație. Pentru acestea din urmă, ca să se evite influența parametrilor generatorului asupra caracteristicii de comutație, s-a mai utilizat, comparativ, o sursă stabilizată de tensiune continuă , iar apoi un acumulator de 12 V.

În ambele cazuri a) și b) de la punctul 3.2.3.2., formarea patinei a fost realizată fără trecerea curentului

electric.

După diferite etape de parcurs a periilor pe colector, s-au efectuat măsurări  $U = f(j)$  la  $v = 0$  și  $p = ct.$

Toate determinările experimentale au fost efectuate în condiții atmosferice normale.

## CAPITOLUL IV

### CERCETARI EXPERIMENTALE ASUPRA CONTACTULUI „p-c”

În acest capitol se prezintă observațiile, determinările experimentale și concluziile obținute pe parcursul rodării periilor pe colector, a formării patinei pe colector și a utilizării contactului p-c parcurs de curent cu colectorul în rotație.

#### 4.1. FORMAREA PATINEI PE COLECTORUL NERECTIFICAT

##### 4.1.1. RODAREA PERIILOR

Cele trei perechi de perii aranjate pe colector în ordinea indicată în fig.3.10, au fost ajustate după suprafața colectorului. Colectorul a fost de asemenea curățit și șlefuit pînă la dispariția oricărei urme anterioare de patină.

Rodarea periilor s-a efectuat la o viteză periferică de 21,26 /m/s/, o apăsare cu 2 /N/cm<sup>2</sup>/ și s-a continuat pînă cînd toate cele șase perii au obținut o suprafață de contact complet lucioasă, fără urme de abraziune de la operația de ajustare. Rodarea s-a încheiat după un parcurs a periilor pe colector de 1500 Km.

Un al doilea rînd de perii, din materiale identice cu primele, a fost supus procesului de rodare, în aceleași condiții, pentru a permite înlocuirea unei eventuale perii defecte. Apoi colectorul a fost din nou șlefuit pînă la obținerea unei suprafețe curate, fără urme de patină anterioară.

##### 4.1.2. FORMAREA PATINEI PE COLECTOR CU PERIILE NEPARCURSE DE CURENT

Scopul acestei încercări experimentale a fost aceia de a se observa evoluția formării patinei, de la colector proaspăt curățit, pînă la obținerea patinei stabilizate, ca și a proprietăților sale de conducție și a efectelor hidrodinamice ale filmului de aer dintre colector și perie.

După șlefuire, colectorul a fost spălat cu neo-



falină și la fel au fost curățate casetele portperiilor și traversele.

Toate perile au fost așezate pe colector și i s-a aplicat fiecăreia o forță de 2,4 /N/, adică o apăsare de 1,2 /N/cm<sup>2</sup>/.

Formarea peliculei pe colector pînă la faza stabilizată, a fost urmărită pe un parcurs total al periiilor, de 10.000 /km/.

Deoarece în unele etape de parcurs au intervenit abateri de la condițiile inițiale, este preferabil ca rezultatele să fie analizate pe etapele de parcurs.

#### 4.1.2.1. Parcurs : 0 / km /

După curățirea colectorului și așezarea periiilor conform ordinii din fig.3.10 s-au măsurat căderile de tensiune  $\Delta U/V$  în funcție de densitatea de curent  $j/A/cm^2$  pentru fiecare perie în parte, cu excepția periiilor MG (vezi punctul 3.2.3.1) la care nu s-a obținut un contact stabil al periei pe colector.

a) Pentru periele de cărbune dur (C) rezultatele (tabelul (0,1) de la finele lucrării) și curbele corespunzătoare sînt redată în fig.4.01.a și fig.4.01.b și sînt notate cu numărul de ordine (0.1).

S-a notat cu (+) peria prin care curentul trece de la perie spre colector și pe care convenim să o numim perie pozitivă (sau anodică) și respectiv cu (-) peria prin care curentul trece de la colector spre perie, numită și perie negativă (sau anodică).

Se observă că la aceeași densitate de curent se obține, la peria (+), cădere de tensiune mai mare decît la peria (-). Se constată după rezultatele obținute în toate celelalte etape de parcurs, că acest aspect se menține totdeauna în cazul contactului între perii de cărbune dur și colector de cupru. Deoarece fenomenul a fost constatat și în alte cazuri, așa cum se arată în continuare, este util să fie analizat și explicat după prezentarea întregului paragraf.

b) Pentru periile electrografitice (EG), rezultatele sînt cele din (tabelul 47), fig.4.03.a și fig.4.03.b. Se

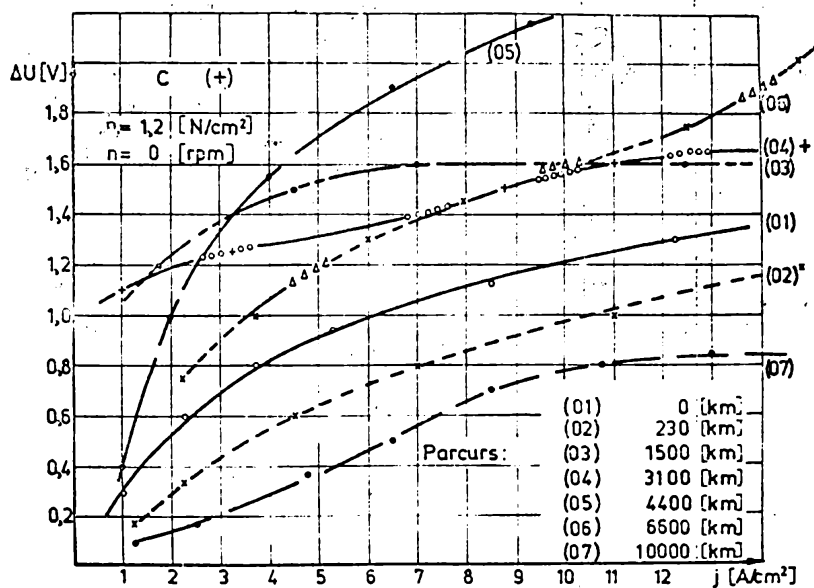


Fig.4.01.a.  $\Delta U = f(j)$  la peria C(+), la  $n=0$  după diferite parcursuri ale periei pe colector (tabelul 01 - 07)

constată că la periile EG căderea de tensiune este mai mică la peria (+) decât la cea (-), încît se confirmă concluziile

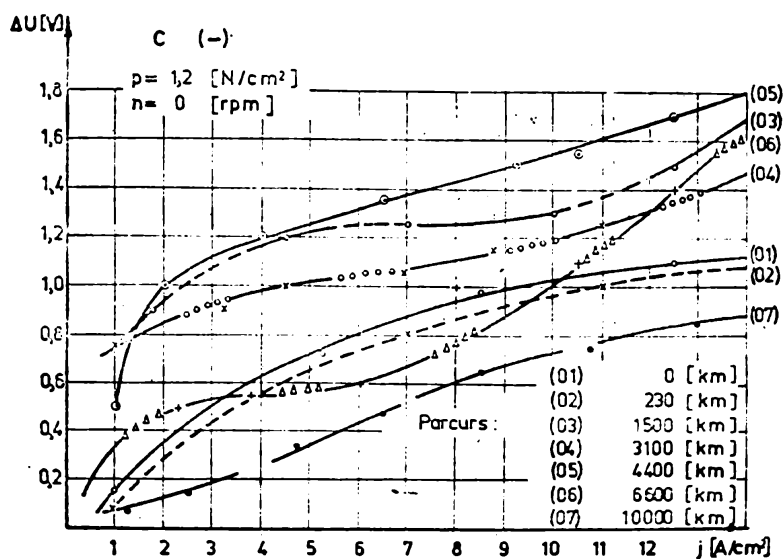


Fig.4.1.b.  $\Delta U = f(j)$  la peria C(-), la  $n=0$  după diferite parcursuri ale periei pe colector (tabelul 01-07).

studiului teoretic din paragraful (2.3).

4.1.2.2. Parcurs: 230 /k m/

Colectorul a fost adus în stare de funcționare fiind rotit la o turație de 3000 /rpm/ (aproxim.  $32 \frac{m}{s}$ ). Zgomotul periilor datorită dezechilibrului dinamic al colectorului este, în aceste condiții, de intensitate deosebit de mare, neputînd să fie suportat decît pentru un timp limitat. Ulterior s-a constatat că o reducere, aproape totală, a zgomotelor poate fi obținută numai prin rectificarea colectorului și echilibrarea sa dinamică, cu condiția ca așezarea periilor în casete, ca și sistemul dinamometric al portperiilor, să nu constituie surse suplimentare de zgomot.

După realizarea parcursului de 230 /km/, colectorul a fost adus în poziția de repaus și s-au efectuat aceleași măsurări, adică  $\Delta U = f(j)$  pentru fiecare perie în parte.

a) Pentru periele (0), rezultatele sînt cuprinse în tabelul (02) și fig.4.01. Ca referință substitutiv, în mod deosebit, față de cazul colectorului proaspăt curățit.

b) Pentru periele (MG), contactul p-e la  $n=0$  a devenit stabil, putîndu-se înregistra rezultatele din tabelul (26) și respectiv fig.4.02.a și fig.4.02.b. Se constată că la

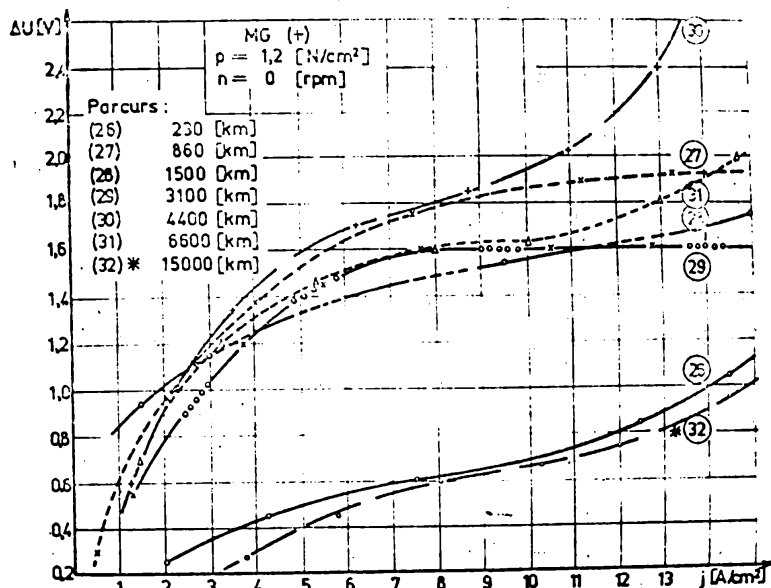


Fig.4.02.a.  $\Delta U=f(j)$  la peria MG(+), la  $n=0$

după diferite parcursuri ale

periei pe colector (tabelul 26-32)

contactul periilor MG cu colectorul în repaus, căderile de

tensiune la peria (+) și (-) nu diferă esențial. În schimb se remarcă apariția unei zone de bună stabilitate a contactului, la ambele perii, între 5 și 11  $A/cm^2$ , ca și valori ale căderilor de tensiune, în această zonă, mult mai mici

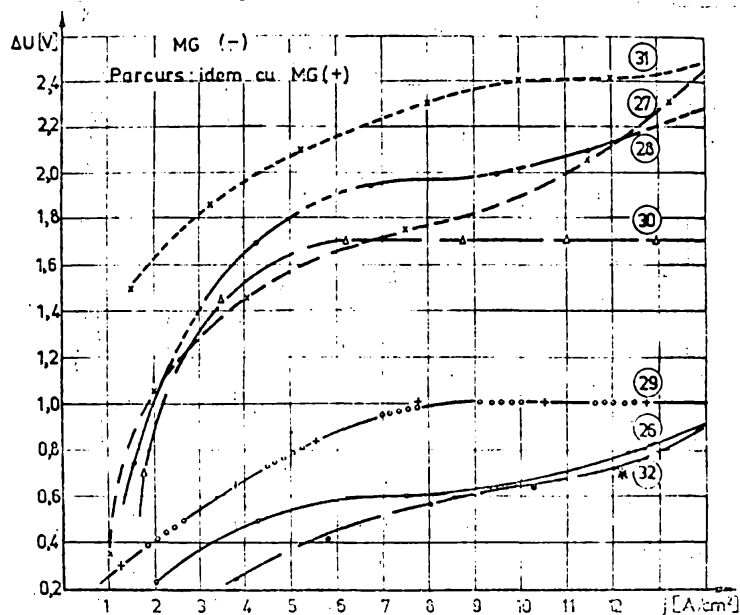


Fig.4.D2.b.  $\Delta U=f(j)$  la peria MG(-), la  $n=0$  după diferite parcurburi ale periei pe colector (tabelul 26-32)

(cu aproximativ 40 ÷ 50%) decât în cazul periiilor (C).

c). Pentru periiile electromagnetice (EG), căderile de tensiune la peria anodică (tabelul 43, fig.4.03.d) devin mai mici cu aproximativ 0,15 V decât în cazul colectorului proaspăt curățit, în timp ce la peria catodică acestea cresc, practic în măsură neglijabilă. Se constată, de asemenea, că valoarea globală a căderilor de tensiune pe perechea de perii EG, nu diferă de cea a periiilor C cu observația că la acestea (EG), totdeauna căderea de tensiune la peria anodică rămâne mai mică decât cea de la peria catodică.

Pentru comparația căderilor de tensiune a celor trei sorturi de perii, convenim să luăm ca valoare de referință, densitatea de curent de 8  $A/cm^2$ , situată la mijlocul domeniului (5 ÷ 11  $A/cm^2$ ) în care se obține, de obicei, stabilitatea maximă a contactului. De remarcat că în domeniul densităților mici de curent, de la o perie la alta, ca și de la un parcurs la altul, căderile de tensiune sînt aleatorii și la fel, dar în mai mică măsură, sînt și în domeniul densi-

tăților mari de curent, unde apar scînteieri de gradul 1 pînă la  $1 \frac{1}{2}$ .

Formarea patinei, după parcursul de 230 /km/, se prezintă ca o peliculă transparentă, ușor colorată față de cupru, dar numai după două generatoare situate, una după primul sfert, iar a doua după al treilea sfert din lățimea lamelei. Colorația mai intensă apare la patina periilor electrografitice.

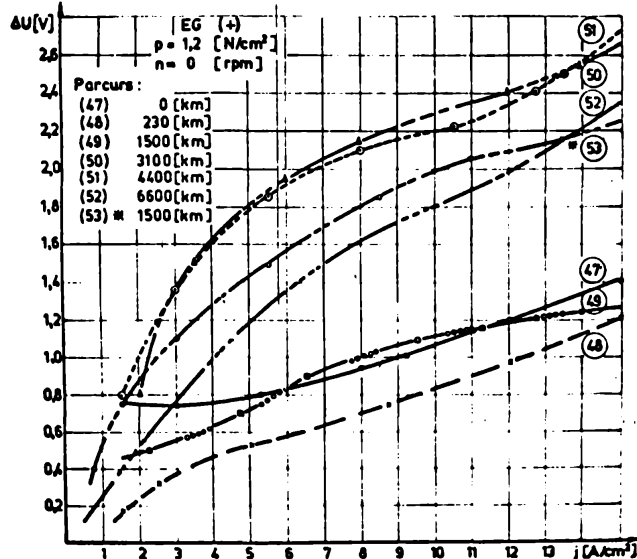


Fig.4.03.a.  $U=f(j)$  la peria EG(+), la  $n=0$ , după diferite parcursuri ale periei pe colector (tabelul 47 - 53).

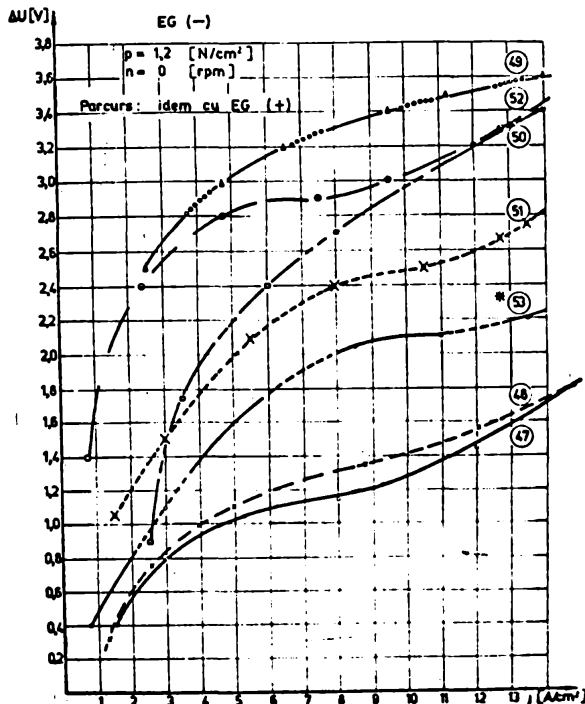


Fig.4.03.b.

$U=f(j)$  la peria EG(-), la  $n=0$ , după diferite parcursuri ale periei pe colector (tabelul 47 - 53).

Proprietățile de conducție, puțin deosebite față de cele ale colectorului proaspăt curățit, coincid, pînă aici, cu cele obținute pe colectorul neted de către E. Holm /76/ așa cum s-a arătat în paragraful (2.3.1).

4.1.2.3. P a r c u r s : 860 /km/

Evoluția formării patinei a fost urmărită, prin observații vizuale, pînă la 860 /km/, cînd a avut loc spargerea, pe direcție longitudinală a periilor (C), fig.4.04 și a periilor (EG), fig.4.05, necesitînd înlocuirea cu periile de schimb,

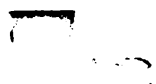


Fig.4.04. Peria C(-) după un parcurs de 860 /km/

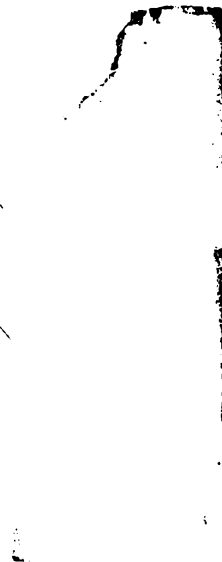


Fig.4.05. Peria EG(+) după un parcurs de 860 /km/

pregătite în etapa de rodaj. Spargerea periilor se datorează vibrațiilor intense cauzate de dezechilibrul colectorului. Ca urmare, după parcursul de 860 /km/, numai periile MG au fost considerate în măsurările caracteristicii  $U = f(j)$  (tabelul 27 ; respectiv fig.4.02). Se constată (la  $j = 8 \text{ A/cm}^2$ ) că la peria anodică continuă să fie mai mare căderea de tensiune decît la peria (-), dar pe de altă parte, a avut loc un salt al valorilor față de etapa precedentă cu aproximativ 200 %.

Este posibil ca saltul să fi avut loc imediat după parcursul de 500 /km/, așa cum se afirmă și în lucrarea /76/,

parcurs după care F.Holm constată la contactul perie-inel că nu se mai produc modificări esențiale.

În cazul de față însă, saltul deosebit de mare, care se va constata și la celelalte perii, este cauzat nu numai de creșterea grosimii patinei cât mai ales de repartiția sa neuniformă pe lățimea lamelei, așa cum se va arăta în concluziile acestui paragraf.

Pentru a se evita spargerea periilor în continuare, turația a fost redusă la 2340 /rpm/ (aproximativ 25 /m/s/), mersul devenind mai liniștit.

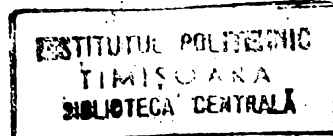
Dar și la această turație, după un parcurs de 1000 km, a avut loc smulgerea cablului flexibil la periile (C) și la una din periile (EG). Pe fiecare lamelă s-a accentuat colorația și deci depunerea de carbon pe cele două generatoare amintite la (4.1.2.2).

#### 4.1.2.4. Parcurs : 1500 / km/

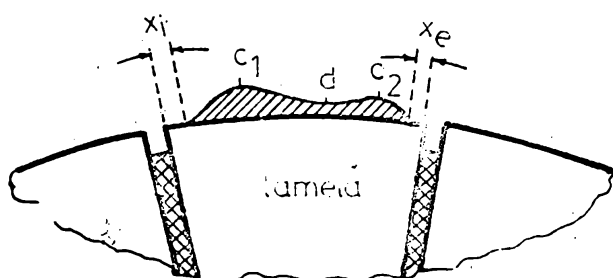
a) Pentru periile C (curbele 03 din fig.4.01) se constată o creștere a căderilor de tensiune, cu 100% la peria (+) și cu circa 50% la peria (-), care însă sînt însoțite de o creștere remarcabilă a stabilității contactului ( $\Delta U = ct$ ) la  $j > 5 /A/cm^2/$ .

b) Un rezultat asemănător se constată și la periile MG, cu observația că la peria anodică  $\Delta U$  scade cu aproximativ 0,3 V (curba 28 din fig.4.02) iar la cea catodică crește cu 0,3 V față de cazul precedent, încît căderea globală (2  $\Delta U$ ) se păstrează neschimbată).

c) La periile EG (tabelul 49 ; fig.4.03), se constată creșterea cu 0,3 V a căderii de tensiune la peria anodică și păstrarea aceleiași stabilități a contactului, în timp ce la peria catodică are loc saltul cu 10% spre căderi mai mari de tensiune. Totodată stabilitatea contactului se reduce, dar în măsură neglijabilă. Colorația patinei, de nuanță gri-albastru satinat, corespunde creșterii depozitului de carbon sub formă de combinații de carburi, oxizi, sulfuri etc. Se remarcă trei zone, din lățimea lamelei, în care depunerea peliculei de carbon este inexistentă sau foarte subțire, ceea ce ar corespunde ca formă a stratului



depus cu suprafața hașurată dintr-o secțiune transversală prin peliculă, ca în fig.4.06.



Marginile de intrare ( $x_i$ ) și ieșire ( $x_e$ ) ale lamelei sub perie, de lățimi variind între 1,5 și 2 /mm/, sînt neatînse de perie și lipsite de depuneri de patină. În schimb în zonele ( $c_1$ ) și ( $c_2$ ) depunerile de carbon sînt intense, pelicula prezentînd între aceste zone o depresiune cu transpa-

Fig.4.06. Forma, în secțiune, a patinei depusă pe lamelă. rență mai mare, deci o grosime mai mică a patinei.

Atribuim forma depunerilor carbonului și modul de formare a patinei, unor efecte hidrodinamice ale scurgerii aerului între perie și lamelă, așa cum s-a precupus în paragraful (2.2.1) și se va explica mai detaliat în cele ce urmează. Dacă nu există și alte cauze care să determine forma patinei, în timpul formării sale, ca în fig.4.06, va trebui ca și la colectorul rectificat și echilibrat să se constate aceeași situație.

#### 4.1.2.5. P a r c u r s : 3100 /k m/

a) La periele C (tabelul 04; fig.4.01) nu apar modificări esențiale ale patinei, față de parcursul precedent. Se remarcă la peria anodică o reducere a stabilității contactului, iar la peria catodică, scăderea căderii de tensiune în medie cu 0,15 V față de curba (03), deci o creștere a grosimii patinei.

Patina prezintă o transparentă mai redusă între „culmile”  $c_1$  și  $c_2$  (fig.4.06), aceasta fiind o urmare a creșterii grosimii patinei și în această zonă, deci o uniformizare a acesteia.

b) La periele MG (tabelul 29; fig.4.02) se constată o creștere deosebită a stabilității contactului la peria anodică și catodică (fig.4.02).



Si în acest caz, patina prezintă o uniformizare între porțiunile  $x_1$  și  $x_2$  (fig.4.06) încât zonele  $c_1$  și  $c_2$  se deosebesc, acum, relativ puțin de intervalul cuprins între ele. Intreaga patină apare intens colorată în nuanță gri-închis satinat.

c) La periile EG (tabelul 50 ; fig.4.03) căderea de tensiune, la peria anodică, crește cu mai mult de 100%, în timp ce la peria catodică scade cu aproximativ 25%.

Patina formată de periile EG, față de parcursul precedent, prezintă o accentuare deosebită a celor două zone  $c_1$  și  $c_2$  (fig.4.06) față de intervalul dintre ele. Patina este total neuniformă, în raport cu parcursul pînă la 1500 /km/. Această evoluție a formării patinei stă la baza deosebirilor cantitative între caracteristicile statice  $\Delta U = f(j)$  ridicate după diferite parcursuri ale periilor pe colector.

Trebuie reținut însă că nu pe toate lamelele aceleiași piste patina se prezintă în mod identic, astfel deosebirile sînt inobservabile cu ochiul liber. Acestea ies în evidență numai prin faptul că poziția caracteristicilor statice a unei perii, nu se schimbă după fiecare parcurs în același sens la ambele perii, deoarece, la oprirea colectorului, ele calcă pe alte lamele.

#### 4.1.2.6. P a r c u r s : 4.400 /k m/

a) La periile C (tabelul 05; fig.4.01) se constată cea mai mare creștere a căderilor de tensiune față de colectorul proaspăt curățit, cu aproximativ 100% la peria anodică și respectiv 50% la cea catodică. Patina prezintă o mare neuniformitate, cu zonele  $x_1$  și  $x_2$  practic neacoperite de carbon, iar zonele  $c_1$  și  $c_2$  intens colorate în gri-negru satinat. Intervalul dintre  $c_1$  și  $c_2$  este puțin colorat, grosimea patinei fiind mult mai redusă în această zonă față de cele limitrofe. O imagine a aspectului pe care îl prezintă patina apare în fig.4.07, mărită de patru ori, față de lățimea lamelei. Notațiile corespund cu cele din fig. 4.06.

b) La periile MG (tabelul 30; fig.4.02) se obțin de asemenea creșterile cele mai mari ale căderilor de tensiune (aproximativ 300%) față de colectorul proaspăt curățit, deși diferențele de colorație ale patinei între zonele  $c_1$  și  $c_2$  față de intervalul dintre ele sînt mai puțin vizibile.

c) La periile EG (tabelul 51; fig.4.03) nu s-au produs modificări esențiale în această etapă.

Peria catodică prezintă o mai bună stabilitate a contactului și cădere de tensiune mai redusă. Patina continuă să păstreze gradul de neuniformitate a depunerilor de carbon, care s-a constatat la finele parcursului de 31.00 /km/.

Fig.4.07. Aspectul patinei pe o lamelă de sub periile C.

#### 4.1.2.7. Parcursul: 6.600 /km/

a) La periile C (tabelul 06; fig.4.01) apar micsorări ale căderilor de tensiune cu aproximativ 25% la peria anodică și 50% la cea catodică.

Deosebirile observate între zonele patinei ca în fig.4.07, sînt acum mai reduse. Zona depresionară dintre  $c_1$  și  $c_2$  este mai intens colorată, ceea ce denotă o creștere a patinei și respectiv o evoluție clară spre uniformizarea grosimii pe toată lățimea lamelei. Marginile de intrare ( $x_1$ ) și de ieșire ( $x_2$ ) ale lamelei, sînt mai reduse ca urmare a extinderii patinei și în aceste porțiuni.

b) La periile MG (tabelul 31; fig.4.02) patina prezintă contraste mai pronunțate între  $c_1$  și  $c_2$  față de intervalul dintre ele, în raport cu aspectul după parcursul precedent. Din curbele (31) din fig.4.02, se constată o creștere a căderii de tensiune la peria catodică cu 50% față de etapa anterioară, și o scădere cu 10% la peria anodică. Suma căderilor de tensiune este mai mare și reprezintă o con-

secință a accentuării neuniformității patinei.

c) La periile EG (tabelul 52; fig.4.03), la parcursul de 5.740 /km/ a avut loc spargerea periei pozitive după direcții longitudinale, fig.4.08, ceea ce denotă că vibrațiile colectorului nerectificat și neechilibrat, la tura-

ția de 2340 /rpm/, constituie o cauză sigură de distrugere a periiilor datorită vibrațiilor în plan vertical. Peria a fost înlocuită cu una de schimb, deja rodată și decupată din același material ca și precedentă.

Fig.4.08. Peria electrografică, spartă după un parcurs de 5.740 /km/

După câteva ore de funcționare ale acestei perii, s-a efectuat o verificare a caracteristicii statice. S-a constatat că rezultatele coincid cu cele din tabelul (52) și respectiv curba (52) din fig.4.03.a.

Formarea patinei s-a continuat pînă la 10.000 /km/,

în aceleași condiții de apăsare a periiilor și viteză periferică la colector.

#### 4.1.2.8. P a r c u r s : 10.000 /km/

a) După acest parcurs s-au constatat rezultatele deosebite numai la periile C (tabelul 07; fig.4.01) la care căderile de tensiune au ajuns la cea mai redusă valoare.

Aceasta constituie o urmare a faptului că patina s-a uniformizat complet, prezentînd o peliculă de egală colorație între marginile ( $x_1$ ) și ( $x_0$ ) ale lamelei. Pe lîngă aceasta, marginile neacoperite ( $x_1$  și  $x_0$ ) s-au restrîns, lățimea lor scăzînd la mai mult de jumătate din valoarea observată pînă la 6.600 /km/.

La celelalte perii, respectiv (MG) și (EG) nu s-au produs schimbări ale patinei și caracteristicilor statice, față de rezultatele obținute la finele parcursului de 6.600 /km/. Deși o ușoară uniformizare a colorației patinei

a apărut și la pistele acestor două sorturi de perii, nu s-a ajuns la stabilizarea formei și grosimii acestora. Probabil că ultima etapă înainte de formarea patinei stabilizate este un proces de mai lungă durată, ceea ce necesită un parcurs mai lung decât cel efectuat.

#### 4.2. FORMAREA PATINEI CU COLECTORUL RECTIFICAT SI ECHILIBRAT

Colectorul a fost rectificat și echilibrat dinamic corespunzător datelor de la paragraful (3.2.3.2.b).

##### 4.2.1. CONDIȚII DE LUCRU

După așezarea periilor pe colector, acesta a fost rotit cu turația de 2340 /rpm/, obținându-se un mers liniștit și fără zgomote sau vibrații ale periilor. S-au efectuat verificări repetate pentru a se urmări dacă suprafața de contact a periei cu colectorul este realizată pe întreaga arie.

Formarea patinei s-a efectuat fără trecerea curentului electric prin contactul p-c.

La toate cele trei perechi de perii s-au constatat exact aceleași caracteristici ale evoluției formei și aspectului patinei ca și în cazul colectorului n rectificat și neechilibrat.

Suprafața de contact a periei a devenit acum foarte lucioasă fără să prezinte nici un fel de urme de zgîrrieturi.

După anumite etape de parcurs au fost verificate caracteristicile  $\Delta U = f(j)$  la  $n = 0$  fără a se obține diferențe notabile față de caracteristicile ridicate anterior.

a) Formarea patinei s-a continuat pînă la finele unui parcurs de 15.000 /km/, după care s-au putut constata deosebiri față de caracteristicile ridicate cu colectorul n rectificat, dar numai pentru periile (MG) și (EG), în timp ce la periile (C) situația a rămas ca și după parcursul de 10.000 /km/.

b) Pentru periile MG (tabelul 32 \* ; fig.4.02) pelicula se prezintă uniformă, încît diferența de nuanță între  $c_1$  și  $c_2$  și zona cuprinsă între ele, este inobservabilă. Uniformitatea patinei determină căderi de tensiune pe con-

tactul p-c, corespunzătoare celor obținute la colectorul proaspăt curățit. Stabilitate contactului revine la forma inițială.

Orice alterare a patinei față de această stare, duce la instabilități ale contactului și la ascilații ale caracteristicii statice atît la  $n = 0$  cît și la  $n \neq 0$ .

c). La periile EG (tabelul 53 X ; fig.4.03), rezultatele sînt asemănătoare cu cele ale periilor MG, cu deosebirea că patina este mai plină, mai intens înegrită, dar la fel de uniformă. După valorile căderilor de tensiune, rezultă că gradul de uniformitate este toruși mai redus, ceea ce se confirmă și prin stabilitatea mai mică a contactului. O cauză a aspectului de totală uniformitate a acestei patine o constituie și duritatea sa foarte redusă. Ca urmare, pe lîngă stratul bogat în carbon, sub formă de combinații chimice, aici mai apare al treilea strat format din grafit depus, care poate fi ușor șters cu un tifon înmuiat în alcool. Acest strat lasă să se observe eventualole neuniformități ale patinei.

#### 4.2.2. EFECTE HIDRODINAMICE ÎN PROCESUL DE FORMARE A PATINEI LA CONTACTUL PERIILOR CU COLECTORUL LAMELAT

In cazul colectoarelor formate din lamele izolate sau neizolate, odată cu mișcarea colectorului are loc antrenarea unui strat de aer, care se interpune între suprafața de contact a periei și lamela colectorului. Scurgerea aerului, între peria (fixă) și colector, este relativ lamelară între suprafețele de contact și turbulentă în afara acestora.

Dacă se consideră nulă viteza moleculelor de gaz față de viteza periferică a lamelelor de colector, atunci în canalul dintre lamele, în fața muchiei de intrare ( $x_1$ ) a lamelei, imediat după începerea mișcării colectorului se formează un turbion elicoidal, ca în fig.4.09.a. În timp ce canalul este treptat opturat prin intrarea sa sub perie, acest turbion evacuează aerul din canal prin părțile laterale ale periei, după o direcție paralelă cu axa geometrică a canalului. În momentul opturării totale, cînd marginea de intrare ( $m_1$ ) a periei, ajunge în contact cu marginea de intrare ( $x_1$ ) a lamelei, presiunea

aerului între ele este în jurul valorii maxime, ceea ce determină, pentru foarte scurt timp, o refulare a aerului și printre aceste margini.

În timpul scurgerii lamelare a aerului între suprafața periei și cea a lamelei, viteza și presiunea acestuia se află în corelația dată de formula lui Bernoulli:

$$\frac{dp}{\rho} + \frac{1}{2} v^2 + U = H_0 = \text{const.} \quad (4.1)$$

unde:  $p$  - presiunea.

$\rho$  - densitatea fluidului.

$v$  - viteza moleculelor fluidului.

$U$  - potențialul forțelor exterioare.

$H_0$  - parametrul suprafeței de curent.

Cînd însă muchia de ieșire a lamelei ( $x_e$ ) parcurge lățimea periei ( $0 + b$ ), scurgerea lamelară degenerază în turbionii de sens opus din canalul dintre lamelole de sub perie.

Cu urmare, înainte ca marginea de ieșire  $x_e$  a lamelei să părăsească marginea de ieșire  $m_e$  a periei, presiunea din canal devine minimă și sub muchii apare efectul de trompă, care îndepărtează particulele aderate pe suprafața muchiei de ieșire  $x_e$ . În timpul deplasării lamelei între cele două perii, datorită turbionului din canalul dintre lamele, în zona marginii ( $x_1$ ) are loc devierea scurgerii aerului după un unghi ( $\beta$ ) față de suprafața lamelei ca în fig.4.09. În același timp, din linia de

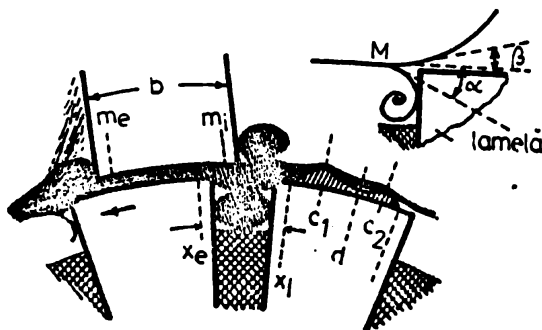


Fig.4.09 a. Explicativă la scurgerea aerului între perie și colector.

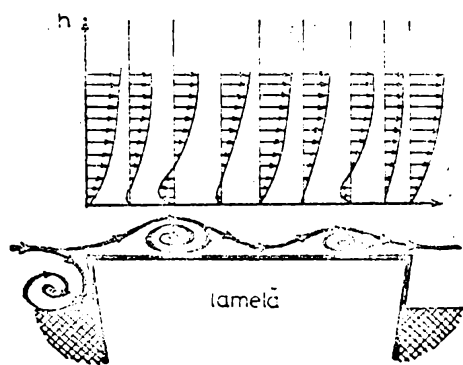
cu peria, pe marginea de intrare ( $x_1$ ) a lamelei are loc o

scurgere care se despică în punctul notat cu  $M$  în fig.4.09.a., derivă deviația cu unghiul ( $\alpha$ ) a scurgerii care degenerază în turbionul din canalul dintre lamele.

Prin urmare atât în timpul mișcării libere a lamelei cât și în timpul contactului

circulație foarte intensă a aerului. Aceasta împiedică aderența particulelor de carbon la suprafața lamelei cu atât mai mult cu cât direcția de mișcare a aerului este aproape tangențială.

În zona lățimii  $x_1$  a muchiei de intrare a lamelei, aerul are o mișcare laminară și viteza variază de la zero pentru stratul limită aderent la colector, pînă la o valoare finită, la o anumită depărtare de aceasta, ca în fig. 4.09.b.



Schimbarea direcției de mișcare a aerului are loc după incidența cu marginea ( $x_1$ ) a lamelei, astfel că în zona „C<sub>1</sub>” (fig.4.09) sub pătura de fluid apare o zonă turbulentă. În această zonă viteza particulelor fluidului schimbă de semn și se formează turbulența în care particulele de carbon și oxigen au vi-

Fig.4.09. Explicativă la variația cîmpului vitezelor stratului de aer pe lățimea lamelei.

teze mici. Ca urmare în această zonă contactul între particulele de carbon și lamelă este mai persistent și reacțiile chimice de combinare (C, O, N, S, Si, etc) sînt mult favorizate, ceea ce duce la creșterea mai accentuată a patinei, față de celelalte zone ale suprafeței lamelei.

În zona „d” (fig.4.09) are loc o nouă schimbare a direcției de scurgere (o ricoșare după pragul „c<sub>1</sub>”), deci suprafața lamelei este intens șlefuită de aer, iar formarea peliculei este mult mai redusă, mișcarea aerului tinzînd din nou spre o scurgere laminară. Probabil că înainte ca particula de aer să ajungă deasupra zonei de ieșire  $x_e$  se produce o nouă turbulență a scurgerii, în zona c<sub>2</sub>.

Faptul că nici marginea de ieșire ( $x_e$ ) a lamelei nu se acoperă cu patină, este o consecință a turbioanelor din canalul dintre lamele. Datorită evacuării aerului dintre lamelele de sub perie, cînd marginea de ieșire ( $m_e$ ) a periei este parcursă de marginea de ieșire ( $x_e$ ) a lamelei, între

ele există o intensă scădere a presiunii aerului. Ca urmare crește apăsarea muchiilor de ieșire a periei pe marginea de ieșire a lamelei, iar pe de altă parte apare efectul de trompă, sub aceste margini ale contactului, prin care moleculele de aer pătrund cu mare viteză între ele. Acestea sînt două dintre cauzele principale care împiedică formarea patinei pe marginea de ieșire ( $x_e$ ) a lamelei. În fig.4.10 se pot distinge clar zonele caracteristice ale patinei for-

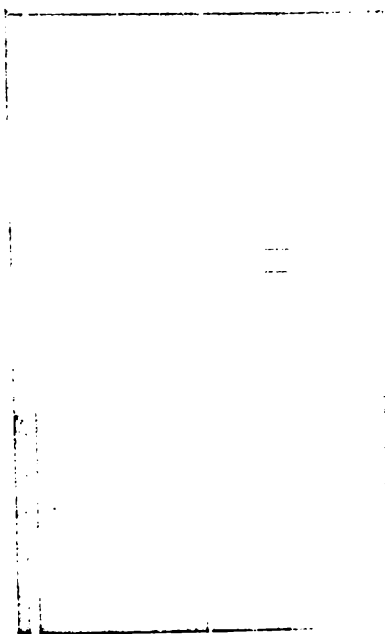


Fig.4.10. Zonele caracteristice ale patinei de pe lamela colectorului (perii MG).

mate la suprafața lamelei la  $n = 2340$  (rpm).

Pentru cazul trecerii lamelei pe sub perie, se poate observa că după ce apare o ușoară depozitare în zona „c<sub>1</sub>” aceasta strângulează scurgerea aerului, deci vitezele particulelor ating aici valori foarte mari, slefuind foarte intens zona imediat următoare, adică zona „d”. În zonele „c<sub>1</sub>” și „c<sub>2</sub>” în care vitezele devin maxime, conform formulei lui Bernoulli, presiunea filmului de aer este minimă și respectiv contactul diferitelor elemente chimice cu

stratul de oxid este mai persistent deci reacțiile chimice favorizate.

Pe măsură ce denivelările „c<sub>1</sub>” și „c<sub>2</sub>” se accentuează, strangularea filmului de aer sub perie devine mai accentuată, deci depozitarea în aceste zone mai intensă. Urmează apoi, în timp, o creștere a patinei și în zona „d”, apoi o nouă accentuare a denivelărilor „c<sub>1</sub>” și „c<sub>2</sub>” pînă cînd se ajunge la o contrabalansare a acestui proces prin uzură mecanică.

Pentru ruperea contactului electric între muchiile de ieșire ale periei și lamelei, constituie un neajuns existența marginii ( $x_e$ ) necoperite de patină, așa cum se va arăta



mai departe.

Repartizarea presiunii filmului de aer, pe lățimea periei, a fost cercetată de R. Mayeur /140, 141, 142, 143, 144, 145/ prin două sonde introduse în perie în marginea de intrare și respectiv în cea de ieșire. S-a stabilit în acest fel că sub marginea de intrare ( $m_i$ ) există totdeauna o suprapresiune, iar sub marginea de ieșire ( $m_e$ ) există o depresiune. Efectele scurgerii aerului asupra formării patinei ca și cauzele ce duc la acest mod de repartizare a presiunii filmului de aer, au rămas neexplicate.

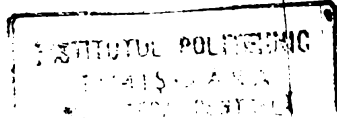
Fenomenele hidrodinamice de scurgere a aerului între perie și colector depind în mare măsură de viteza periferică a acestuia. În fig.4.11 este prezentată patina formată pe lamele la o turație de 1000 /rpm/ cu perii de cărbune dur (C). Se observă că marginile ( $x_i$ ) și ( $x_e$ ) sînt mult mai restrînse. Se pot distinge însă margini de intrare și ieșire ale lamelii, dar acoperite cu o patină de grosime mult mai mică decît zonele  $c_1$  și  $c_2$ . Aceste margini rămîn însă neacoperite, la contactul cu același tip de perii dacă turația este mai mare, așa cum se vede în fig.4.07 ( $n = 2340$  rpm).

În timpul formării patinei la turație redusă, nu se

mai pot distinge, cu ochiul liber, de la o etapă la alta, neuniformitățile patinei. Cu lupa însă, au fost observate aceleași aspecte, în evoluția formării patinei și la turație mai mare, însă mai puțin pronunțate. Aceasta denotă că procesele hidrodinamice de scurgere a aerului între piesele de contact, influențează evoluția formării patinei, la orice viteză periferică a colectorului, pînă cînd creșterea acesteia este contrabalansată de

Fig.4.11. Patina periilor de cărbune dur (C) formată la turație de 1000 /rpm/

frecarea periei. În acest stadiu patina devine uniformă,



de la o margine la alta a lamalei, grosimea sa oscilind între două limite foarte apropiate.

Apăsarea periei pe colector peste limita optimă de lucru, are numai un efect de uzură pronunțată atât a periiilor cât și a patinei, dar nu influențează evoluția formării acesteia. Patina se formează mai lent și prezintă sgîrieturi, după direcția de mișcare, ceea ce determină o mai mare împrăștiere a valorilor căderilor de tensiune cu variația densității de curent.

#### 4.2.3. EVOLUTIA FORMEI PATINEI SI A CARACTERISTICILOR STATICE

Din cercetarea experimentală a evoluției formei și aspectului patinei, în funcție de parcursul periei pe colector, se poate constata că între forma patinei și caracteristica statică există o dependență directă.

Interpretarea rezultatelor experimentale din paragrafele (4.1) și (4.2.1, 4.2.2) poate fi sintetizată ca în tabelul IV.01 dacă se consideră numai căderile de tensiune pe contactul p-c corespunzătoare aceleiași densități de curent  $8 \text{ A/cm}^2$ , aleasă în zona de stabilitate maximă a contactului când  $\Delta U$  devine practic, independent de  $j$ . În tabelul IV.01 s-a considerat căderea de tensiune  $\Delta U_0$  între perie și colectorul proaspăt curățit, ca valoare de referință, față de care s-au determinat, procentual, toate celelalte valori  $\Delta U_x$ , la  $j = 8 \text{ A/cm}^2$ , după diferite parcursuri ale periei pe colector. Apreciind, prin observație directă cu lupa și prin fotografiere, zonele caracteristice  $c_1$ ,  $d$  și  $c_2$  (fig.4.10), după fiecare etapă parcursă, s-au schițat, în tabelul IV.01, formele secțiunii transversale ale patinei. Astfel s-a putut constata că la o accentuare pronunțată a celor două zone  $c_1$  și  $c_2$  ale patinei, adică la o neuniformitate mare a peliculei, corespunde totdeauna și o creștere mai mare a căderilor de tensiune  $\Delta U$  pe contactul p-c. Dacă considerăm această fază a formării patinei, ca o „fază critică”, se constată că ea nu apare după același parcurs al periei pe colector, ci acesta diferă de la un sort de perii la altul.

La periele (C), faza critică apare după un parcurs de peste  $6000 \text{ /km/}$ , după care patina se uniformizează pe

toată lățimea lamelei și proprietățile sale de contact se stabilizează (curbele 07 din fig.4.01).

La periile (MG) s-au găsit două faze critice, la 3.100 /km/ și la 6.600 /km/, iar în continuare pînă la 15.000 /km/ patina a evoluat spre uniformizare, ajungînd în final la forma din fig.4.12. După stabilizarea patinei nu mai apar modificări nici ca formă sau aspect și nici ca valori ale căderilor de tensiune  $\Delta U = f(j)$ . (curbele 32 din fig. 4.02),

TABELUL IV-01

Parcurs Km $\Delta U_0$	0	230	800	1500	3100	4400	6600	10000	15000	
C	$\Delta U_+$	100%	90%	100%	100%	100%	132%	132%	60%	60%
	$\Delta U_-$	100%	100%	100%	130%	127%	150%	78%	64%	64%
MG	$\Delta U_+$	100%	100%	100%	240%	205%	300%	265%	255%	100%
	$\Delta U_-$	100%	100%	100%	285%	108%	284%	384%	384%	100%
EG	$\Delta U_+$	100%	100%	100%	105%	210%	215%	160%	160%	180%
	$\Delta U_-$	100%	100%	100%	158%	235%	210%	244%	244%	175%

$\Delta U = 100 \Delta U_x / \Delta U_0$  %, unde  $\Delta U_x$  și  $\Delta U_0$  sînt căderile de tensiune la  $j=8$  [A/cm<sup>2</sup>] după un parcurs de  $x$  [Km] și respectiv 0 [Km]

La periile (EG) s-au constatat de asemenea două faze critice, la 1500 /km/ și la peste 6000 /km/ (tabelul IV.01). În continuare pînă la 15.000 /km/ nu mai apar modificări decît în sensul uniformizării patinei, stabilității contactului și a caracteristicii statice a acestuia (curbele 49 din fig.4.03). Deși această patină se prezintă ca aspect mai uniformizată, decît la celelalte perii, totuși din fotografia peliculei (fig.4.13) se observă că marginile lamelei rămîn neacoperite ceea ce se va repercuta asupra capacității de comutație a patinei.

Din tabelul IV.01 se poate remarca faptul că între două faze critice are loc o tendință de uniformizare a patinei și concomitent o echilibrare, o apropiere a caracteristicilor statice ale contactului la peria anodică și catodică.

În apropierea fazelor critice ale formării patinei,

se constată o instabilitate a caracteristicilor statice  $\Delta U = f(j)$  la  $n = 0$  și o dispersie mai pronunțată atât ale punctelor aceleiași curbe cât și ale curbelor, una față de alta.

In consecință nu este recomandabil să se utilizeze, sub sarcină, contactul p-c cât timp patina nu s-a uniformizat definitiv, și caracteristica statică nu are stabilitatea maximă.

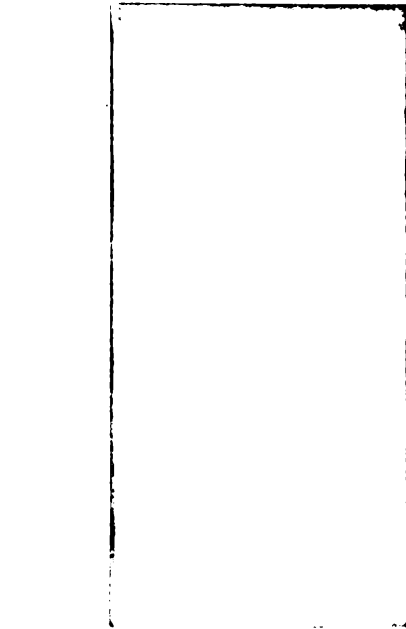


Fig.4.12. Patină uniformizată de perii (MG) după un parcurs de 15.000 /km/.

Dacă patina incomplet formată este utilizată sub sarcină, deteriorarea sa este inevitabilă, în primul rând, din cauza efectului eroziv a ionizării aerului cuprins între perie și depresiunea „d” de pe lamelă. Aceasta deoarece potențialul de ionizare a aerului este mic și energia de ionizare poate fi ușor dobândită ( $4 \div 10$  eV). Mișcarea ionilor erodează atât patina cât și peria în zona depresiunii „d”, încât neuniformitatea patinei se accentuează mereu și contactul devine tot mai instabil, ajungându-

se treptat la arderea sa ca urmare a descărcărilor sub formă de arce și scînteii.

In domeniul fazelor critice ale formării patinei, orice modificare a vitezei periferice la colector sau a apăsării periei pe colector, duce la distrugerea peliculei și la o întârziere a realizării fazei stabilizate. Urmările sînt aceleași și în cazul fazei stabilizate. De aceea alegerea valorilor optime a presiunii (p) a periei pe colector, la viteză periferică dată, este deosebit de importantă, pentru fiecare sort de perie.

Deoarece definitivarea formării patinei este determinată, în timp, de efectele hidrodinamice ale scurgerii aeri-

lui între perie și colector, deci implicit de condițiile de fricțiune ale elementelor contactului p-c, în timpul formării

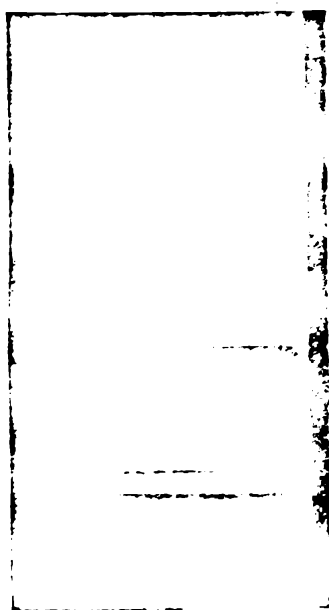


Fig.4.13. Patina uniformizată de perii (EG) după un parcurs de 15.000 /km/

rii patinei pe colectorul nou al unei mașini este necesară îndeplinirea următoarelor condiții: 1) - periile să fie apăsate pe colector cu forța optimă determinată de uzura periilor la turația nominală a mașinii;

2) - viteza periferică la colector ( $v$ ) să fie cu (20-25)% mai redusă ca cea nominală;

3) - stabilitatea maximă a patinei să fie constatată prin determinări ale caracteristicii statice  $\Delta U=f(j)$

la  $v = 0$  și nu prin observații vizuale;

4) - la mașini electrice cu colector, asemenea caracte-

ristici pot fi determinate prin trecerea curentului între două perii alăturate, aflate în contact cu aceeași lamelă.

#### 4.2.4. INFLUENȚA POLARITĂȚII PERIEI ASUPRA CARACTERISTICII STATICE

În paragraful (2.3) s-a prezentat influența sensului trecerii curentului prin contactul p-c, aflat în repaus, pe baza unor date existente în literatură; pentru cazul colectorului cu suprafață netedă (inel) și perie grafitică /76, 78, 79/, asupra căderii de tensiune pe contact.

În lucrările lui R.Holm și F.Holm s-au luat în considerare numai efectele fritingurilor A și B care asigură trecerea curentului prin contactul dintre perie și colectorul neted. Pentru peria pozitivă s-a scos în evidență pe lângă fritingul B și posibilitatea conducției prin efect tunel. Toate aceste procese de conducție, inclusiv aceea prin efectul de diodă (a patinei semiconductoare), există numai în prezența patinei, deci a aerului care înlesnește

formarea stratului de oxizi și a celorlalte combinații chimice. Aceasta, deoarece în vid dispăre orice urmă de apă și frecarea se face pe metalul curat al colectorului. Experiențele lui E.Holm /76, 78/ au permis să se stabilească că, la perii grafitice aflate în repaus pe inelul de cupru, că la peria de polaritate pozitivă conducția are loc prin fritinguri A, urmate imediat de fritinguri B, cu o ușoară strangulare a curentului, datorită adaptării, de către forțele tangențiale (vezi § 2.3), a suprafeței „a”, valorii curentului. Adică, pe contact există o cădere de tensiune mică. La peria cu polaritate negativă, în urma fritingurilor A, se formează punți metalice cu vârful spre perie, care realizează un contact metalic cu peria. Strangularea curentului, în perie, este intensă, deci căderea de tensiune este mare.

Rezultatele acestor experiențe ca și ale altora, efectuate mai devreme, au fost preluate de multe ori cu caracter de generalizare și redată în afirmația că, la peria pozitivă, căderea de tensiune este mai mică decât la contactul periei negative, ceea ce în realitate se infirmă în unele cazuri.

Incercările efectuate cu periiile (C), (MG) și (EG), în cadrul acestei lucrări, au dus la rezultate care nu respectă concluziile teoriei fritingurilor decât în cazul sortului (EG). E.Holm arată în lucrarea /76/, că sînt încă aspecte ale teoriei ce nu pot fi explicate, cum ar fi strangularea curentului totdeauna la aceeași valoare a cîmpului, adică chiar una dintre chestiunile esențiale ale acestor procese de conducție.

Așa cum s-a mai arătat deja (§ 2.3), la trecerea curentului prin peliculă, participă toate procesele caracteristice contactului între perie și colector; conducția prin punți formate de fritingurile A, conducția prin suprafețe „a” în urma fritingului B, conducția tunel prin suprafețele cvasimetalice (ce există în imediata vecinătate a lizierei suprafețelor „a”, sau în alte puncte) și conducția prin efectul de diodă. În funcție de condițiile de mediu și de polaritate a periei, unele dintre aceste procese devin predominante față de celelalte, în mod diferit de la un sort

de perie la altul. Aceasta deoarece structura peliculei de pe colector este diferită și la fel este și grosimea sa. La periile mai dure, patina formată pe colector este totdeauna mai transparentă, deci mai subțire. Ca urmare este posibil ca ponderea conducerii tunel și uneori a celei prin efectul de diodă, să fie mai mare decât în cazul patinei groase formată de periile electrografitice și în care pe lângă stratul de  $Cu_2O$  și cel de carburi, sulfuri etc., există cel de al treilea strat foarte bogat în carbon (cum s-a arătat la punctul 2.2.1). Ca urmare, la patina ce se formează pe colectorul cu lamele și care prezintă și o mai mare neuniformitate decât cea formată pe inele netede, rezultate experimentale, obținute în condiții diferite atât în repaus cât și în rotație, referitoare la căderile de tensiune pe contactul p-c, nu concordă cu teoria fritingurilor la schimbarea polarității.

Pentru periile de cărbune dur (C), aflate în repaus, căderile de tensiune măsurate pe contactul dintre perie și lamela colectorului, după diferite parcursuri ale periei pe colector, sînt în mod sistematic mai mari la peria pozitivă decât la cea negativă (fig.4.12). Pînă cînd patina forma-

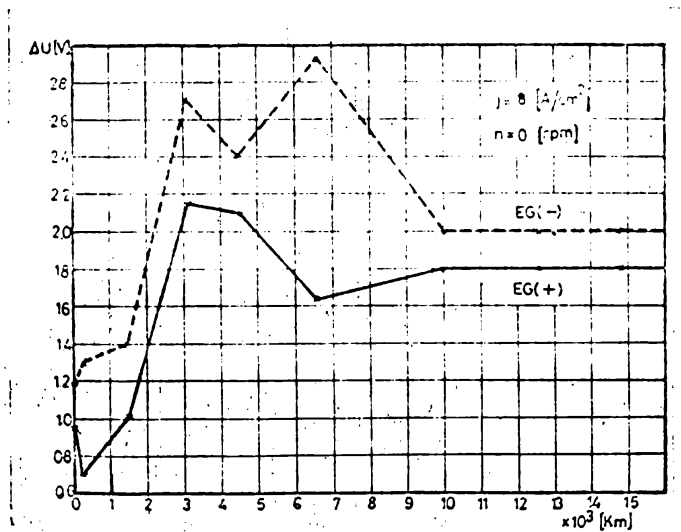


Fig.4.14. Valorile căderilor de tensiune  $\Delta U$  pe contactul periei (+) și a periei (-), de cărbune dur (C), în funcție de parcursul pe colector.

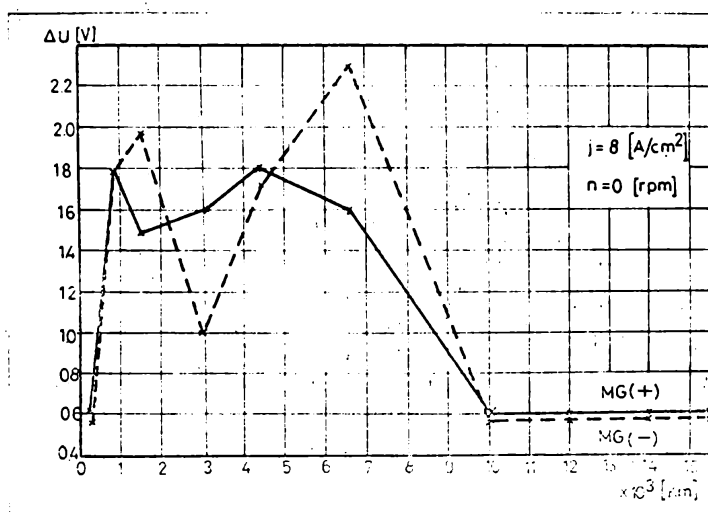
că după acest parcurs nu mai apar modificări esențiale în

tă de perii nu ajunge la stabilitatea definitivă (10.000 km), apar, diferențe mari între căderea de tensiune pe peria catodică față de cea anodică. Si la formarea pati-

nei pe inelul neted /76/ s-a constatat

comportarea patinei. Diferențele între căderile de tensiune la contactul periei (+) față de peria (-), rămân după parcursul de 10.000 /km/, neconcludente, deoarece sînt foarte mici, dar  $(\Delta U_-) < (\Delta U_+)$ .

O constatare similară se face și la periile metalografice (MG), la care în aceleași condiții se obține, după stabilizarea patinei  $(\Delta U_-) < (\Delta U_+)$ , la  $n=0$  și densitate de curent constantă (fig.4.15). Totuși în cazul acestui sort



de perii, după diferite parcursuri ale periilor pe colector, sensul trecerii curentului prin contactul p-c nu determină în mod univoc rapor-

Fig.4.15. Valorile căderilor de tensiune  $(\Delta U_+)$  și  $(\Delta U_-)$ , la contactul periilor (MG)

la peria negativă față de cea pozitivă. Aceasta confirmă faptul că în rețeaua atomică a oxidului de cupru persistă distorsiunile datorite celorlalte combinații chimice, care se formează în stratul imediat următor.

După stabilizarea patinei, extremitățile rețelei atomice a combinațiilor din structura patinei, au o conformație mai puțin distorsionată și ca urmare conducția contactului p-c obține o caracteristică univocă. Si în acest caz apar doar diferențe neesențiale  $(\Delta U_+)$  și  $(\Delta U_-)$ , după 10.000 /km/.

Rezultate, în sensul celor prezentate, când  $(\Delta U_+)$  se obține mai mare ca  $(\Delta U_-)$  se întâlnesc în literatura de specialitate /136, 125, 143/ dar fără a fi comentate în raport cu teoria frîngurilor.



Aceste rezultate confirmă că pe lângă fritingul B și conducția tunel, la contactul dintre peria anodică și colector, la sorturile dure de perii, apare și o strangulare a curentului și respectiv o creștere a rezistenței de strangulare ( $R_s$ , din relația 1.15) din perie, care este mai mare (deci și căderea de tensiune mai mare) decât strangularea curentului, în urma fritingurilor A, de la peria negativă. Pe de altă parte patina introduce între piesele de contact trei joncțiuni cu proprietăți conductoare diferite: - între cupru și  $Cu_2O$  (semiconductor „p”; - între  $Cu_2O$  (p) și al doilea strat al patinei format din combinații ale carbonului care au caracter de semiconductor „n” (vezi 2.2.1) ; - între al doilea strat și peria de cărbune. Rezultatele obținute scot în evidență că aceste straturi ale patinei, prin natura lor semiconductoare se manifestă ca o joncțiune p-n alimentată în sens direct (cînd polaritatea periei este negativă), semiconductorul „n” fiind spre perie iar cel acceptor „p” spre cupru. Pe lângă aceasta rezultă că stratul de  $Cu_2O$  este mult mai redus decît cel de carburi, carbonați, etc, deoarece efectul joncțiunii între cupru și oxidul de cupru (acceptor) este mai redus decît al straturilor p-n. Dacă ponderea acestor două joncțiuni ar fi inversă, rezultatele conductiei ar corespunde cu teoria fritingurilor, așa cum se întîmplă în cazul patinei formate de periile electrografitice. Faptul că joncțiunea p-n este determinantă în procesul de conducție al patinei, este confirmat și de rezultatele obținute în timpul formării patinei prin aceea că în fazele în care stratul „n” (a cărui grosime variază în jurul unei grosimi medii), devine mai subțire decît stratul de  $Cu_2O$ , căderile de tensiune la contactul p-c devin mai mici la peria anodică decît la cea catodică, deoarece efectul joncțiunii MOS ( $Cu - Cu_2O$ ) este predominant față de joncțiunea p-n. Joncțiunea MOS este alimentată în sens direct cînd peria are polaritatea pozitivă.

Evoluția patinei formată de periile (EG) se caracterizează, pe tot parcursul, prin căderi de tensiune la peria anodică mai mici decît la peria catodică. Aici stratul de

oxid de cupru este bine protejat datorită durității reduse a periilor. In fig.4.16. se observă că începînd de la colecto-  
rul proaspăt curățit și pînă la obținerea patinei stabiliza-  
te, căderea de tensiune la peria catodică este mai mare decît

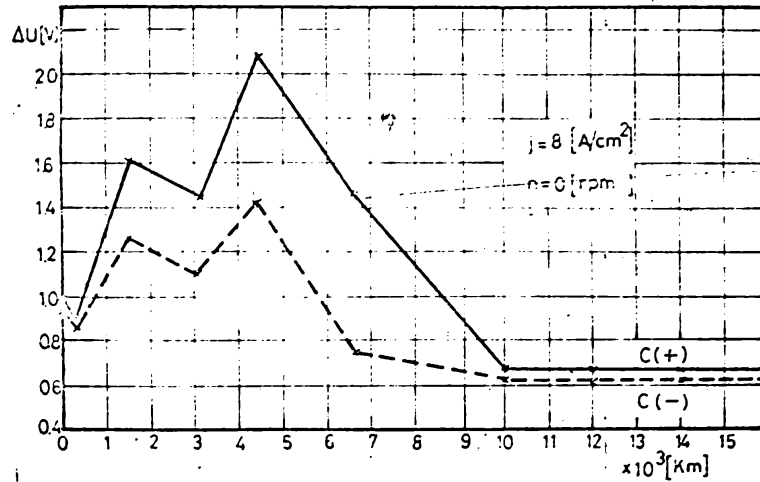
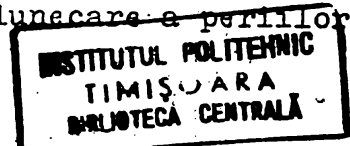


Fig.4.16. Valorile căderilor de tensiune la  
contactul ( $\Delta U_+$ ) și ( $\Delta U_-$ ), la  
contactul perilor (BG) cu colec-  
torul lamelat, în repaus.

la peria anodică. In consecință nu apar deosebiri față de ca-  
zul contactului între peria electrografică și colectorul  
neted /76/, deci teoria frînării se confirmă și la con-  
tactul între periile (BG) și colectorul cu lamelae. De remar-  
cat că după obținerea patinei stabilizate se păstrează o di-  
ferență între ( $\Delta U_+$ ) și ( $\Delta U_-$ ) mai mare decît la contactul  
între colectorul lamelat și periile dure (MG) și (C). Aceas-  
ta înseamnă că straturile semiconductoare „p” și „n” nu sînt  
supuse fluctuațiilor în timpul formării patinei, în ce pri-  
vește grosimea lor ca și concentrația purtătorilor de sarcină,  
ci acestea evoluează progresiv spre valori din ce în ce mai  
mari pînă cînd creșterea grosimii patinei este contrabalansa-  
tă de uzura prin frecare cu periile.

#### 4.3. CONCLUZII ASUPRA ETAPEI DE RODARE A CONTACTULUI p-c

1. Patina se formează la suprafața colectorului cu  
lamela într-un proces îndelungat de alunecare a periilor pe



colector, care se situează între 10.000 /Km/ și 15.000 /km/.

2. În timpul formării sale, patina obține o repartizare neuniformă, de la o margine la alta a lamelei.

3. Evoluția formei patinei pe lățimea unei lamele depinde în mod determinant de prezența și modul de scurgere a aerului între perie și colector.

4. În timpul formării patinei, după anumite etape de parcurs a periei pe colector, căderea de tensiune  $\Delta U$  pe contactul p-c, în funcție de densitatea de curent și de sensul curentului este determinată fie de stratul de oxid de cupru (acceptor), fie de stratul de carburi, carbonați și sulfuri (donor) după cum grosimea și concentrația purtătorilor de sarcină ale unuia sînt mai mari decît ale celuilalt.

5. Între forma patinei după un anumit parcurs al periei pe colector și caracteristica  $\Delta U = f(j)$  la  $v = 0$  a contactului, p-c, există o legătură, ce a fost urmărită experimental.

6. Formarea patinei a fost urmărită prin observații vizuale, fotografice și măsurări ale caracteristicilor  $\Delta U = f(j)$ , cu colectorul în repaus.

7. Cînd patina ajunge în fază stabilizată, adică grosimea sa nu mai este fluctuantă, ea are cel mai redus grad de neuniformitate și se manifestă în mod univoc în procesele de conducție electrică ale contactului p-c.

8. În repaus, la periile dure și semidure în procesul de conducție electrică sînt predominante efectele joncțiunii p-n dintre straturile patinei care este alimentată în sens direct cînd peria are polaritate negativă (fiind în contact cu stratul n). La periile moi sînt predominante efectele joncțiunii MOS de tip acceptor (p) care este alimentată în sens direct cînd peria are polaritate pozitivă (fiind în contact cu stratul p).

#### 4.4. CERCETAREA CONTACTULUI p-c, ÎN CAZUL ROTIRII COLECTORULUI

Pentru a se obține o verificare experimentală a influenței ansamblului de factori ( $j$ ,  $p$ ,  $v$ ,  $u$ ) ce pot acționa asupra contactului p-c, s-au ales trei valori ale presiunii periei pe colector, ca parametru pentru caracteristicile statice. Pentru fiecare caracteristică, la  $p = ct$ , s-au ales

patru valori ale turației ( $v$  - parametru).

La aceste încercări, colectorul cu lamele izolate a fost utilizat în situația de „colector cu lamele scurtcircuitate”, prin montarea traversei B în poziția „2” ca în fig. 3.08.

Toate aspectele conducției electrice a contactului p-c, la alunecarea periilor pe un colector neted, au fost prezentate în subcapitolul (2.3). Pentru cazul contactului periilor cu colectorul lamelat, procesele de conducție rămân aceleași (2.3 .1) însă au loc căderi de tensiuni, la contact, de câte-va ori mai mari, dacă colectorul se află în rotație.

Caracteristica V-A statică constituie și în acest caz, caracteristica de bază pentru determinarea influenței polarității periei asupra conducției electrice a contactului glisant p-c.

La alunecarea periilor pe colector, este imposibilă evitarea totală a vibrațiilor acestora, deci asigurarea unei glisări liniștite ca în cazul înșelilor cu suprafață netedă. Ca urmare există între piesele de contact nenumărate puncte în care intensitatea câmpului electric poate atinge valori necesare producerii fritingurilor A și B. Pe de altă parte la viteze periferice la colector mici, contactul este mai bine realizat și în jurul suprafețelor Martz produse de fritinguri, există suprafețele evasimentului prin care are loc conducția tunel, iar în suprafețele întunecate, unde pelicula poate depăși cu mult  $150 \text{ \AA}$  (până la  $500 \text{ \AA} / 176$ , 177/) intervine caracterul semiconductor al patinei. Dacă contactul p-c funcționează la viteze periferice la colector mai mari, efectul de diodă al patinei dispare și rămâne numai conducția prin fritinguri și prin efect tunel. În ultimul caz, căderile de tensiune la contactul periei anodice și a celei catodice cupatina, ajung la valori apropiate sau chiar identice, în cazul periilor dure, la care cel de al treilea strat al patinei este neglijabil. Din cercetările experimentale efectuate rezultă că pentru fiecare sort de perie și respectiv patina formată de ea, există o viteză periferică la colector optimă, pentru care coeficientul de frecare este minim (vezi fig.4.19, 4.22, 4.26, 4.32, 4.35,

4.39, 4.42). Aici stratul de aer dintre colector și perie are grosimea maximă și realizează o foarte bună lubrifiere. Totodată se reduce conducția prin efectul de diodă în favoarea celei prin fritinguri.

O altă observație, deosebit de importantă, constă în faptul că, pînă la limitele la care nu apar scînteieri la contact, creșterea densității de curent se manifestă printr-o creștere a lubrifierii contactului și are loc o scădere a coeficientului de frecare. Aceasta rezultă din determinările experimentale ale căror rezultate sînt prezentate în figurile menționate mai sus.

Pentru cercetarea experimentală a contactului p-c, referitor la influența asupra căderii de tensiune pe contact a presiunii periei pe colector, a densității de curent și a vitezei periferice și respectiv influența densității de curent asupra coeficientului de frecare dintre perie și colector, s-au efectuat pentru fiecare dintre cele trei sorturi de perii aless, cîte trei grupe de determinări experimentale, după cum urmează :

I) Influența densității de curent asupra căderii de tensiune pe contact

$$\underline{\Delta U = f(j) \text{ la } p_1 = 1,2 \text{ /N/cm}^2/}$$

$$\text{și } v_1 = 13,82 \text{ /m/s/ (n = 1300)}$$

$$v_2 = 19,13 \text{ /m/s/ (n = 1800)}$$

$$v_3 = 25,51 \text{ /m/s/ (n = 2400)}$$

$$v_4 = 31,89 \text{ /m/s/ (n = 3000)}$$

$$\underline{\Delta U = f(j) \text{ la } p_2 = 2,5 \text{ /N/cm}^2/}, v_{1,2,3,4} = \text{idem}$$

$$\underline{\Delta U = f(j) \text{ la } p_3 = 4 \text{ /N/cm}^2/}, v_{1,2,3,4} = \text{idem}$$

II) Influența vitezei periferice asupra căderii de tensiune pe contact

$$\Delta U = f(n) \text{ la } j = 8 \text{ /A/cm}^2/ \text{ și } p_1, p_2, p_3.$$

III) Influența densității de curent asupra coeficientului de frecare dintre perie și colector (efectul densității de curent de lubrifiere a contactului p-c).

$$\Delta u = f(j) \text{ la } p_1, p_2 \text{ și } p_3$$

Cu referire la influența polarității periei deci a sensului de trecere a curentului prin contact, aceasta nu depinde de faptul că elementele de contact se află în repaus sau în mișcare, încît constatările de la § 4.2.4 își păstrează valabilitatea cît timp între perie și colector contactul este bine realizat.

Fiecare caracteristică este marcată cu un număr de ordin corespunzător tabelului de la finele lucrării în care sînt înscrise valorile determinate experimental.

#### 4.4.1. CERCETAREA EXPERIMENTALA A INFLUENȚEI DENSITĂȚII DE CURENT ASUPRA CADERII DE TENSIUNE PE CONTACTUL p-c

În condițiile prezentate anterior au fost determinate caracteristicile statice  $\Delta U = f(j)$  la  $p = \text{const.}$  și  $v = \text{const.}$  pentru fiecare fel de perie în parte.

##### 4.4.1.1. Periile de cărbune duz (C)

Caracteristicile statice V-A, pentru presiunea periei pe colector de  $1,2 \text{ /N/cm}^2$  și diferite valori ale vitezei periferice sînt prezentate în fig.4.17.

Ca și în cazul contactului în repaus ( $v = 0$ ), căderea de tensiune ( $\Delta U_+$ ) la peria anodică este mai mare decît ( $\Delta U_-$ ) la peria catodică. La viteze periferice mai mari de  $19 \text{ - } 20 \text{ /m/s/}$ , cum este cazul curbilor (10) și (11) din fig.4.17; căderile de tensiune la perii de polarități diferite sînt aproximativ egale. Prin urmare peste această limită a vitezei periferice, la periile dure sensul curentului nu influențează căderea de tensiune, adică nu se manifestă caracterul de diodă al patinei semiconductoare, dacă  $v = \text{const.}$  iar  $j$  variabil. Această consecință este o urmare a reducerii grosimii stratului de aer dintre perie și lamelă, încît frecarea se apropie de cazul frecării în aer rarefiat, deci încălzirea crește peste limita la care patina își mai păstrează proprietățile semiconductoare.

La presiunea de  $2,5 \text{ /N/cm}^2$  se confirmă în și mai mare măsură constatarea precedentă, așa cum rezultă din ca-

racteristicile V-A din fig.4.18, că numai reducerea grosimii

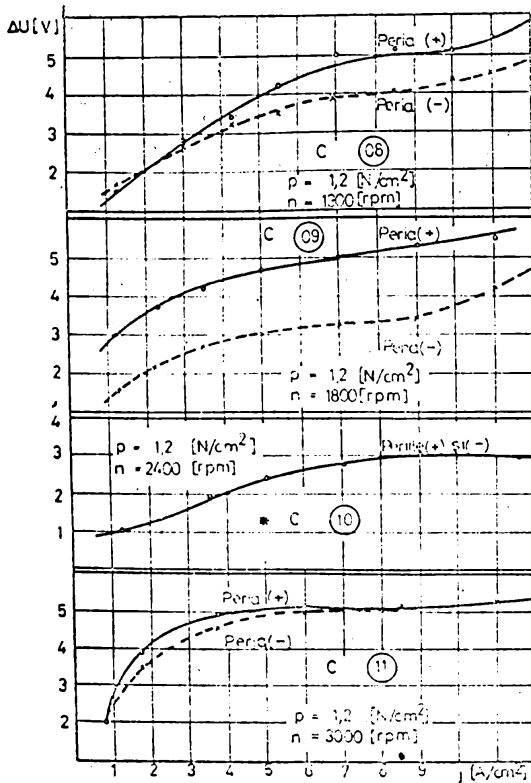


Fig.4.17.  $\Delta U = f(j)$  la  $n = \text{ct}$  și  $p = 1,2 \text{ N/cm}^2$  pentru periele (C)

stratului de aer (aci din cauza creșterii presiunii) deci creșterea temperaturii conduce la dispariția diferențelor între căderile de tensiune la peria anodică față de cea catodică.

Conductivitatea patinei crește exponențial cu temperatura (2.2), iar căderea de tensiune la contact scade aproape invers proporțional cu presiunea periei pe colector (vezi fig.4.18) comparativ cu fig.4.17). Pe de altă parte contactul este mai stabil decât la  $1,2 \text{ N/cm}^2$  și poate suporta densități

de curent mai mari fără să apară scânteieri. Dacă însă densitatea de curent crește peste  $12 \text{ A/cm}^2$  la o viteză periferică de  $25 \text{ m/s}$  (curba 16 din fig.4.18), apar scânteieri de gradul 1 /58 , 146/.

Pe măsură ce se reduce efectul de diodă al patinei, devine preponderentă conducția prin fritinguri și prin efectul tunel, proprie patinei cu temperatură mai mare de  $(80+100)^\circ\text{C}$  și la care stratul exterior bogat în carbon ca și stratul de carburi, carbonați, sulfuri etc. sînt glefuite de perie.

În cazul presiunii periei pe colector de  $4 \text{ N/cm}^2$ , caracteristicile  $\Delta U = f(j)$  se prezintă ca în fig.4.19. Se constată că creșterea presiunii peste  $2,5 \text{ N/cm}^2$  determină o micșorare corespunzătoare a căderilor de tensiune la contact, în schimb funcționarea contactului devine instabilă din cauza fluctuațiilor grosimii stratu-

rilor exterioare ale patinei față de stratul de oxid de cu-

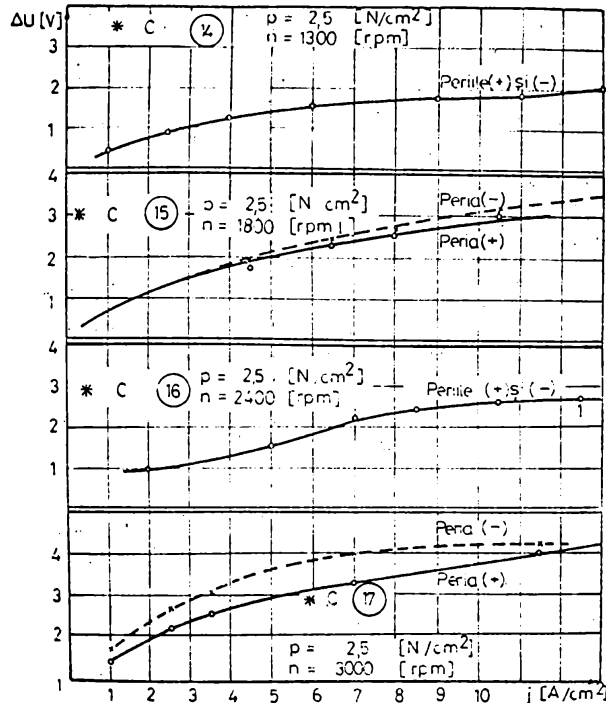


Fig.4.18.  $\Delta U = f(j)$  la  $n = ct$  și  $p = 2,5 \text{ [N/cm}^2\text{]}$  pentru periile (C)

este situată în jurul valorii de  $(2 \div 2,2) \text{ [N/cm}^2\text{]}$ . In fig. 4.20.a, zona de ieșire a lamellei este distrusă (fîșia albă) de scînteile dintre colector și perie, respectiv corespunzător este deteriorată zona de ieșire a periei (fig.4.20.b) ca în jumătatea suprafeței de contact pe care rizurile sînt estompate. Din fig.4.19 se observă că densitatea de curent la care contactul funcționează fără scînteii se reduce la valori de  $6 \div 7 \text{ [A/cm}^2\text{]}$  valori la care în cazul presiunii periei pe colector sub  $2,2 \text{ [N/cm}^2\text{]}$ , contactul p-c funcționează fără scînteii și fără oscilații ale căderilor de tensiune (de ex. în curba 21 la  $6,5 \text{ [A/cm}^2\text{]}$  apar scînteieri de ordinul 1 care se intensifică la densități de curent mai mari).

pru. Ca urmare apar scînteieri atît sub peria anodică cît și sub cea catodică, ceea ce contribuie și mai mult la deteriorarea patinei, mai ales în zona muchiei de ieșire. In fig. 4.20 sînt prezentate fotografii ale suprafețelor de lamela și ale periei distruse în zona muchiei de ieșire. Prin urmare creșterea presiunii periei pe colector peste limita la care patina începe să-și schimbe structura, determină intensificarea uzurii electrice, prin arce și scînteii, atît a suprafeței periei cît și a colectorului. Pentru periile de cărtune dur (C), această limită



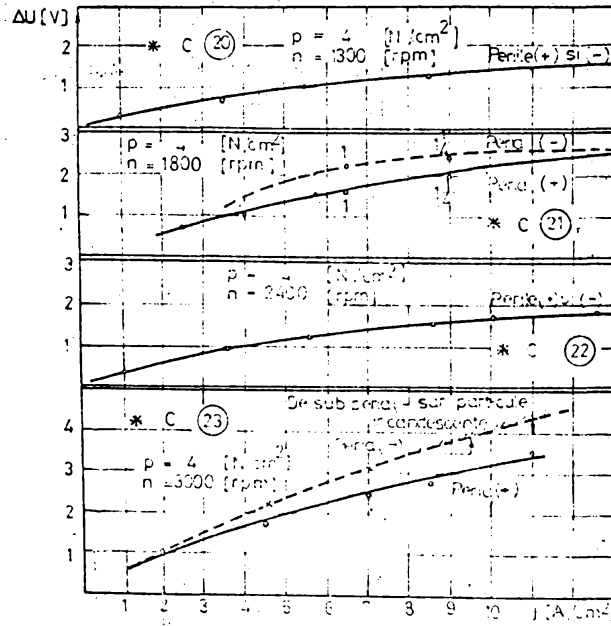


Fig.4.19.  $\Delta U = f(j)$   $n = \text{ct}$  și  $p = 4$  [N/cm<sup>2</sup>] pentru perile (C)

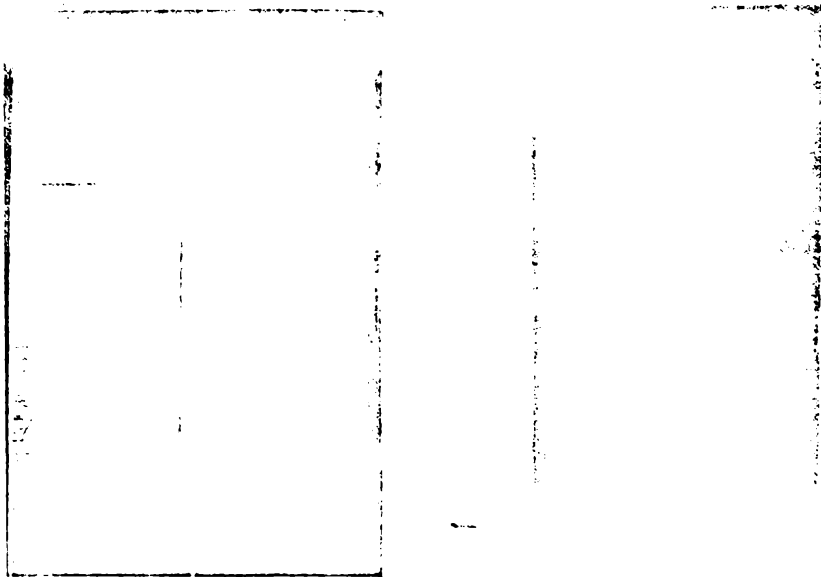


Fig.4.20. Marginile de ieșire ale lamelilor (a) și periei catodice (b), arse prin sinteziere la perii (C), la  $p = 4$  [N/cm<sup>2</sup>]

4.4.1.2. Periile metalografice (MG)

Așa cum s-a arătat în paragraful 4.1, pe același colector cu lamele izolate au fost experimentate pe trei piste paralele cele trei tipuri de perii. Pe fiecare pistă au alunecat două perii de polarități diferite, dar de același sort.

Periile metalo-grafitice puse în contact cu colectorul au o comportare aparte în raport cu periile de cărbune dur (C) și cele electrografitice (EG). La presiuni sub  $2 \text{ N/cm}^2$ , contactul nu funcționează stabil, în schimb la presiuni mai mari devine foarte stabil. Ca urmare nu s-au putut efectua determinări experimentale, decât pentru presiunile periiilor pe colector de  $2,5$  și  $4 \text{ N/cm}^2$ .

La periile (MG), ca și la  $n = 0$  (fig.4.15), la  $n \neq 0$  apar oscilații între  $(\Delta U_+)$  și  $(\Delta U_-)$ , predominând în general valorile mai mari ale căderilor de tensiune la contactul periei anodice, față de cel al periei catodice, deși diferențele rămân mai puțin semnificative, așa cum rezultă din fig.4.21.

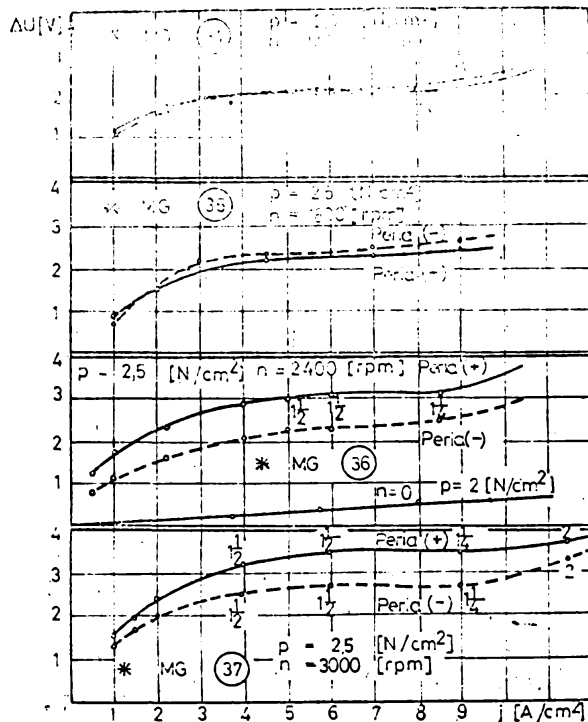


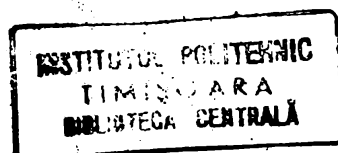
Fig.4.21.  $\Delta U = f(j)$  la  $n = \text{ct}$  și  $p = 2,5 \text{ N/cm}^2$  la periile (MG)

Din curbele (36) și (37) din fig.4.21 se deduce că la periile (MG), la viteze periferice mai mari de 20 /m/s/ (vezi tabelul III.02 de la p.74), contactul p-c funcționează cu scînteieri de gradul 1 pînă la  $1 \frac{1}{4}$ . Aceasta este o consecință a reducerii grosimii stratului de aer dintre perie și colector, urmată de șlefuirea patinei și respectiv realizarea contactului direct între perie și partea metalică a lamelei, stratul de oxid de cupru fiind și el intens deteriorat (se va reveni în paragraful 4.4.2).

La periile (MG), la aceeași presiune a periei pe colector, este mai mare influența mișcării colectorului asupra caracteristicilor de contact decît la periile de cărbune dur (C). În fig.4.21 curba (36) arată că tensiunea la contactul glisant este de 4 - 5 ori mai mare decît la același contact aflat în repaus (curba 32 din fig.4.02), în timp ce pentru periile (C) curbele (14), (15) și (16) din fig.4.18 reprezintă o creștere a tensiunii la contactul glisant numai de 2 - 3 ori mai mare decît la același contact aflat în repaus (curba „07” din fig.4.01).

Pe de altă parte s-a constatat în timpul experimentărilor că la periile (MG) există un timp de adaptare a căderii de tensiune pe contact după fiecare modificare a valorii curentului prin contact. Această adaptare nu este de natura celei stabilite de E.Helm cu privire la fritingurile B, deoarece durata este mult mai scurtă, ci este o urmare a creșterii temperaturii suprafețelor de contact ale colectorului și periei. În fig.4.22 sînt redate curbele de variație ale căderii de tensiune pentru trei valori ale densității de curent la contactul periei (MG) cu colectorul. Să observă că din momentul stabilirii unei valori a curentului, căderea de tensiune continuă să crească timp de 2 - 3 minute, după care rămîne constantă. Pentru verificarea s-au folosit diferite tipuri de surse, obținîndu-se același rezultat.

Cauza o constituie faptul că odată cu creșterea temperaturii are loc creșterea rezistivității părții metalice a contactului care nu se compensează prin micșorarea simultan a



rezistenței de strangulare din perie (la care rezistivitatea scade cu creșterea temperaturii deoarece coeficien-

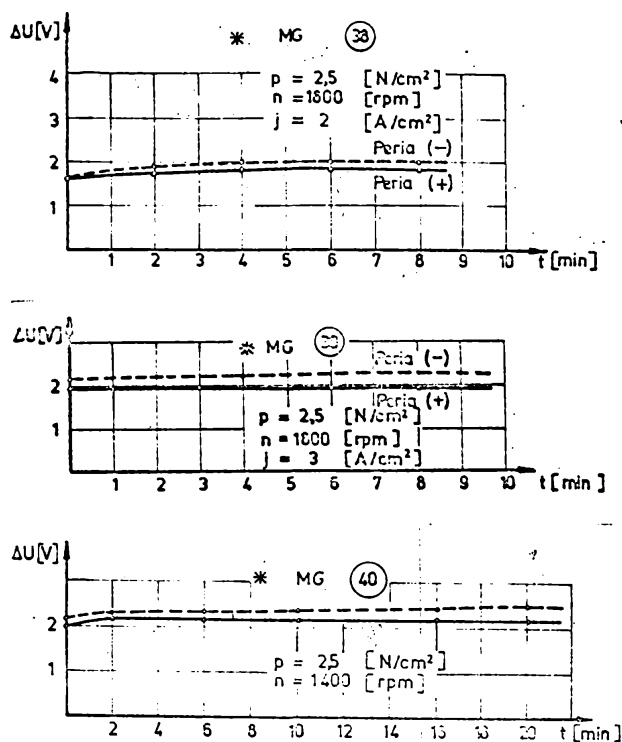


Fig.4.22.  $\Delta U = f(j)$  la  $p = ct$  pentru periele (MG)

mul de temperatură  $\alpha_o(\varrho)$  este negativ). Curbele (38) și (40) s-au obținut prin creșterea densității de curent de la 0 la 2 respectiv 6 /A/cm<sup>2</sup>/, adică prin trecerea contactului dintr-o stare relativ „rece” în stare mai cladă, iar curba (39) cu colectorul cald la care densitatea de curent a fost mărită de la 2 la 3 /A/cm<sup>2</sup>/. Comparînd curba (39) cu celelalte două (38 și 40) se observă că

$\Delta U$  crește după creșterea densității de curent numai dacă aceasta produce o creștere a încălzirii contactului.

În cazul funcționării contactului la presiunea periei pe colector de 4 /N/cm<sup>2</sup>/, caracteristicile statice (41) la (44) din fig.4.23 arată că pînă la viteze periferice de 18÷20 /m/s/ se obține o funcționare stabilă a contactului însă micșorarea corespunzătoare a căderii de tensiune pe contact ( curbele 41 și 42 comparativ cu 34 și 35), este redusă, nefiind justificată creșterea presiunii peste 2,5 /N/cm<sup>2</sup>/. Pentru viteze periferice mai mari de 20 /m/s/ la 4 /N/cm<sup>2</sup>/ se obțin micșorări ale căderii de tensiune pe contact mai evidente (curbele 43 și 44 comparativ cu 36 și 37) însă contactul nu mai funcționează stabil.

În concluzie periile (MG) pot fi utilizate la contactul cu colectoarele lamelate numai la solicitări mecanice și electrice bine determinate care să asigure cea mai stabilă funcționare. Din caracteristicile reprezentate în fig.4.21

și fig.4.23 se deduce că domeniul de funcționare stabilă a contactului p-c cu perii (MG) este situat la:  
 $1,8 \text{ /N/cm}^2 < p < 2,8 \text{ /N/cm}^2$  și  $10 \text{ /m/s} < v < 20 \text{ /m/s}$ , iar densitatea de curent pînă la  $12 \text{ /A/cm}^2$ .

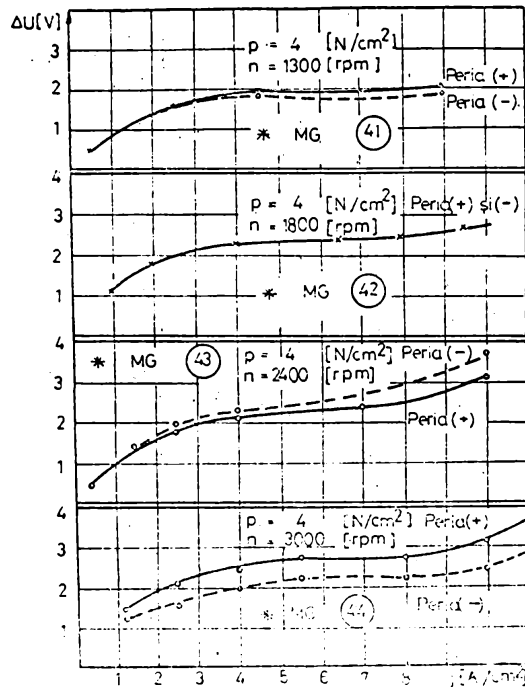


Fig.4.23.  $\Delta U = f(j)$  la  $n = \text{ct}$  și  $p = 4 \text{ /N/cm}^2$  pentru periile (MG)

#### 4.4.1.3. Periile electrografice (FG)

Domaniul de valori ale solicitărilor mecanice și electrice la care contactul p-c funcționează stabil, așa cum s-a arătat la cele două tipuri de perii prezentate, se lărgeste la periile moi la care alunecarea se face cu coeficienții de frecare mai mici și patina este ferită de deteriorări prin abraziune. Ca urmare, la periile moi, nici influența presiunii periei pe colector și nici viteza periferică la colector nu pot să determine o schimbare esențială de structură a patinei și respectiv a caracteristicilor statice  $\Delta U = f(j)$ . Atît stratul de oxid de cupru (acceptaor) al patinei cît și stratul de carboranți, carburi, sulfuri etc.

(donor) ca și ultimul strat bogat în carbon, la periiile moi

se mențin nedeteriorate și fără fluctuații. Din această cauză joncțiunea între cupru și  $\text{CuO}_2$  este preponderentă în procesul de conducție electrică a patinei față de joncțiunea p-n între  $\text{CuO}_2$  și stratul (donor) de carbonați și carburi, deoarece numai acesta din urmă preia efectele frecării cu peria. Pe de altă parte la contactul p-c al periiilor moi se realizează condițiile stabilite în paragraful

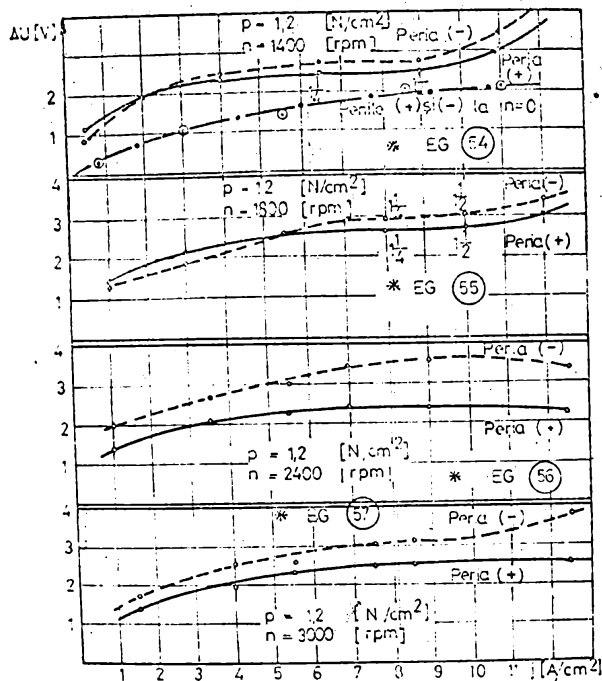


Fig.4.24.  $U = f(j)$  la  $n = \text{ct.}$  și  $p = 1,2 \text{ N/cm}^2$  pentru periiile (54)

ne mereu mai mare ca unitatea ( $\Delta U_- / \Delta U_+ > 1$ ), deoarece /46, 47, 48/ temperatura contactului depășește  $80^\circ\text{C}$ . S-a văzut (2.3.2) că raportul tinde spre 1 numai la temperaturi mai mari de  $100^\circ\text{C}$ , /50, 210/, când proprietățile exterioare ale straturilor semiconductoare nu se mai manifestă (cum a fost la periiile dure; curbele 10, 14, 16, 20, 22, 42). La periiile moi cum sînt și cele electrografitice (EG), joncțiunea MOS (acceptoare) între cupru și  $\text{CuO}_2$  prezintă o pronunțată conducție extrinsecă (deci cu efect de diodă) cît timp temperatura nu crește peste  $80^\circ\text{C}$  /149, 210/, cînd apare și conducția intrinsecă prin trecerea electronilor din zona de valență direct în zona de conducție, ea fiind alimentată în sens direct cînd peria este anodică, astfel că totdeauna va exista inegalitatea ( $\Delta U_- > \Delta U_+$ ), la peria catodică predominînd conducția prin fritinguri /79, 81/.

In consecință nici una dintre solicitările  $j$ ,  $v$  sau

p nu pot influența în mod deosebit funcționarea contactului decât la limitele unui domeniu larg de valori.

În fig.4.24 sînt prezentate caracteristicile  $\Delta U = f(j)$  pentru presiunea periei pe colector de  $1,2 \text{ /N/cm}^2$ .

Din diagrama (54) din fig.4.24 se constată mai întîi la periele (EG) mișcarea colectorului nu determină o creștere a căderilor de tensiune la contact față de contactul în repaus, ca în cazul celorlalte sorturi de perii (pe aceeași diagramă este trasată și caracteristica  $\Delta U = f(j)$  la  $n = 0$ ).

Pe de altă parte din curbele (54) și (55) comparativ cu (56), (57) și următoarele (pînă la curba 70), contactul p-c realizat de periele (EG) nu funcționează stabil la viteze sub  $18 \div 20 \text{ /m/s/}$  (turații sub  $1800 \div 2000 \text{ /rpm/}$ , cînd presiunea periei pe colector este sub  $1,2 \div 1,5 \text{ /N/cm}^2$ . Dacă însă presiunea este mai mare de  $1,2 \text{ /N/cm}^2$  contactul se realizează în bune condiții și la viteze periferice sub  $20 \text{ /m/s/}$  și nu apar scînteieri. Aceasta înseamnă că presiunea exercitată asupra contactului p-c și viteza periferică a colectorului trebuie să se găsească într-un anumit raport pentru a nu apare scînteieri la contact.

La presiunea de  $2,5 \text{ /N/cm}^2$ , s-a trasat  $\Delta U = f(j)$  în fig.4.25 pentru  $n = 0$  și în fig.4.26 pentru  $n = 1200 \div 3000 \text{ /rpm/}$ . Aceste caracteristici ca și cele din fig.4.24 confirmă toate concluziile din paragraful (2.3.2). Căderile de tensiune la periele anodice sînt mai mici decât la cele catodice ca și la  $n = 0$  (vezi fig.4.16), conform celor arătate în paragraful (4.2.4). Pe de altă parte se confirmă ipoteza că la contactul glisant al periiilor moi nu apar creșteri mari ale căderilor de tensiune la contact față de contactul în repaus. Astfel comparînd curba (61) din fig.4.25 cu curbele din fig.4.26 se constată că la peria anodică, la colectorul în mișcare nu apar creșteri ale căderilor de tensiune, în schimb căderile de tensiune la peria catodică cresc aproape cu 100% la contactul glisant față de contactul în repaus. Rezultă că fritingurile la peria catodică sînt mai intense la contactul glisant decât la contactul în repaus, sau decât la contactul între peria (EG) și inelul cu suprafață netedă /76/.

La creșterea presiunii periei pe colector la

4 /N/cm<sup>2</sup>/, nu se obține, practic, o modificare a căderilor

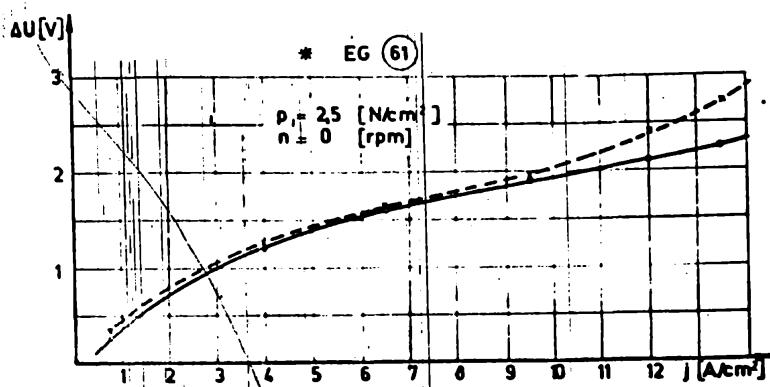


Fig.4.25.  $\Delta U = f(j)$  la  $p = 2,5$  /N/cm<sup>2</sup>/ și  $n = 0$ , pentru periile (EG)

rie și colector devine tot mai subțire pe măsură ce viteza

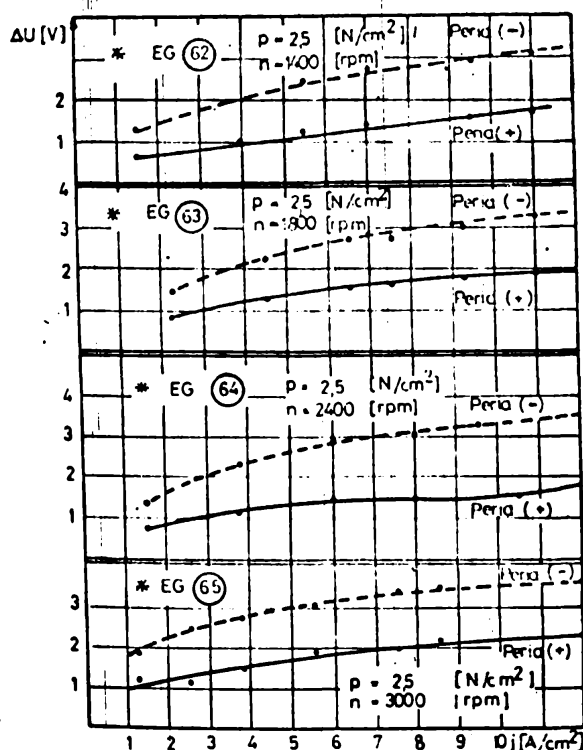


Fig.4.26.  $\Delta U = f(j)$  pentru  $n = ct$  și  $p = 2,5$  /N/cm<sup>2</sup>/ la periile (EG)

ale solicitărilor  $j, v$ , și  $p$ . La periile (EG) domeniul de funcționare fără scântei se extinde de la  $p = 1,2$  /N/cm<sup>2</sup>/ și

de tensiune la contact față de 2,5 /N/cm<sup>2</sup>/, în schimb la viteze periferice mai mari de 20 /m/s/ contactul devine instabil deoarece se produce o deteriorare parțială a patinei, dat fiind că stratul de aer dintre pe-

riiferică crește, încât la densități de curent peste 11 12 /A/cm<sup>2</sup>/ apar scântei. In fig.4.27 aceste constatări sînt ilustrate prin curbele (70) și (71). Comparînd fig. 4.27 cu fig.4.26 se constată că diferențele între căderile de tensiune sînt negliabile. Caracteristicile statice ale contactului  $p \rightarrow c$  realizat cu perii (EG) dovedesc ipoteza că dacă patina nu este deteriorată prin fricțiune contactul are o funcționare stabilă între limitele largi



$v = 18 \text{ /m/s/}$  pînă la  $p = 4 \text{ /N/cm}^2\text{/}$  și  $v = 18 \text{ /m/s/}$  pentru densități de curent pînă la  $12 \text{ /A/cm}^2\text{/}$  sau chiar mai mult.

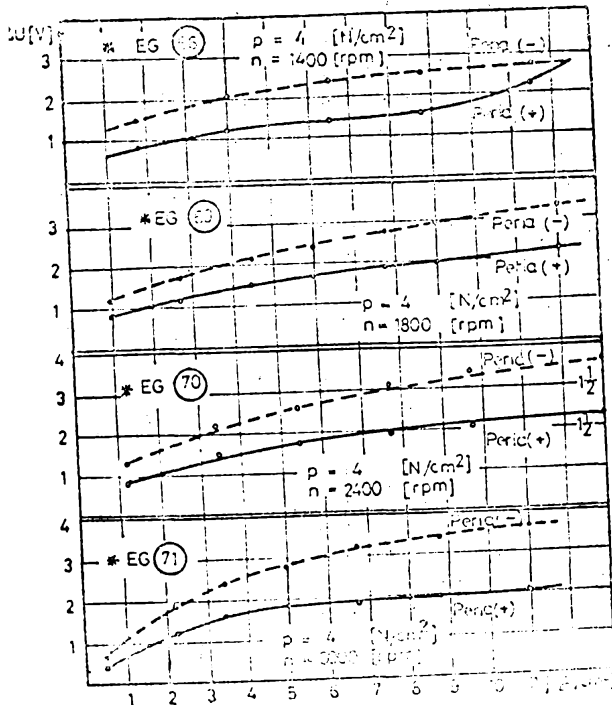


Fig.4.27.  $\Delta U = f(j)$  pentru  $n = \text{ct.}$  și  $p = 4 \text{ /N/cm}^2\text{/}$  la periiile (EG)

modificări neglijabile ale căderilor de tensiune la contact, între anumite limite.

4) caracteristicile statice  $\Delta U = f(j)$  sînt practic liniare, încît rezistența de contact se menține aproape constantă.

5) între contactul glisant și cel în repaus nu se obțin modificări esențiale ale căderilor de tensiune la contactul p-c.

#### 4.4.2. INFLUENȚA VITEZEI PERIFERICE ASUPRA CONTACTULUI p-c

Căderea de tensiune pe contactul p-c poate fi influențată de viteza periferică la colector în măsura în care aceasta afectează patina. Astfel dacă se reduce grosimea stratului de aer dintre perie și lamelă, patina este supusă procesului de slefuire. Grosimea straturilor componente se

Spre deosebire de periile dure, la periile (EG) se impun următoarele concluzii:

1) totdeauna căderea de tensiune ( $\Delta U_+$ ) la peria anodică este mai mică decît ( $\Delta U_-$ ) la peria catodică, ceea ce confirmă că și la contactul periilor (EG) cu colectorul lamelat ca și la contactul cu un inel colector /76/ este valabilă teoria fritingurilor.

2) căderile de tensiune la tensiune la contact sînt mai mici decît la celelalte tipuri de perii.

3) viteza periferică și presiunea pe perie, produc

schimbă, și respectiv se schimbă ponderea joncțiunii MOS față de joncțiunea p-n a straturilor. Schimbarea grosimii straturilor semiconductoare pe de o parte și valoarea temperaturii pe de altă parte pot produce schimbarea valorii căderii de tensiune la contactul periei anodice și la celei catodice. Dacă modificarea vitezei periferice nu schimbă condițiile de fricțiune, nu afectează structura patinei și nici temperatura sa, nu se produc modificări ale căderii de tensiune la contact. Dacă însă se produc schimbări de structură ale patinei sau de temperatură, este posibil să se modifice atât valorile căderilor de tensiune la contact cât și ponderea unui tip de conductibilitate a patinei semiconductoare.

Dacă se ridică caracteristici  $\Delta U = f(n)$  la  $j = \text{const.}$  înseamnă că la viteze periferice la colector mici, respectiv turații mici, temperatura va fi mai mare decât la turații mari. Aceasta deoarece sistemul elastic de apăsare a periei permite acestuia să păstreze neîntrerupt contactul cu suprafața colectorului chiar dacă colectorul prezintă un anumit dezzechilibru sau neuniformitate a suprafeței. La viteze periferice mai mari, nu mai este un contact permanent între perie și colector, ci doar în momentele în care peria revine pe colector după un impuls dat de o denivelare a colectorului. Unele dintre determinările experimentale constituie verificări ale acestor considerații, altele nu. Aceasta înseamnă că simultan cu modificarea vitezei periferice la colector la  $j = \text{const.}$  și  $p = \text{const.}$  mai există și alți factori care influențează căderea de tensiune la contactul p-c. Alteori, cum este cazul periiilor moi, nici unul dintre acești factori nu pot influența în mod hotărâtor contactul. Pentru periiile de cărbune dur (C), după cum rezultă din fig.4.18 și fig.4.19 există la fiecare valoare a presiunii două turații (1300 și 2400) la care căderile de tensiune nu sînt diferențiate de la peria anodică la cea catodică. Rezultă, după considerațiile anticipate, că la aceste viteze periferice (14 și 25 m/s) contactul între perie și colector este realizat fără întreruperi și încălzirea datorită frecării este ceva peste limita de 80-85°C. Dacă se menține  $j = \text{const.}$  și  $p = \text{const.}$  și se modifică turația, asemenea fenomene nu pot fi observate, iar caracteristicile  $\Delta U = f(m)$ , pentru pe-

riile de cărbune dur (C), se prezintă ca în fig.4.28.

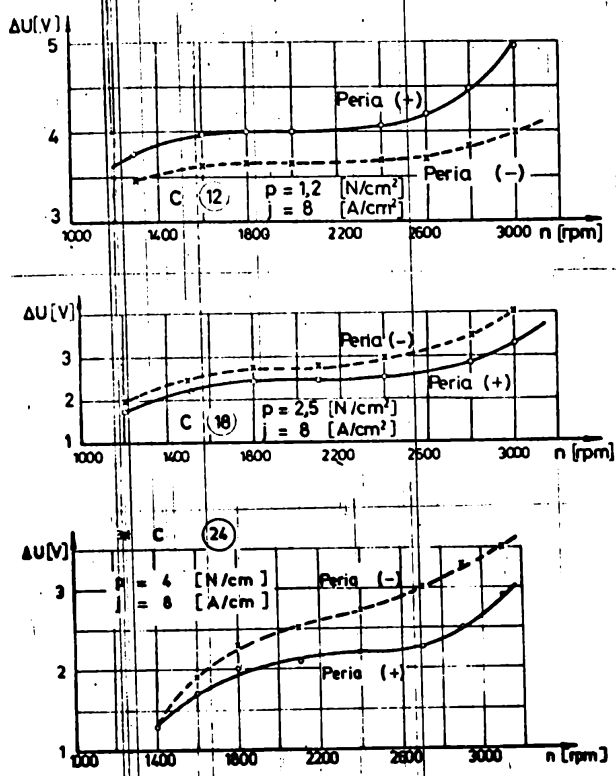


Fig.4.28.  $\Delta U = f(n)$  la  $j = \text{const.}$  și  $p = \text{const.}$  la perile (C)

Comparînd curbele din fig.4.28 trasate pentru presiuni diferite ale periei pe colector se constată că la presiuni mici (curbele 12) este predominantă influența straturii exterioare p-n, iar la presiuni peste 2 /N/cm<sup>2</sup>/ cea a joncțiunii MOS (curbele 18 și 24). Variația vitezei periferice însă nu influențează căderea de tensiune la contact numai la  $p = 4$  /N/cm<sup>2</sup>/ sau la presiuni mai mici dar viteze peste 26 /m/s/. Dependența aproape liniară a căderii de tensiune la contact în funcție de viteza

periferică în cazul curbelor (24) este consecința creșterii rezistenței de contact atât datorită reducerii suprafețelor de contact ca număr și ca arie (relația 1,8, din paragraful 1.2.1) cât și datorită creșterii rezistențelor de strângulare.

Pentru a se verifica ipoteza că creșterea temperaturii contactului este determinantă pentru dispariția deosebiri dintre căderea de tensiune ( $\Delta U_+$ ) la contactul periei anodice și ( $\Delta U_-$ ) la cel al periei catodice, s-a recurs tot la perii dure și anume de tip metalo-grafitic și s-a ridicat caracteristica  $\Delta U = f(n)$  la densitate de curent de 1,5 ori mai mare decât în cazul din fig.4.28, adică  $j = 12$  /A/cm<sup>2</sup>/ și  $p = 4$  /N/cm<sup>2</sup>/, prezentată în fig.4.29. Se constată că și în acest caz se obține verificarea experimentală corespunzătoare și la fel o dependență aproape liniară a căderii de tensiune de variația vitezei periferice, deci variația rezis-

tentă de contact. Este util să se reamintească faptul că la grosimi mici ale patinei o mare pondere în procesul conductivității electrice îl are efectul tunel.

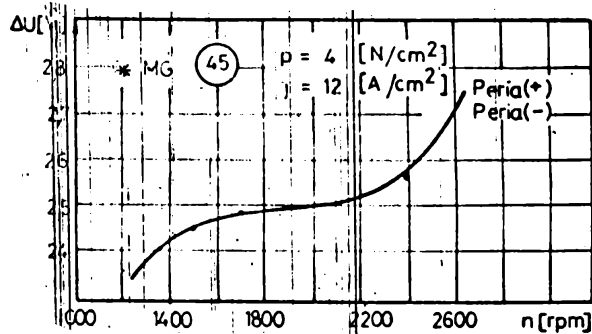


Fig. 4.29.  $\Delta U = f(n)$  la  $j = 12 \text{ A/cm}^2$  și  $p = 4 \text{ N/cm}^2$  la periile (MG)

Influența vitezei periferice asupra căderii de tensiune la contactul periiilor electrografitice (EG), este neglijabilă, cum rezultă din fig. 4.30, pentru presiunile periei pe colector de  $2,5 \div 4 \text{ N/cm}^2$ . Căderile de tensiune la contactul periiilor (EG)

se mențin practic constante, deci și rezistența de contact rămâne constantă, deoarece așa cum s-a arătat la începutul paragrafului, la periile moi patina nu suferă degradări nici la creșterea presiunii și nici a vitezei periferice.

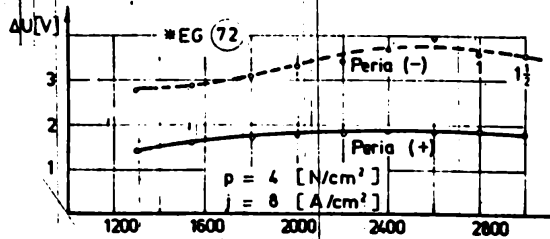
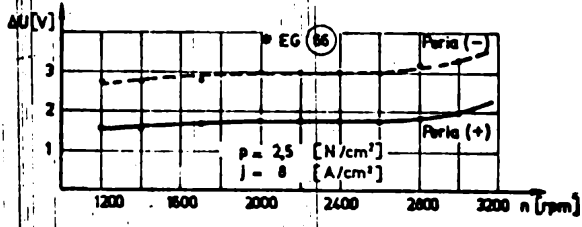
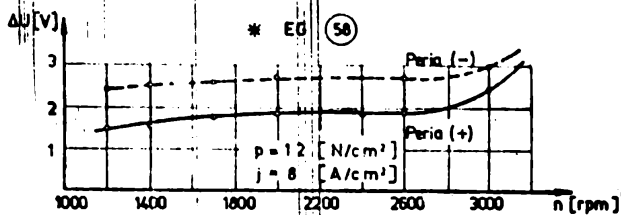


Fig. 4.30.  $\Delta U = f(n)$  la  $j = \text{const.}$  și  $p = \text{const.}$  la periile (EG)

Curbele (58), (66) și (72) din fig. 4.30 arată, chiar mai mult, că nici valoarea căderilor de tensiune nu este influențată. Deci contactul periiilor mai este influențat numai de variațiile densității de curent. De fapt și variația căderii de tensiune în funcție de densitatea de curent (paragraful 4.4.1.3) este aproape liniară,

fiind caracteristici de forma  $\Delta U = \text{const.} \cdot j$ .

În concluzie, variațiile vitezei periferice la colector determină variații ale rezistenței de contact cu periile dure și semidure și respectiv variații ale căderilor de tensiune. De asemenea se produc schimbări ale grosimii stratului semiconductor al patinei și respectiv ale ponderii unui tip de conductibilitate față de cealaltă (p sau n). Periile moi nu-și schimbă proprietățile contactului p-c sub influența vitezei periferice la colector. Cauza principală a acestor efecte o constituie schimbarea grosimii și acțiunii stratului de aer. Până la anumite grosimi stratul de aer protejează patina și disipă căldura. La viteze periferice mari această acțiune se diminuează mult și patina își schimbă proprietățile de conducție electrică.

În afara acestor cauze principale care determină un sens bine conturat al influenței vitezei periferice la colector asupra căderilor de tensiune la contact, mai pot interveni anomalii datorită unor factori independenți, cum ar fi umiditatea, abraziunea, depărtarea periei de colector prin intermediul unor granule mari încastrate temporar în suprafața periei /147, 148, 149/, etc.

#### 4.4.3. EFECTUL LUBRIFIANT AL DENSITĂȚII DE CURENT ASUPRA CONTACTULUI p-c

În primele două capitole s-au făcut referiri la acțiunea de lubrifiere a contactului atunci când curentul crește.

Din lucrările lui Mayeur /147, 148, 149/ se desprind câteva cazuri care confirmă că la trecerea curentului prin contactul p-c realizat cu un inel neted, are loc o reducere a coeficientului de frecare /145, 147/.

Experințele efectuate de Mayeur ca și de alți cercetători /55, 66, 76, 107/, asupra frecării periiilor pe inele colectoare, au permis să se stabilească faptul că la creșterea curentului prin contactul periei se produce desprinderea unui praf de cărbune foarte fin care interpus între perie și colector determină reducerea coeficientului de frecare. În absența curentului electric prin contact se produce uzura mecanică a periei prin desprinderea de particule de grafit de dimensiuni și forme diferite (20÷50  $\mu\text{m}$ ) /145/. Aceste

picule sînt puține la număr (2÷3) pentru suprafața unei  
1. Ele produc zgîrneturi ale patinei și chiar unele os-  
ciile ale periei. Dacă prin contactul periei cu colec-  
1 trece curent electric cu o densitate mai mare  $3\div 5$   
 $\text{m}^2$ , are loc uzura electrică cu atît mai intensă cu  
densitatea este mai mare, constînd în desprinderea unor  
picule fine, sub formă de pudră de grafit. Atît uzura  
meșică cît și uzura electrică sînt posibile datorită struc-  
1 planare a grafitului, prezentată în paragraful (2.2.1).  
turile secundare sintre planele de cristalizare /48,  
146/ sînt caracterizate de energii mici, încît pot fi  
1 ruse la o încălzire prin frecare sau prin efect Joule.  
contactul parcurs de curent este glisant cele două  
e (frecare + curent electric) se suprapun și efectul  
amplificat, rezultînd o uzură intensă a periei.

Pulbera de grafit rezultată din uzura meșică,  
mai ales electrică, formează cel de al treilea strat al  
periei în amestec cu vaporii din atmosferă, cu aerul din-  
tresele de contact și cu alte elemente absorbite și  
1 brite la suprafața colectorului. Al treilea strat, pe  
în paragrafele precedente l-am numit „bogat în car-  
1 poate fi ușor distrus prin creșterea presiunii periei  
colector sau a vitezei periferice peste o anumită  
1 tă.

La viteze periferice la colector foarte ridicate, la  
grosimea stratului de aer dintre perie și colector  
1 sub o anumită limită, stratul format din pulbera de  
1 și mărește vîscozitatea și coeficientul de frecare  
1 să crească, după ce în prealabil cu creșterea vitezei  
1 perice a scăzut pînă la o valoare minimă.

Creșterea stratului bogat în carbon fiind favorizată  
1 creșterea temperaturii contactului, rezultă că atît vi-  
1 periferică cît și densitatea de curent contribuie la  
1 periei dar în același timp micșorează coeficientul  
1 frecare. De fapt cu creșterea vitezei periferice se exer-  
1 o forță portantă asupra periei tot mai mare din cauza  
1 ului de aer dintre perie și colector /147/. La o anu-  
1 valoare a vitezei periferice, mișcarea turbionară din  
1 ale dintre lamele, creează o reducere intensă a stra-

tului de aer (paragraful 4.2.2) și coeficientul de frecare ca și uzura mecanică încep să crească. Creșterea densității de curent în schimb determină în același sens creșterea uzurii electrice, dar cum coeficientul de frecare se micșorează rezultă o reducere a uzurii mecanice. Se poate găsi, pe cale experimentală, un optim al acestor solicitări.

Ipotezele și concluziile stabilite la cercetarea lubrifierii de către curentul electric a contactului între perii și inele sînt valabile în bună măsură și în cazul contactului periiilor cu colectoare lamelate, cu observația că aici viteza periferică la colector ca și presiunea periei pe colector au influențe incomparabil mai mari.

Pentru verificare s-a determinat la fiecare sort de perie în parte variația coeficientului de frecare „u” cu densitatea de curent, la trei valori ale presiunii periei pe colector. Coeficientul de frecare a fost determinat cu relația (3.1) din paragraful (3.2.2) cu datele înscrise în tabelele de la sfîrșitul lucrării marcate cu numărul de pe curbele  $\mu = f(j)$ .

Efectul lubrefiant al densității de curent, la contactul p-c, este pus în evidență prin caracteristica  $\Delta U = f(j)$  din fig.4.3.1, în care la fiecare valoare a densității de curent s-a notat

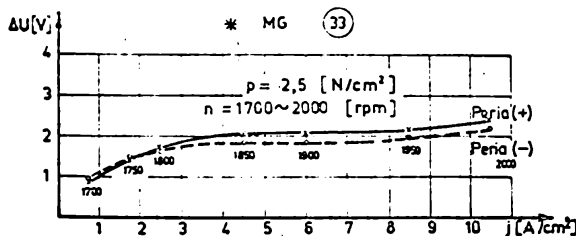


Fig.4.31.  $\Delta U = f(j)$  la  $n=1700 \div 2000$  /rpm/ la  $p = 2,5$  /N/cm<sup>2</sup>/ pentru periiile (MG)

ficientului de frecare,

rent s-a notat valoarea naturală a turației. Se constată că la o variație a densității de curent între 1 și 10 /A/cm<sup>2</sup>/, turația crește de la 1700 la 2000 /rpm/ ca urmare a micșorării coe-

ficientului de frecare.

4.4.3.1. Pentru perile (C), dependența coeficientului de frecare de densitatea de curent este redată de curba (13) din fig.4.32, la presiunea

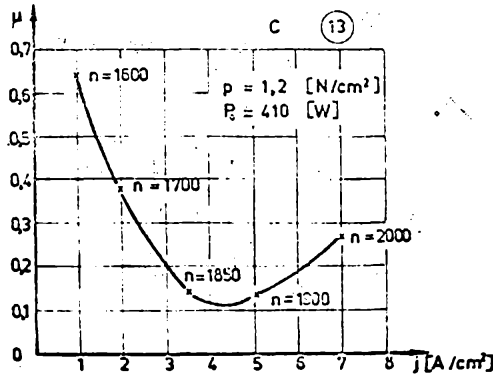


Fig.4.32.  $\mu = f(j)$  la  $p = 1,2$  /N/cm<sup>2</sup>/ pentru perile (C)

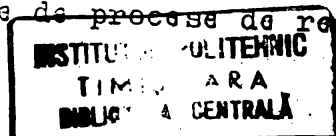
periei pe colec-  
tor de 1,2 /N/cm<sup>2</sup>/.  
Se constată că la  
parametrii dați de  
solicitare mecanică  
și electrică a  
periei, coeficien-  
tul de frecare ob-  
ține valoarea mi-  
nimă la densitate  
de curent cuprinsă  
între 4 și 5  
/A/cm<sup>2</sup>/. Din fig.

4.17 se constată că la perile dure (C), la densitate de curent pînă la 12 /A/cm<sup>2</sup>/ caracteristica statică nu suferă modificări decât dacă viteza periferică depășește 20 /m/s/ (aproxim. 2000 rpm). Din fig.4.32 se obține confirmarea că aceste modificări apar din cauza creșterii temperaturii contactului în urma reducerii grosimii stratului de aer. De aceea dispar deosebirile de polaritate între curbele

$U = f(j)$  (10 și 11 din fig.4.17), iar coeficientul de frecare începe să crească.

La presiune  $p = 2,5$  /N/cm<sup>2</sup>/, fig.4.33 la perile (C) coeficientul de frecare, la aceleași valori ale densității de curent sînt de 1,5÷2 ori mai mari decît la 1,2 /N/cm<sup>2</sup>/, iar minimum se obține la  $j > 12$  /A/cm<sup>2</sup>/.

Pentru presiunea de 4 /N/cm<sup>2</sup>/, fig.4.34 coeficientul de frecare nu mai crește în aceeași proporție, dar se obține un minim la 10 /A/cm<sup>2</sup>/. Rezultă că și în acest caz, există o densitate de curent care determină o lubrifiere optimă a contactului (aprox.10 /A/cm<sup>2</sup>/), pentru care atît pierderile mecanice cît și cele electrice ar fi minime la  $v = 18$  /m/s/, (vezi tabelul 25), însă din fig.4.19 curba (21) rezultă că la această viteză periferică contactul nu are o funcționare stabilă ci apar scînteieri cauzate de procese de rezonanță





între sistemul portperiei și colectorul în rotație /143, 203, 204/.

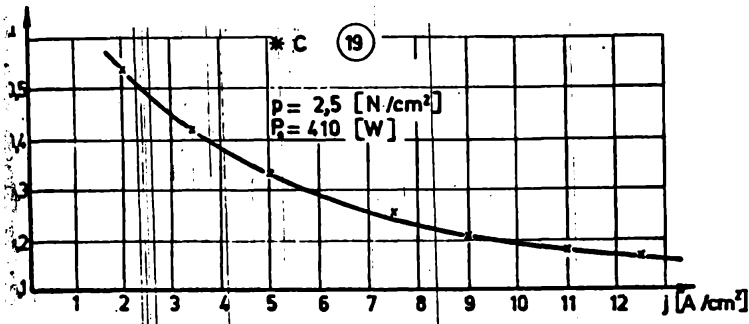


Fig.4.33.  $\mu = f(j)$ , la  $p = 2,5$  /N/cm<sup>2</sup>/ pentru periile (C)

4.4.3.2. Pentru periile (MG)

se obține un efect de lubrefiere intensă la densități de

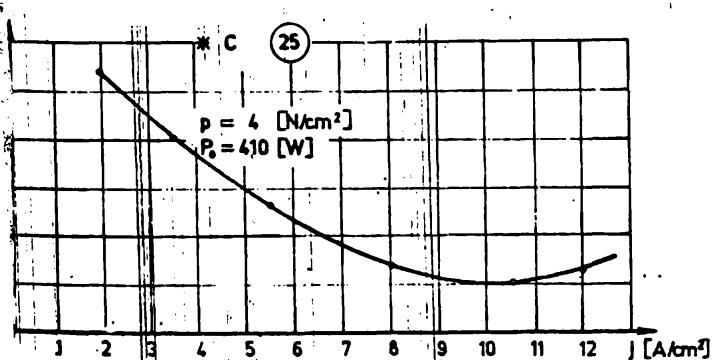


Fig.4.34.  $\mu = f(j)$ , la  $p = 4$  /N/cm<sup>2</sup>/ pentru periile (C)

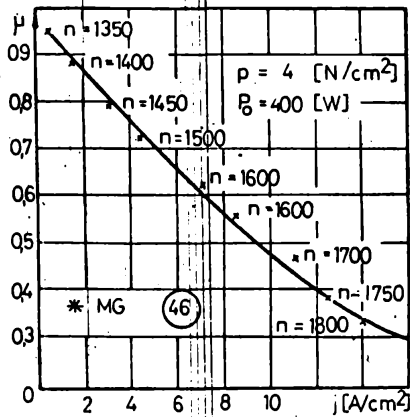
este satisfăcătoare (u rămâne apropiat de valoarea 0,3) nici la densități de 16 /A/cm<sup>3</sup>/. Corelînd aceste rezultate cu cele din fig.4.23, rezultă că între 1350 /rpm/ și 1800 /rpm/ concomitent cu scăderea coeficientului de frecare, la creșterea densității de curent, are loc totuși o creștere a temperaturii contactului, deoarece căderile de tensiune nu mai depind de polaritatea periei.

Pentru periile (MG) nu se obțin funcționări îmbunătățite ale contactului p-c la presiuni mai mari de 2 /N/cm<sup>2</sup>/ și viteze periferice la colector peste 20 /m/s/ (în cazul de față aproximativ 2000 /rpm/. Totuși la  $p = 4$  /N/cm<sup>2</sup>/ și

În consecință presiunile de 1,8 ÷ 2 /N/cm<sup>2</sup>/ și viteze periferice sub 20 /m/s/, sînt mai avantajoase pentru periile C (vezi și fig.4.18)

curent pînă la 10-11 /A/cm<sup>2</sup>/, la presiunea de 2,5 /N/cm<sup>2</sup>, cum rezultă din fig.4.31. Pentru presiunea de 4 /N/cm<sup>2</sup>, fig.4.35, se obține o creștere mare a coeficientului de frecare, iar efectul de lubrifiere a densității de curent nu

$v = 30$  /m/s/ (curba 44 din fig.4.23 și 46 din fig.4.35),

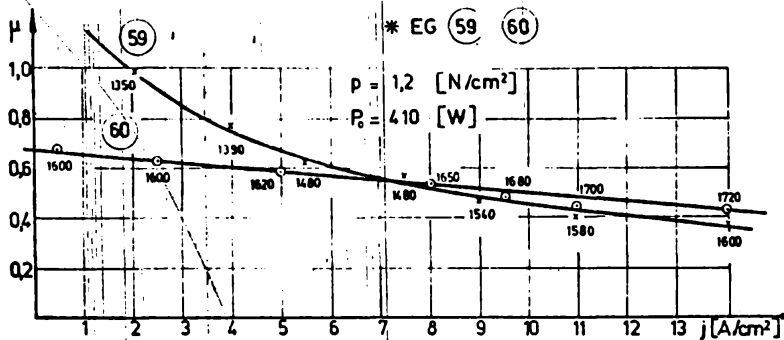


funcționarea contactului este stabilă, însă căderile de tensiune la contact sînt mai mari, deci pierderile de energie sînt mai mari.

Fig.4.35.  $\mu = f(j)$ , la  $p = 4$  /N/cm<sup>2</sup>/, pentru perile (MG)

4.4.3.3. Pentru perile (EG),

efectele de lubrifiere a contactului la creșterea densității de curent, fig.4.36, depind mult de domeniul vitezelor periferice. Astfel începînd de la aproximativ 14 /m/s/, cum rezultă din fig.4.36 curba 59, pentru densități de curent va-



riind de la 2 la 14 /A/cm<sup>2</sup>/ se obține o reducere cu peste 60% a coeficientului de frecare, în timp ce începînd de la 16 /m/s/, (curba 60 din fig.4.36), de curent, micșorarea coeficientului de frecare este mai

Fig.4.36.  $\mu = f(j)$  la  $p = 1,2$  /N/cm<sup>2</sup>/ pentru perile (EG)

mică de 40%.

La  $p = 1,2$  /N/cm<sup>2</sup>/ nici minimul coeficientului de frecare nu scade sub 0,3 la densități de curent de 14 /A/cm<sup>2</sup>/, din cauza vîscozității mari a amestecului de pulbere de grafit cu elementele absorbite din atmosferă, celelalte dezavantaje ale acestui domeniu de solicitări fiind prezentate în paragraful (4.4.1).

Lubrifierea periilor (EG), la  $p = 2,5$  /N/cm<sup>2</sup>/, este

mai bună la  $v = 18$  /m/s/ și densități de curent între 6 și 8 /A/cm<sup>2</sup>/, așa cum rezultă din curba 67, fig.4.37 și tabelul 67. Minimul coeficientului de frecare scade de la

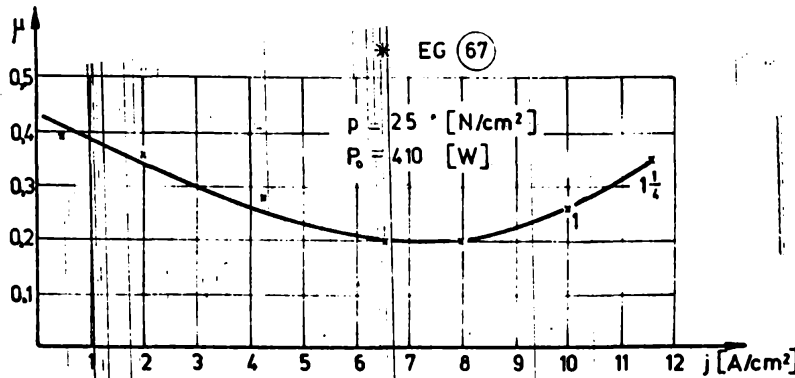


Fig.4.37.  $\mu = f(j)$ , la  $p = 2,5$  /N/cm<sup>2</sup>/ pentru periile (EG)

reduce mult, chiar dacă densitatea de curent ajunge pînă la 14 /A/cm<sup>2</sup>/.

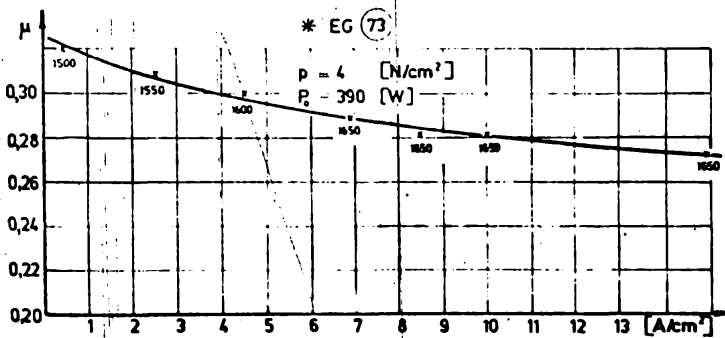


Fig.4.38.  $\mu = f(j)$ , la  $p = 4$  /N/cm<sup>2</sup>/, pentru periile (EG)

la contact, cum rezultă și din curbele din fig.4.26. Pe de altă parte valoarea minimă a coeficientului de frecare se obține la  $p = 2,5$  /N/cm<sup>2</sup>/ (fig.4.37) iar la presiunile de 1,2 (fig.4.36) și 4 /N/cm<sup>2</sup>/ (fig.4.37) valorile sînt mai mari, ceea ce constituie și în cazul periilor (EG) o confirmare a considerațiilor teoretice de la începutul paragrafului.

În concluzie, la contactul periilor cu colectoare cu lamele, densitatea de curent are efecte de lubrifiere ca și în cazul contactului cu inele însă datorită influenței

0,4 pînă la 0,2, adică cu peste 50% în domenii restrînse ale densității de curent și vitezei periferice, fig. 4.37. La presiune de 4 /N/cm<sup>2</sup>/, fig.4.38, efectul de lubrifiere c contactului se Deși coeficientul de frecare nu scade sub 0,27, totuși temperatura contactului nu crește cu creșterea presiunii și a densității de curent în așa măsură ca să influențeze căderea de tensiune

mari asupra alunecării a presiunii și vitezei periferice este necesar să se stabilească o corelație optimă între acești trei factori  $j$ ,  $p$  și  $v$  astfel ca funcționarea contactului să fie stabilă și fără scântei. Valorile optime ale solicitărilor electrice și mecanice ale contactului p-c ca și domeniul de valori favorabile se determină din caracteristicile  $\Delta U = f(j)$ ,  $\Delta U = f(v)$  și  $\mu = f(j)$  ridicate experimental pentru fiecare fel de perie în parte. Observarea și interpretarea directă a acestor caracteristici este de mare utilitate pentru utilizarea rațională a contactului p-c în exploatarea mașinilor electrice cu colector.

#### 4.5. CORELAȚIILE CARACTERISTICII STATICE A CONTACTULUI

p - c .

Din analiza caracteristicilor statice ale contactului p-c aflat în repaus sau în mișcare, rezultă clar că dependența căderii de tensiune la contact, de densitatea de curent, de viteza periferică la colector, sau de apăsarea periei, reprezintă o relație multiplă care mai include și alți factori în afară de aceștia, factori pe care i-am numit independenți (§ 2.1). În consecință, o interpretare statistico-matematică a rezultatelor experimentale și stabilirea corelației între căderea de tensiune și factorii variabili, pot permite cunoașterea mai obiectivă a influenței unei categorii de variabile aleatorii în raport cu celelalte.

În literatura de specialitate consultată, se face uz de analiza directă a caracteristicilor contactului. Considerăm că față de aceasta, o analiză statistică poate conduce la o interpretare mai completă a datelor experimentale și a influenței factorilor aleatorii.

##### 4.5.1. METODA ANALIZEI STATISTICO - MATEMATICE.

În cadrul acestei analize se va urmări stabilirea corelației între căderea de tensiune  $\Delta U$  (ca variabilă dependentă) și densitatea de curent, folosind ca parametru presiunea periei pe colector ( $p$ ). Dependența căderii de tensiune  $\Delta U$  de viteza periferică se va neglija în cadrul aceluiași grup de caracteristici obținute pentru o presiune dată, a periei pe colector.

Corelația între căderea de tensiune și densitatea de curent se va presupune liniară, dat fiind că pe cea mai mare porțiune, fiecare caracteristică statică V-A (vezi § 4.4.1), prezintă o dependență de această formă /148/. Se vor căuta ecuațiile dreptelor de regresie liniară între  $\Delta U$  și  $j$  și se va analiza, în final, prin valoarea coeficienților de corelație, intensitatea corelației liniare. De asemenea se vor putea stabili curbele funcțiilor de distribuție după valorile caracteristicii statistice.

Metoda de calcul se constituie prin adaptarea mijloacelor de calcul statistic /96, 152, 161, 162, 158/ la speci-

ficul cazului de față.

Pentru calculul coeficienților de corelație, se va propune o formă simplificată, mai operativă, decât cele întâlnite în literatura de specialitate.

În scopul de a înlesni urmărirea calculelor, se introduc următoarele notații și precizări:

1) se numesc valori caracteristice și se notează cu  $y$  (respectiv  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ ) toate valorile căderilor de tensiune  $U$ .

2) se numesc valori caracteristice și se notează cu  $x$  (respectiv  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ) toate valorile densităților de curent  $j$ .

3) se numește frecvența valorilor caracteristicii, numărul de valori  $x_i$  sau  $y_i$  și se notează cu " $n$ ".

4) frecvența valorilor caracteristicii  $x_i$  pentru o valoare dată a caracteristicii  $y$  se notează cu  $n_{x_i y}$ .

5) frecvența valorilor caracteristicii  $y_i$  pentru o valoare dată a caracteristicii  $x$  se notează cu  $n_{x y_i}$ .

6) frecvența valorilor caracteristicii  $y_i$  corespunzătoare valorilor caracteristicii  $x_i$  se notează cu  $n_{x_i y_i}$  sau simplu cu  $n_{xy}$ .

7) se determină media valorilor caracteristicii  $y$  și  $x$  cu relațiile :

$$y_0 = \frac{y_1^n x_1 y_1 + y_1^n x_2 y_1 + y_1^n x_3 y_1 + \dots + y_1^n x_1 y_1 + y_2^n x_1 y_2 + y_2^n x_2 y_2 + \dots}{n_{x_1 y_1} + n_{x_2 y_1} + n_{x_3 y_1} + \dots + n_{x_1 y_2} + n_{x_2 y_2} + n_{x_3 y_2} + \dots}$$

$$\frac{y_2^n x_3 y_2 + \dots + y_2^n x_1 y_2 + \dots + y_i^n x_i y_i}{\dots + n_{x_1 y_3} + n_{x_2 y_3} + n_{x_3 y_3} + \dots + n_{x_i y_i}} = \frac{i y_i^n n_{xy}}{i n_{xy}} \quad (4.1)$$

La fel se calculează și media  $x_0$ , a valorilor caracteristicii  $x$ , ca și în cazul  $y_0$ .

$$x_0 = \frac{\sum_i x_i n_{xy}}{\sum_i n_{xy}}$$

8) suma valorilor caracteristicii:

$$A_1 = \sum_1 y_i n_{xy} = B_3 \quad (4.2)$$

$$B_1 = \sum_1 x_i n_{xy} = A_3 \quad (4.3)$$

9) suma patratelor valori caracteristicii:

$$A_2 = \sum_1 y_i^2 n_{xy} \quad (4.4)$$

$$B_2 = \sum_1 x_i^2 n_{xy} \quad (4.5)$$

10) suma produselor valorilor caracteristicii  $x$  cu valorile corespunzătoare ale caracteristicii  $y$  :

$$A_4 = \sum_y y_i \sum_x x_i n_{xy} = B_4 \quad (4.6)$$

$$B_5 = \sum_x x_i \sum_y y_i n_{xy} = A_4 \quad (4.7)$$

11) suma abaterilor caracteristicii față de media acesteia :

$$A_5 = \sum_1 (y_i - y_0) \quad (4.8)$$

$$B_5 = \sum_1 (x_i - x_0) \quad (4.9)$$

12) suma pătratelor abaterilor caracteristicii față de media acesteia:

$$A_6 = \sum_1 (y_i - y_0)^2 \quad (4.10)$$

$$B_6 = \sum_1 (x_i - x_0)^2 \quad (4.11)$$

13) suma pătratelor abaterilor multiplicat cu frecvența caracteristicii:

$$A_7 = \sum_1 (y_i - y_0)^2 n_{xy} \quad (4.12)$$

$$B_7 = \sum_1 (x_i - x_0)^2 n_{xy} \quad (4.13)$$

14) dispersia caracteristicii  $\sigma^2$ , este media pătratelor abaterilor pe care le înregistrează valorile caracteristicii în

comparație cu media

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum_1 (y_i - y_0)^2 n_{xy}}{\sum_1 n_{xy}} \quad (4.14)$$

și

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_1 (x_i - x_0)^2 n_{xy}}{\sum_1 n_{xy}} \quad (4.15)$$

15) abaterea medie pătratică  $\sigma$  care constituie unitatea de măsură a dispersiei, numită și abatere standard este :

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_y^2} \quad (4.16)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2} \quad (4.17)$$

Cu relațiile stabilite pot fi determinate ecuațiile dreptelor de regresie.

În general, între valorile a două variabile aleatorii se pot găsi corelații liniare sau curbilini, exponențiale, parabolice, hiperbolice, etc. Apoi între o variabilă  $y$  dependentă simultan de mai multe variabile aleatorii  $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots$  diferite ca natură, se pot stabili corelații multiple. Acesta ar fi modul cel mai cuprinzător de a raționa în cazul de față, deoarece căderea de tensiune  $\Delta U$  nu depinde unilateral (cum s-a mai spus) numai de  $j, p$  și  $v$ , ci și de alte variabile, aleatorii atât ca valoare cât și ca proveniență (temperatura patinei, grosimile și structura straturilor semiconductoare, condițiile de mediu, caracteristicile mecanice ale sistemului de contact etc). Volumul de calcule pentru o corelație multiplă devine atât de mare încât rezultatele ce s-ar obține nu îl pot justifica nici pentru un scop teoretic și cu atât mai puțin pentru unul aplicativ. În consecință, pentru scopul propus în lucrarea de față, este suficient să se caute corelația simplă între  $y$  ca funcție de  $x$ , luând ca parametru presiunea  $p$ .

Determinarea parametrilor ecuației de regresie se face pe baza metodei celor mai mici pătrate ale abaterilor valorilor caracteristicii față de dreapta de regresie.



Forma generală a ecuației drepte de regresie este:

$$y - y_0 = \int_{y|x} \cdot (x - x_0) \quad (4.18)$$

unde  $\int_{y|x}$  este coeficientul regresiei valorilor caracteristicii  $y$  în funcție de  $x$ . Coeficientul de regresie se determină cu relația /162/:

$$\int_{y|x} = r_{y|x} \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \quad (4.19)$$

în care  $r_{y|x}$  este coeficientul de corelație al variabilei  $y$  în raport cu variabila  $x$ . Coeficientul de corelație poate obține valori între  $(-1)$  și  $(+1)$ , care oferă semnificația corelației. Cu cât valoarea lui  $r_{y|x}$  este mai apropiată de  $|1|$ , cu atât corelația este mai intensă, iar la valori apropiate de zero corelația este ne semnificativă, ceea ce înseamnă că  $y$  se află în corelație cu alte variabile diferite de variabila  $x$ .

În literatură de specialitate se calculează coeficientul de corelație pe baza relațiilor (4.1) + (4.17) sub forma /162 p.643/ :

$$\frac{n_{xy} \sum_i \sum_j x_i y_j n_{xy} - (\sum_i x_i n_{xy})(\sum_i y_i n_{xy})}{\sqrt{[n_{xy} \sum_i x_i^2 n_{xy} - (\sum_i x_i n_{xy})^2][n_{xy} \sum_i y_i^2 n_{xy} - (\sum_i y_i n_{xy})^2]}} \quad (4.20)$$

Pentru operativitatea calculelor, încercăm o simplificare a relației (4.20), ținând seama de unele proprietăți ale termenilor acesteia. Astfel, din (4.1) se deduce că sumele :

$$\sum_i x_i n_{xy} \quad \text{și} \quad \sum_i y_i n_{xy}$$

pot fi substituite prin:

$$x_0 \sum n_{xy} \quad \text{și respectiv} \quad y_0 \sum n_{xy}$$

care sînt constante deoarece  $\sum n_{xy}$  reprezintă numărul total al valorilor caracteristice ( $y$  sau  $x$ ). Făcînd substituția în

(4.20) obținem:

$$r = \frac{n_{xy} \sum_{x_i} \sum_{y_i} x_i y_i n_{xy} - x_o n_{xy} \cdot y_o n_{xy}}{\sqrt{[n_{xy} \sum_{x_i} x_i^2 n_{xy} - (x_o n_{xy})^2][n_{xy} \sum_{y_i} y_i^2 n_{xy} - (y_o n_{xy})^2]}} \quad (4.21)$$

sau:

$$r = \frac{n_{xy} [\sum_{x_i} \sum_{y_i} x_i y_i n_{xy} - x_o y_o n_{xy}]}{\sqrt{n_{xy}^2 (\sum_{x_i} x_i^2 n_{xy} - x_o^2 n_{xy}) (\sum_{y_i} y_i^2 n_{xy} - y_o^2 n_{xy})}}$$

și

$$r = \frac{\sum_{x_i} \sum_{y_i} x_i y_i n_{xy} - x_o y_o n_{xy}}{\sqrt{(\sum_{x_i} x_i^2 n_{xy} - x_o^2 n_{xy}) (\sum_{y_i} y_i^2 n_{xy} - y_o^2 n_{xy})}} \quad (4.22)$$

Relația (4.22) este mai ușor de utilizat și nu duce la rezultate cu nimic diferite de relația (4.20).

Dacă însă sînt îndeplinite condițiile:

$$x_o \ll \sum_{x_i} x_i^2 n_{xy} \quad \text{și} \quad y_o \ll \sum_{y_i} y_i^2 n_{xy} \quad (4.23)$$

sub radical se pot restrînge diferențele, fără a risca o eroare mai mare (1 + 5)% a coeficientului de corelație.

Cu condițiile (4.23) relația (4.22) devine:

$$r = \frac{\sum_{x_i} \sum_{y_i} x_i y_i n_{xy} - x_o y_o n_{xy}}{\sqrt{(\sum_{x_i} (x_i - x_o)^2 n_{xy}) (\sum_{y_i} (y_i - y_o)^2 n_{xy})}} \quad (4.24)$$

Din (4.15) și (4.14) avem:

$$\sum_{x_i} (x_i - x_o)^2 n_{xy} = \sigma_x^2 \cdot n_{xy}$$

și

$$\sum_{y_i} (y_i - y_o)^2 n_{xy} = \sigma_y^2 \cdot n_{xy}$$

astfel că (4.8) devine:

$$r = \frac{\sum_{x_i} \sum_{y_i} x_i y_i n_{xy} - x_0 y_0 n_{xy}}{(\sigma_x^2 n_{xy})(\sigma_y^2 n_{xy})} \quad (4.25)$$

sau:

$$r = \frac{\sum_{x_i} \sum_{y_i} x_i y_i n_{xy} - x_0 y_0 n_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y \cdot n_{xy}} \quad (4.26)$$

relație cu care se va calcula coeficientul de corelație în cazul fiecărui tip de perie.

Pentru a observa influența presiunii periei pe colector asupra valorii medii a căderii de tensiune se face uz de funcția de distribuție normală (legea lui Gauss), normată. Legea de distribuție normală normată (numită și funcția Laplace) se determină cu variabila normată:

$$z = \frac{y - y_0}{\sigma} \quad (4.27)$$

și are forma /162, 96/ :

$$F(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad (4.28)$$

Atît calculele ecuațiilor de regresie, cît și cele ale funcției de distribuție, se vor efectua după o schemă de calcul figurată în tabele.

#### 4.5.2. CALCULUL ECUAȚIILOR DE REGRESIE ȘI FUNCȚIILOR DE DISTRIBUȚIE .

Valorile caracteristice  $x$  se împart în clase cuprinzînd fiecare o treaptă de  $1 \text{ A/cm}^2$ , iar valorile caracteristice,  $y$  se împart în clase cu domeniu astfel ales ca media domeniului să fie un număr întreg sau un număr zecimal de forma  $(\frac{2i+1}{2})$ , unde  $i$  este un număr întreg.

Pentru fiecare grup de caracteristici ale unui tip de perie, s-au considerat, la o presiune dată a periei pe colector, grupate împreună toate valorile caracteristice  $x$  și  $y$  p

tru ambele polarități.

Periile de cărbune dur (C).

Relațiile de calcul a parametrilor dreptei de regresie (4.1 + 4.17) sînt prezentate în tabelul (74) pentru presiunea de  $1,2 \text{ /N/cm}^2$ . Calculele sînt efectuate pentru valorile caracteristice  $x_i$  și ale celor corespunzătoare respectiv  $y_i$ . În tabelul (74) la intersecțiile valorilor clasei x cu cele ale valorilor clasei y sînt notate frecvențele  $r_{xy}$ .

Pe baza calculelor din tabelul (74) se determină coeficientul de corelație a lui y în funcție de x cu relația (4.26):

$$r_{y|x}^{(1,2)} = \frac{1241,5 - 7,35 \cdot 4 \cdot 40}{2,63 \cdot 1,1 \cdot 40} = 0,376$$

Dacă se utilizează relația exactă (4.20) rezultatul este 0,343. Eroarea ce apare datorită relației simplificate este numai 1,06%, ceea ce este neesențial atît pentru interpretarea semnificației coeficientului de corelație cît și pentru determinarea parametrilor ecuației de regresie.

Coeficientul de regresie (4.19) rezultă:

$$b_{y|x}^{(1,2)} = 0,376 \frac{1,10}{2,63} = 0,16$$

și cu aceasta, ecuația dreptei de regresie (4.18) este

$$y - 4 = 0,16(x - 7,35)$$

sau:

$$\underline{y_{(1,2)} = 0,16 x + 2,83} \quad \text{și} \quad \underline{\Delta U_{(1,2)} = 0,16 j + 2,83}$$

Pentru presiunea periei pe colector  $p = 2,5 \text{ /N/cm}^2$ , cu datele din tabelul (76) rezultă:

- coeficientul de corelație (4.26):

$$r_{y|x}^{(2,5)} = \frac{B_{4(76)} - x_o y_o n_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y \cdot n_{xy}} = \frac{574,5 - 6,9 \cdot 2,34 \cdot 34}{2,69 \cdot 0,863 \cdot 34} = 0,316$$

- coeficientul de regresie (4.19):

$$\rho_{y|x}^{(2,5)} = 0,316 \frac{0,863}{2,680} = 0,1014$$

- ecuația dreptei de regresie (4.18):

$$(y - y_0) = \rho_{y|x}^{(2,5)} (x - x_0)$$

$$y - 2,34 = 0,1014 (x - 6,9)$$

$$\underline{y_{(2,5)} = 0,1014 x + 1,64} \quad \text{și} \quad \underline{\Delta U_{(2,5)} = 0,1014 j + 1,64}$$

Pentru presiunea periei pe colector  $p = \sqrt{4 \text{ N/cm}^2}$ ,  
cu datele din tabelul (78) rezultă:

- coeficientul de corelație (4.26):

$$r_{y|x}^{(4)} = \frac{B_{4(78)} - x_0 y_0 n_{xy}}{\sigma_x \sigma_y n_{xy}} = \frac{355 - 6,848 \cdot 1,81 \cdot 27}{2,02 \cdot 0,665 \cdot 27} = 0,606$$

- coeficientul de regresie (4.19) :

$$\rho_{y|x}^{(4)} = 0,606 \frac{0,665}{2,02} = 0,2$$

- ecuația dreptei de regresie (4.18):

$$(y - y_0) = \rho_{y|x}^{(4)} (x - x_0)$$

$$y - 1,81 = 0,2 (x - 6,848)$$

sau

$$\underline{y_{(4)} = 0,2 x + 0,44} \quad \text{și} \quad \underline{\Delta U_{(4)} = 0,2 j + 0,44}$$

Dreptele de regresie pentru periiile de cărbune dur (C)  
sînt reprezentate în fig.4.39.

Cu datele din tabelele (75), (77) și (79) au fost determinate funcțiile de distribuție normală normată conform

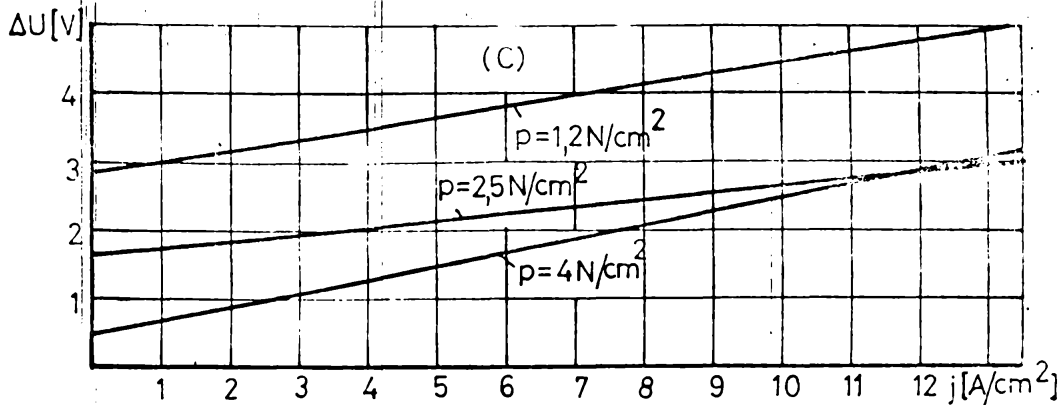


Fig. 4.39. Dreptele de regresie pentru perile (C).

relațiilor (4.27) și (4.28). Funcțiile de repartiție sînt reprezentate în fig. 4.40.

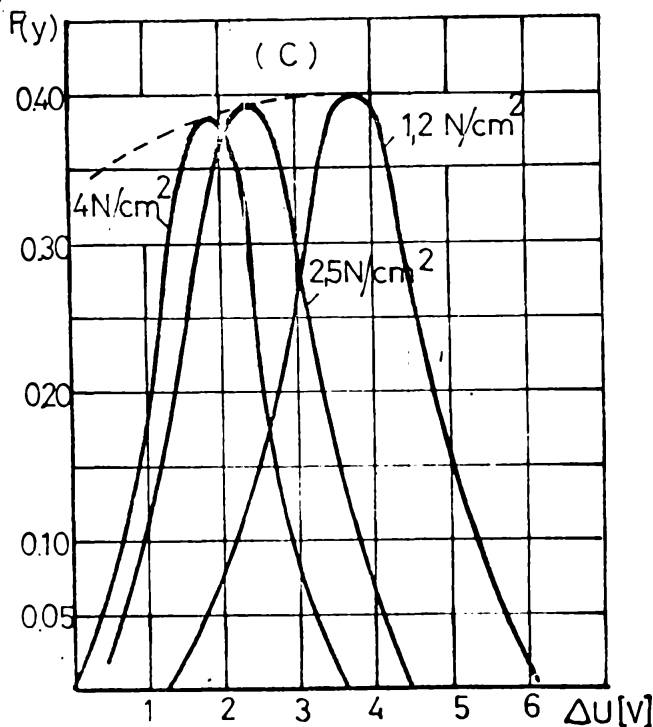


Fig. 4.40. Funcția de distribuție normală normată a caracteristicii  $\Delta U$ , la perile (C).

În fig. 4.40 în locul variabilei normate  $z$  (4.27) s-au notat valorile corespunzătoare ale căderii de tensiune  $\Delta U$  pentru a se putea aprecia direct influența presiunii periei pe colector asupra valorii medii a căderii de tensiune.

După valorile celor trei coeficienți de corelație corespunzători celor trei valori ale presiunii ( $p$ ), rezultă că numai la  $p = 4 N/cm^2$  există o corelație intensă între căderea de tensiune  $\Delta U$  și densitatea de curent  $j$ . La valorile mai mici ale apăsării periei corelația este doar satisfăcătoare, ceea ce în-

seamnă că există alți factori aleatorii care determină, în mai mare măsură, nivelul căderii de tensiune. Acest rezultat completează și confirmă interpretarea dată în paragraful (4.4.1)

caracteristicilor din fig.4.17 și fig.4.18 . Valoarea medie a căderii de tensiune la perile (C) se reduce corespunzător cu creșterile presiunii, însă după maximum curbelor de distribuție normală din fig.4.40 rezultă că nu este indicată creșterea presiunii periei pe colector peste  $2,5 \text{ N/cm}^2$  deoarece media căderilor de tensiune nu mai scade în aceeași proporție ca între  $1,2 + 2,5 \text{ N/cm}^2$  și în plus maximum probabilității de distribuție în jurul mediei scade. Din fig.4.40 rezultă că probabilitatea maximă scade aproximativ după o exponențială când apăsarea periei crește.

Periile metalografice (MG).

În mod similar cazului periiilor (C) au fost calculate, pentru periile (MG) coeficienții de corelație și parametrii ecuațiilor de regresie.

Pentru apăsarea periei cu  $2,5 \text{ N/cm}^2$ , pe baza calculurilor din tabelul (80) s-au obținut coeficientul de corelație (4.26):

$$r_{y|x}^{(2,5)} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \cdot \sigma_y \cdot n} = \frac{489 - 4,04 \cdot 2,18 \cdot 50}{2,74 \cdot 0,684 \cdot 50} = 0,522$$

și coeficientul de regresie (4.19) :

$$b_{y|x}^{(2,5)} = 0,522 \frac{0,684}{2,74} = 0,13$$

și respectiv ecuația dreptei de regresie (4.18):

$$y(2,5) = 0,13 x + 1,555 \quad \text{și} \quad \Delta U_{(2,5)} = 0,13 \cdot j + 1,555$$

Funcția de distribuție normală normală este calculată în tabelul (81).

Pentru apăsarea periiilor (MG) pe colector cu  $4 \text{ N/cm}^2$  coeficientul de corelație și ecuația dreptei de regresie s-au calculat în tabelul (82) obținându-se :

$$r_{y|x}^{(4)} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \cdot \sigma_y \cdot n} = \frac{519 - 5 \cdot 2,19 \cdot 42}{3,06 \cdot 0,55 \cdot 42} = 0,523$$

$$b_{y|x}^{(4)} = 0,523 \frac{0,55}{3,06} = 0,094$$

și respectiv ecuația dreptei de regresie :

$$(y - y_0) = \int_{y|x} (x - x_0) \quad (4)$$

și

$$y_{(4)} = 0,094 x + 1,72 \quad \text{și} \quad \Delta U_{(4)} = 0,094 j + 1,72$$

Cele două drepte de regresie pentru perilele (MG) sînt reprezentate în fig.4.41.

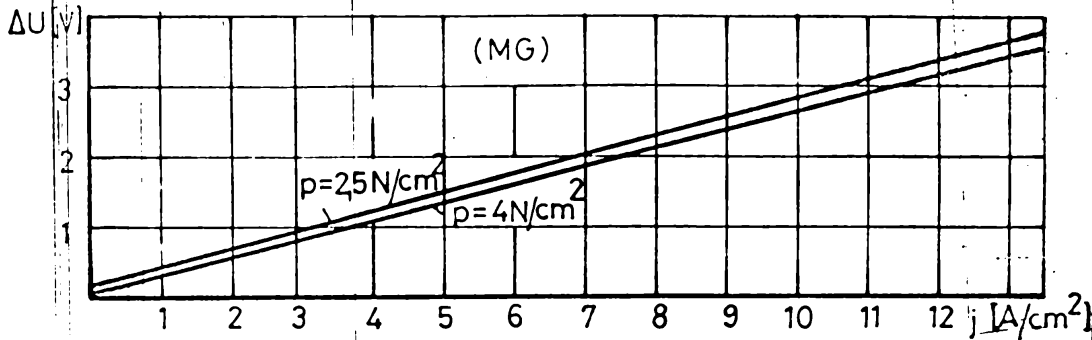


Fig.4.41. Dreptele de regresie pentru perilele (MG) .

Pentru apăsarea periei cu 4 /N/cm<sup>2</sup>/ s-a calculat în tabelul (83) funcția de distribuție normală normată, reprezentată în

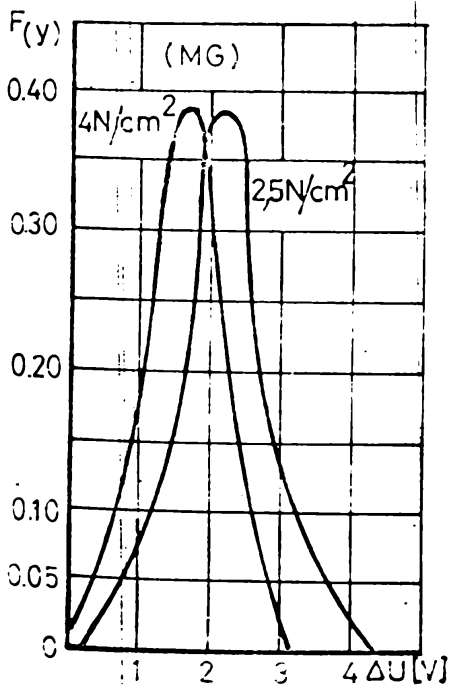


Fig.4.42. Funcția de distribuție normală normată a căderii de tensiune ΔU, la perilele (MG).

fig.4.42 împreună cu aceeași funcție calculată în tabelul (81) pentru 2,5 /N/cm<sup>2</sup>/ . Atît din poziția dreptelor de regresie cît și din curbele de distribuție din fig.4.46 se deduce că prin creșterea apăsării de la 2,5 la 4 /N/cm<sup>2</sup>/, la perilele (MG) nu apar modificări favorabile nici asupra scăderii valorii medii a căderilor de tensiune și nici asupra naturii conducției. Coeficienții de corelație semnifică o strînsă dependență liniară între ΔU și j, ceea ce concordă cu interpretarea dată în paragraful (4.4.2), ea fiind o consecință a faptului că pre-



domină conducția prin fritinguri A și B. Același fapt este confirmat și de independența corelației de parametrul  $(p)$  din fig. 4.42.

### Periile electrografitice (EG).

Pentru cele trei valori ale apăsării periei pe colector au fost efectuate aceleași calcule ca și în cazurile precedente.

Pentru  $1,2 \text{ N/cm}^2$ , schema de calcul este în tabelul (84), după care s-a obținut:

- coeficientul de corelație (4.26):

$$r_{y|x}^{(1,2)} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{654,5 - 6 \cdot 2,879 \cdot 0,36}{2,75 \cdot 0,462 \cdot 0,36} = 0,716$$

- coeficientul de regresie (4.19):

$$\rho_{y|x}^{(1,2)} = 0,716 \frac{0,462}{2,75} = 0,12$$

- ecuația dreptei de regresie (4.18):

$$(y - y_0) = \rho_{y|x}^{(1,2)} (x - x_0)$$

și

$$y - 2,88 = 0,12 x - 0,12 \cdot 6$$

sau

$$\underline{y_{(1,2)} = 0,12 x + 2,16} \quad \text{și} \quad \underline{\Delta U_{(1,2)} = 0,12j + 2,16}$$

Pentru  $2,5 \text{ N/cm}^2$  după calculele din tabelul (86) s-a obținut:

$$r_{y|x}^{(2,5)} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{744 - 6 \cdot 94 \cdot 2,16 \cdot 0,47}{2,57 \cdot 0,74 \cdot 0,47} = 0,442$$

$$\rho_{y|x}^{(2,5)} = 0,442 \frac{0,74}{2,57} = 0,13$$

respectiv ecuația dreptei de regresie  $(y - y_0) = \rho_{y|x}^{(2,5)} (x - x_0)$

sau:

$$\underline{y_{(2,5)} = 0,13x + 1,26} \quad \text{sau} \quad \underline{\Delta U_{(2,5)} = 0,13j + 1,26}$$

Pentru  $4/N/cm^2$ , cu datele din tabelul (88) avem:

$$r_{y|x} = \frac{A_{4(88)} - x_0 y_0 n_{xy}}{\sigma_x \sigma_y n_{xy}} = \frac{632,5 - 7,2 \cdot 22 \cdot 38}{2,85 \cdot 0,65 \cdot 38} = 0,6$$

$$\rho_{y|x} = 0,6 \frac{0,65}{2,85} = 0,14$$

respectiv ecuația dreptei de regresie  $(y - y_0) = \rho_{y|x} (x - x_0)$  și

$$y - 2,22 = 0,14 \cdot x - 0,14 \cdot 7$$

respectiv:

$$\underline{y_{(4)} = 0,14 x + 1,24} \quad \text{sau} \quad \underline{\Delta U_{(4)} = 0,14 j + 1,24}$$

Dreptele de regresie corespunzătoare celor trei ecuații obținute sînt reprezentate în fig.4.43, din care se observă că între  $2,5$  și  $4/N/cm^2$  are loc o schimbare esențială în însăși natura conducției, dreapta pentru  $p=4/N/cm^2$  fiind situată mai sus decît cea pentru  $p = 2,5/N/cm^2$ .

Pentru aceleași trei valori ale presiunii periei

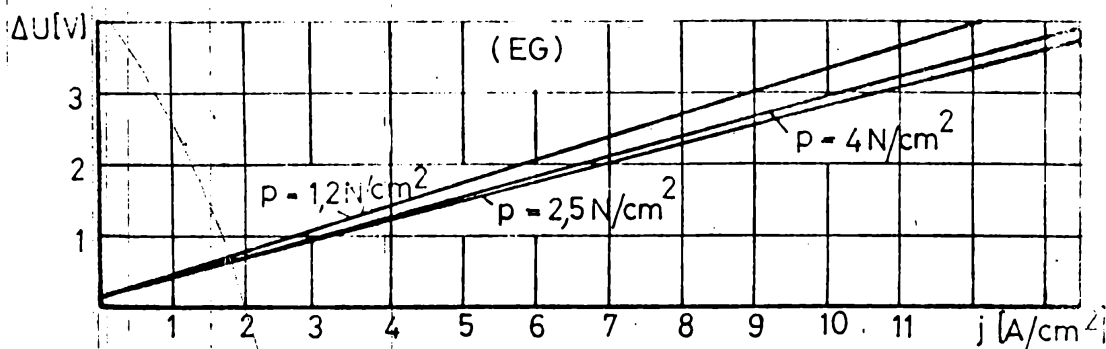


Fig.4.43. Dreptele de regresie pentru periele (EG).

colector au fost calculate funcțiile de distribuție ale căderilor de tensiune din tabelul (85), (87) și respectiv (89) reprezentate în fig.4.44. Rezultatele obținute arată că distribuția valorilor caracteristicii crește cînd presiunea crește. Prin urmare asupra căderii de tensiune acționează și alți factori pe lângă densitatea de curent. Creșterea presiunii pe colector, peste  $2,5/N/cm^2$ , nu modifică cu nimic media căderilor de tensiune, sau chiar mai mult, apare o tendință a

creșterii căderilor de tensiune la aceeași densitate de curent

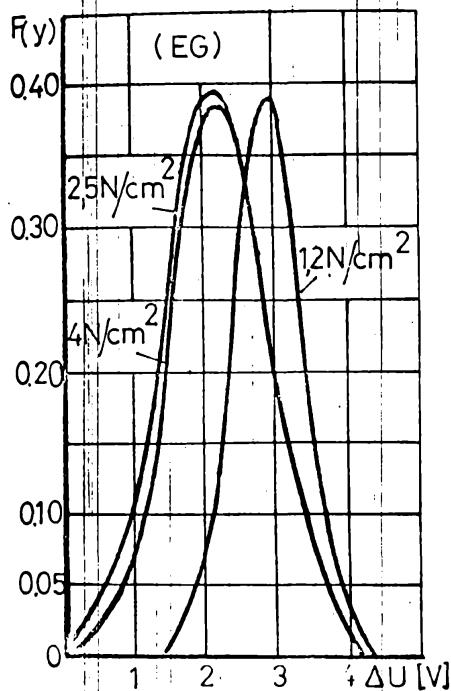


Fig.4.44. Funcția de distribuție normală normată a căderii de tensiune la periele (EG).

(dreapta 3 din fig.4.43 și curba 3 din fig.4.44). Faptul că rezistența de strangulare  $R_S$  (relația 1.8) nu se micșorează, dar se menține corelația de proporționalitate între  $\Delta U$  și  $j$  (fig. 4.43) când apăsarea periei crește de la 2,5 la 4  $\text{N/cm}^2$ , denotă că nu se intensifică fritingurile ci mai degrabă peste conducția prin friting se suprapune conducția tunel. Există o tendință de creștere a ponderii fritingurilor A față de B, de unde o ușoară creștere a căderilor de tensiune. Periile (EG) prezintă o funcționare cu căderi de tensiune minime și stabilitate maximă a contactului între 2-2,2  $\text{N/cm}^2$ . Aceste concluzii concordă cu ce-

le deduse la interpretarea directă a caracteristicilor statice (paragraful 4.4.2).

#### 4.6. CONCLUZII

Cercetările experimentale efectuate asupra contactului glisant perie-colector lamelat, au sosit în evidență unele particularități ale acestui contact în raport cu cazul unui inel colector. Considerînd mereu ca termen de referință contactul între perie și inel, pe baza rezultatelor experimentale obținute, se pot desprinde principalele concluzii:

1. la mașinile electrice cu colector este cu atât mai necesară rodarea periiilor pe colector și formarea patinei, cu cît mașina este de putere mai mare;

2. alegerea sortului de perie pentru condiții date de funcționare trebuie să se facă cu o instalație destinată special acestui scop, capabilă să reproducă condițiile reale de funcționare a contactului periei cu colectorul;

3. caracteristicile statice  $\Delta U=f(j)$  la parametri dați p și v, corelate cu caracteristicile  $\Delta U=F(v)$  și  $\mu=f(j)$  constituie o bază reală de cunoaștere a comportării contactului glisant p-c și pot servi ca mijloace ale metodei de selecționare a periiilor pentru o mașină electrică dată.

4. corelația dintre căderea de tensiune pe contact și densitatea de curent, analizată prin metode statistico-matematice completează în mod util mijloacele de interpretare a caracteristicilor contactului glisant p-c;

5. se știe /52/ că dacă perile de cărbune glisază pe un colector confecționat din același material ca și peria, căderea de tensiune U, pe contactul p-c, variază cu densitatea de curent j direct proporțional. Faptul că la contactul între perii de cărbune și colectoare metalice  $\Delta U$  variază cu j după o curbă cu punct de inflexiune cum sînt caracteristicile din paragraful (4.4.1) este o consecință a existenței patinei și a efectelor hidrodinamice ale stratului de aer dintre elementele contactului p-c;

6. influența stratului de aer asupra căderii de tensiune la contactul p-c depinde de viteza periferică (paragraful 4.4.2) și de presiunea periei pe colector;

7. densitatea de curent are efecte lubrifiante asupra contactului p-c și prezintă o valoare optimă la care funcționarea contactului este cea mai stabilă și uzura periei este minimă. Aceasta rezultă din interpretarea caracteristicilor de la punctele 3) și 4).

CAPITOLUL V

CONTACTUL p-c IN CIRCUITUL  
DE COMUTATIE.

Pentru reproducerea procesului de comutație a unei mașini de curent continuu, s-a utilizat colectorul cu lamele izolate, avînd traversa "b" montată în poziția "1" ca în fig.3.12, iar între periile de pe inelele colectoare I și II (fig.3.06) s-a conectat un circuit R-L cu parametri reglabili.

Intre bornele (1) și (2), din fig.3.12, a fost conectată bucla de tensiune a unui oscilograf mecanic, iar la bornele rezistenței R, bucla de curent.

Mărimea prin care contactul p-c intervine în procesul de comutație, este rezistența de contact  $R_c$ . Deoarece valorile acestei rezistențe variază, pentru aceeași perie, în timpul funcționării mașinii, între o limită maximă și una minimă, trebuie să se considere ca valoare medie, aceea determinată prin calcule statistico-matematice.

Pentru periile încercate, pe baza datelor din tabelele nr.74-89, valoarea medie a rezistenței de contact se poate determina cu relația:

$$R_c = \frac{y_0}{2x_0} \quad (5.1)$$

Centralizînd datele de calcul pentru toate periile, la diferite valori ale presiunii periei pe colector, se obțin valorile corespunzătoare ale rezistențelor medii de contact, ca în tabelul (90).

Din rezultatele calculelor, se poate deduce influența presiunii periei pe colector asupra rezistenței de contact. Este de remarcă că deși cu creșterea presiunii periei pe colector rezistența de contact scade, în mod diferit la sorturi diferite de perii, la o creștere a apăsării peste limita de menținere a patinei, rezistența de contact începe să crească (cazul periiilor EG la  $4/N/cm^2$ ).

Variațiile rezistenței de contact între limita minimă și maximă, produc variații ale curentului în funcție de timp, în circuitul care comută (frecvent observate pe oscilograf).

Tabelul nr.90

Tipul periei	p N/cm <sup>2</sup>	tabel nr.	y <sub>0</sub>	x <sub>0</sub>	Rc <sub>min</sub> Ω	$\frac{\Delta Rc}{Rc} 100$ %	Rc %	Rc <sub>med</sub> Ω <sub>min</sub>	Rc <sub>med</sub> Ω <sub>max</sub>
C	1,2	74	4	7,35	0,272	0	100		
	2,5	76	2,34	6,900	0,170	37,2	62,8	0,14	0,37
	4	78	1,81	6,848	0,132	51,5	48,5		
MG	2,5	80	2,18	4,040	0,270	0	100	0,2	0,45
	4	82	2,19	5,000	0,219	19	81		
EG	1,2	84	2,879	6,000	0,240	0	100		
	2,5	86	2,16	6,940	0,156	35	65	0,1	0,3
	4	88	2,22	7,000	0,158	34	66		

Pe de altă parte, fiind cunoscute limitele rezistenței de contact, pot fi determinate unele influențe ale contactului p-c asupra comutației.

### 5.1. REALIZAREA COMUTAȚIEI CU UN CIRCUIT R-L.

Pentru verificarea experimentală a limitelor pînă la care se realizează comutația fără scînteii, se utilizează instalația cu colectorul cu lamele izolate, avînd traversa "b" în poziția "1" ca în fig.3.12, în două situații diferite, după cum se caută experimentarea a două perii de polarități diferite sau numai a unei perii de o polaritate oarecare.

Pentru cazul montării pe colector a două perii de polarități diferite (fig.3.12) se poate stabili o schemă electrică ca aceea din fig.5.01. Considerînd că peria anodică calcă pe lamela 1 și 2, s-a notat cu  $r_{e1}$  rezistența de contact între perie și lamela 1 și cu  $r_{i2}$  rezistența de contact între perie și lamela 2. Cu  $R_{I'}$  și  $R_{I''}$  s-au notat cele două părți ale inelului I cuprinse între peria ce face contact cu acest inel și legătura acestuia cu lamela 1. La fel s-au notat cu  $R_{II'}$  și  $R_{II''}$  sectoarele inelului II. Cu  $R_0$  s-a notat rezistența de contact între perie și inel. Similar cu peria anodică, s-au notat cu  $r_{i15}$  și  $r_{e14}$  rezistența de contact la intrarea periei catodice pe lamela 15 și respectiv cea a ieșirii periei de pe lamela 14. Schema echivalen-

tă poate fi simplificată considerînd  $R_I$  și  $R_{II}$  nule.

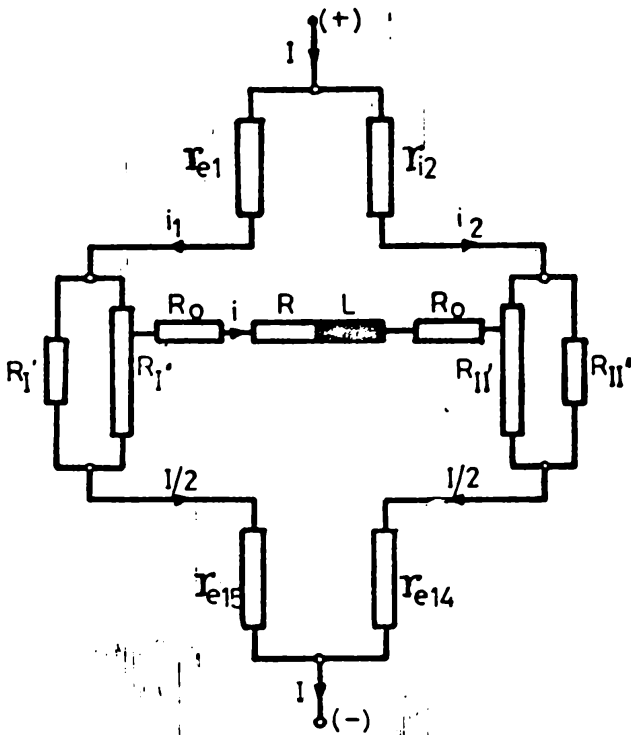


Fig.5.01. Schema electrică echivalentă a colectorului cu două perii în circuitul de comutație .

bil în sensul indicat de săgeată. Când  $r_{e1} \gg r_{i2}$  și  $r_{e14} \gg r_{i15}$ , curentul va trece invers, variînd astfel într-o perioadă între  $(+\frac{I}{2})$  și  $(-\frac{I}{2})$ , cu trecere prin zero la  $r_{e1} = r_{i2}$  (cînd și  $r_{e14} = r_{i15}$ ).

În schema din fig.5.02, cînd peria face contact numai lamela "1", prin circuitul R-L trece curentul  $i$ , în sensul indicat de săgeată, iar cînd se realizează contactul cu lamela "2", sensul curentului va fi invers, adică de la (2) spre (1). Pentru ca schema din fig.5.02 să funcționeze similar celei din fig.5.01, este necesară condiția  $R_1 = R_2 \gg R$ .

Notînd în fig.5.01 :

$$r_{e1} = r_1$$

și

$$r_{i2} = r_2$$

(5.1)

circuitul comutabil se reduce la cazul celui din fig.5.02, dar

În cazul comutabilului sub o singură perie, este necesar să se conecteze în derivație cu circuitul comutabil, un circuit rezistiv cu rezistență mediană, menit să muleze cea de a doua perie (ex. rezistențele  $r_{i15}$  și  $r_{e14}$  din fig. 5.01), ca în fig.5.02.

În fig.5.02 s-a notat cu  $r_1$  rezistența de contact între perie și lamela "1" și respectiv cu  $r_2$  rezistența de contact între perie și lamela "2".

Din fig.5.01 se constată că dacă  $r_{e1} \gg r_{i2}$  și  $r_{e14} \gg r_{i15}$ , și curentul va trece prin circuitul comutabil

$R_0$  se consideră nulă.

Circuitul care comută este parcurs, într-o perioadă de comutație, de un curent care variază corespunzător comutației unei bobine din mașina de curent continuu, în absența t.e.m. de rotație.

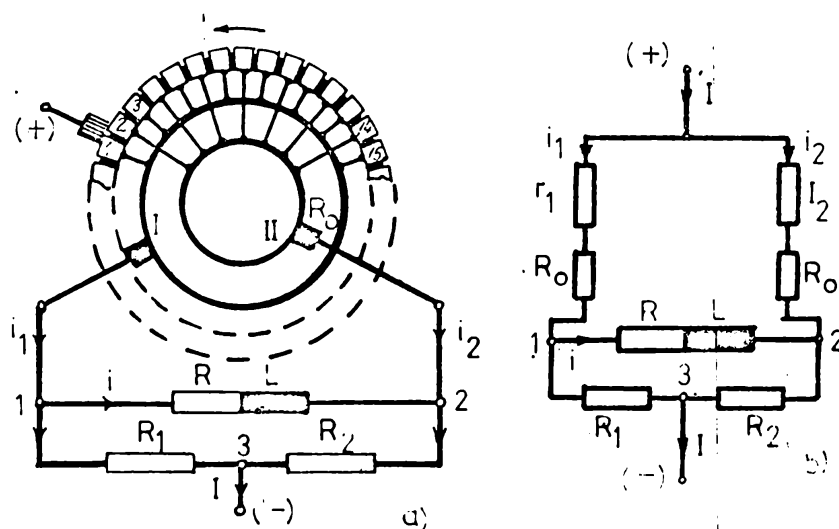


Fig.5.02.a) Schema de comutare cu o singură perie;  
b) Schema electrică echivalentă a sistemului de comutare cu o singură perie.

În cazul comutației cu două perii de polarități diferite, fig.5.01, pentru circuitul închis ( $r_{e1} \rightarrow R_0 \rightarrow R \rightarrow L \rightarrow R_0 \rightarrow r_{e2}$ ), obținem ecuația curentului din circuitul comutabil, sub forma:

$$r_1 i_1 + (R + 2R_0) i - r_2 i_2 = -L \frac{di}{dt} \quad (5.2)$$

Dacă se notează:  $T$  - perioada de comutație

$b$  - lățimea lamelei

$r = R_c$  - rezistența de contact între perie și lamelă

se obțin rezistențele  $r_1$  și  $r_2$  sub forma cunoscută de la teoria comutației mașinii de curent continuu /40, 59, 101, 169/, cu condiția invarianței rezistivității contactului:

$$r_1 = r \frac{T}{T-t} \quad (5.3)$$

$$r_2 = r \frac{T}{t}$$



și cum:

$$i_1 = \frac{I}{2} + i$$

$$i_2 = \frac{I}{2} - i$$

ecuația (5. ) devine:

$$L \frac{di}{dt} + (R+2R_0)i + r_1 i_1 - r_2 i_2 = 0 \quad (5.4)$$

sau

$$L \frac{di}{dt} + \left[ (R+2R_0) + r \left( \frac{T}{T-t} + \frac{T}{t} \right) \right] i = r \left( \frac{T}{t} - \frac{T}{T-t} \right) \frac{I}{2} \quad (5.5)$$

Ecuația diferențială (5.5) se reduce la o ecuația algebrică, pentru  $L=0$ , a cărei soluție este:

$$i = \frac{I}{2} \frac{1 - 2 \frac{t}{T}}{R + 2R_0 + \frac{r}{1 - \frac{t}{T}} \frac{t}{T}} \quad (5.6)$$

Dacă se neglijează  $(R+2R_0)$  în raport cu rezistența de contact  $r$  a periei cu colectorul, soluția (5.6) corespunde comutației liniare, curentul variind liniar cu perioada  $T$ , de la  $(I/2)$  la  $(-I/2)$ .

În cazul comutației cu o singură perie, fig.5.02, pentru circuitul închis ( $r_1 \rightarrow R_0 \rightarrow R \rightarrow L \rightarrow R_0 \rightarrow r_2$ ), care comută, ecuația curentului se reduce de asemenea la forma (5.5), deoarece:

$$L \frac{di}{dt} + R_1 + (i_1 - i_2)R_0 + r_1 i_1 - r_2 i_2 = 0 \quad (5.7)$$

dar:

$$i_1 - i_2 = 2i$$

și se obține:

$$L \frac{di}{dt} + \left[ (R + 2R_0) + r \left( \frac{T}{T-t} + \frac{T}{t} \right) \right] i = r \left( \frac{T}{t} - \frac{T}{T-t} \right) \frac{I}{2} \quad (5.8)$$

care pentru  $L=0$ , are soluția (5.5), proprie variației curentului la comutația de rezistență /40 p.440/.

Dacă  $2R_0 \ll R$ , ceea ce este ușor realizabil în cazul de față, se obține soluția identică celei de la mașina de curent

continuu /40, 59, 101, 169/. Această condiție poate fi realizată prin adaptarea periiilor de pe inele, de dimensiuni corespunzătoare pentru ca densitatea de curent să fie neglija-bilă. De fapt rezistența  $R_0$ , este caracterizată, sub aspectul conducției electrice, prin aceleași particularități ca și rezistența  $r = R_c$  a contactului dintre periiile de cărbune și colectorul cu lamele. În raport însă cu  $r$ , rezistența  $R_0$  de contact între periiile de cupru grafitat și inel, poate fi considerată constantă (nu depinde de viteza periferică la colector iar densitatea de curent este foarte mică).

### 5.1.1. INFLUENȚA CONTACTULUI p-c ASUPRA COMUTAȚIEI DE REZISTENȚA .

Importanța soluției (5.6) constă în posibilitatea de verificare, prin calcul și experimental, a influenței rezistenței de contact  $r$  asupra abaterii curbei de comutație, față de comutația liniară.

Abaterea de la comutația liniară este determinată de valoarea raportului  $R/r$ , când  $R_0=0$  și  $L=0$ . Din tabelul nr. 90 se deduce că limitele rezistenței de contact  $r$  sînt:

$$\begin{aligned} R_{c \text{ med}}^{\min} &= r_{\min} = 0,1 \quad / \Omega / \\ \text{și} & \\ R_{c \text{ med}}^{\max} &= r_{\max} = 0,5 \quad / \Omega / \end{aligned} \quad (5.9)$$

Dacă se admite pentru rezistența  $R$ , a circuitului comutabil, limitele  $R=0,1 / \Omega /$ , în cazul mașinilor de puteri mici și respectiv  $R = 0,01 / \Omega /$  în cazul mașinilor de puteri mari, raportul  $R/r$  va fi cuprins între limitele  $(0,02 + 1)$ .

Pentru domeniul de variație a raportului  $R/r$ , ridicînd chiar limita superioară pînă la 3,33, s-a obținut rezultatul din fig.5.03. De aici se poate deduce valoarea corespunzătoare a rezistenței de contact  $r$ , ca să se evite variația bruscă a curentului la marginea de intrare și respectiv de ieșire a lamelei, deci să se evite scînteierea /97, 169/. Se constată că încă la o valoare a raportului egală cu  $R/r = 1/3$ , variația curentului, la finele perioadei de comutație, nu este periculoasă. Pentru valori ale raportului  $R/r \gg 1$ , se

obțin scânteieri cu atât mai intense cu cât valoarea raportului este mai mare /169 rel. 569, 574 și fig. 337.c/.

Pentru alegerea periei potrivite comutării unui circuit dat, este util să se urmărească comportarea mai multor sorturi de perii în cazul unui raport  $R/r$  egal sau mai mare ca unitatea.

Cele trei sorturi de perii, cercetate în lucrarea de față, au fost puse în situația de a comuta un circuit ohmic, format dintr-o rezistență  $R = 0,75 \text{ } \Omega$ , la  $p$  și  $v$  date. Fiecare perie a fost apăsată pe colector cu o presiune de  $2,5 \text{ } \text{N/cm}^2$ , la o densitate de curent  $j = 8 \text{ } \text{A/cm}^2$ .

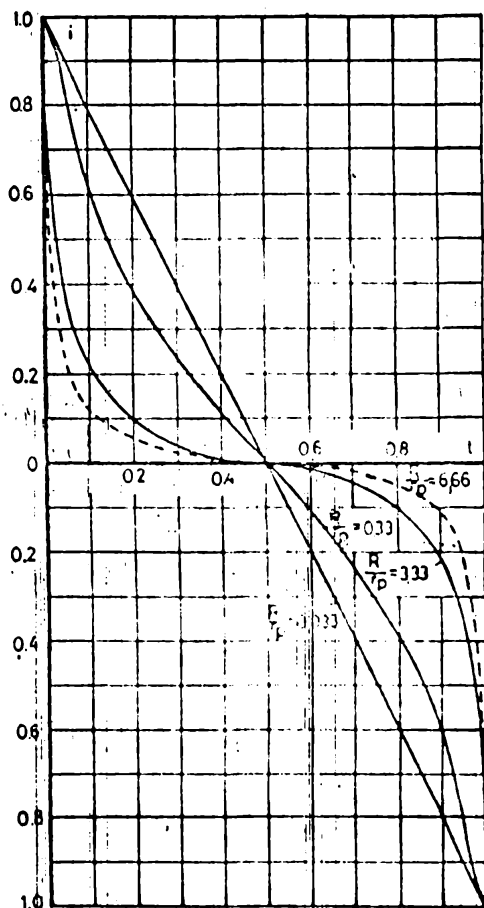


Fig. 5.03. Curbele  $i=f(t)$  la comutația circuitului ohmic.

S-au înregistrat scânteieri peste gradul 1, deși rezistenței  $R$  i s-a mai adăugat pe lângă  $R_0$  și cele datorate contactelor de la locurile de conexiune.

Pentru periele (C), în aceleași condiții de încercare, s-a obținut oscilograma  $i=f(t)$ , din fig. 5.04. Raportul

Cu o bază de timp de  $20 \text{ } \mu\text{s}$ , s-au înregistrat curbele  $i=f(t)$  pentru fiecare sort de perie.

Pentru periele (C) oscilograma  $i=f(t)$  s-a înregistrat corespunzător unei alimentări de la un generator de c.c. (fig. 5.04.a) și respectiv de la un acumulator de  $12 \text{ V}$  (fig. 5.04.b).

Cu datele din tabelul nr. 90 se obține  $R/r = 2 \div 5$  (media  $3,5$ ). Se observă că influența sursei asupra formei curbei  $i=f(t)$  nu este esențială. Variația curentului este foarte apropiată de cea a comutației liniare. Nu

$R/r = 1,67 + 3,75$  (media 2,71), cu datele din tabelul nr. 90 și  $R = 0,75 \text{ } \Omega$ , constituie, teoretic, un caz mai apropiat de comutația liniară.

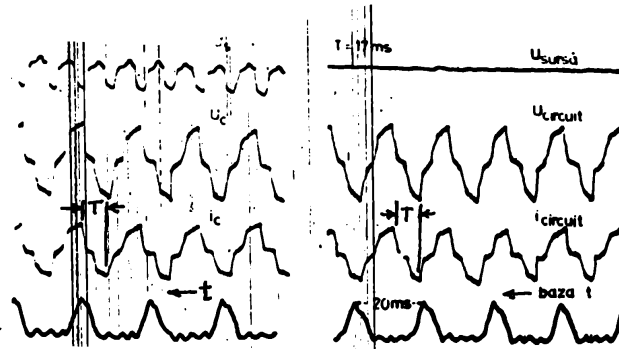


Fig.5.04.Oscilograma  $i=f(t)$  la comutarea unui circuit ohmic cu perii (C). Alimentarea de la un : a)- generator de c.c.; b)-acumulator.

făcut înregistrarea. La viteze periferice mai mari, rezistența de contact a periiilor (C) este mai mică decât a periiilor

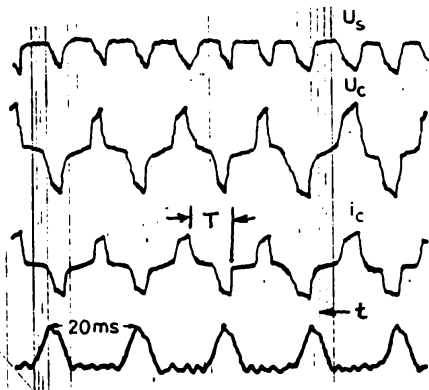


Fig.5.05.Oscilograma  $i=f(t)$  la comutarea unui circuit ohmic cu perii (MG).

care, trecerea prin zero a curentului, acesta saltă brusc la valoarea opusă celei de la începutul comutației. Conform relației (5.6) și fig.5.03, rezultă că forma de variație a curentului este determinată de o creștere accentuată a rezistenței de contact la muchia de ieșire și respectiv de scădere mare a rezistenței de contact la muchia de intrare.

Variația curentului comutabil se abate mai mult de la comutația liniară, decât în cazul precedent, deși valoarea medie a rezistenței de contact a periiilor (MG) este mai mare. Cauză o constituie comportarea diferită a celor două tipuri de perii la viteza periferică foarte mică, la care s-a făcut înregistrarea. La viteze periferice mai mari, rezistența de contact a periiilor (MG), cum s-a constatat în cap.IV. La periiile (MG) se constată scânteieri de gradul  $1 + 1\frac{1}{2}$  încă la densități mici de curent.

Pentru ambele tipuri de perii este semnificativ că în prima jumătate a perioadei de comutație are loc o întârziere a comutației, după

Pentru periile electrografitice (EG), în aceleași condiții de încercare s-au obținut  $i=f(t)$  ca în fig. 5.06. Se

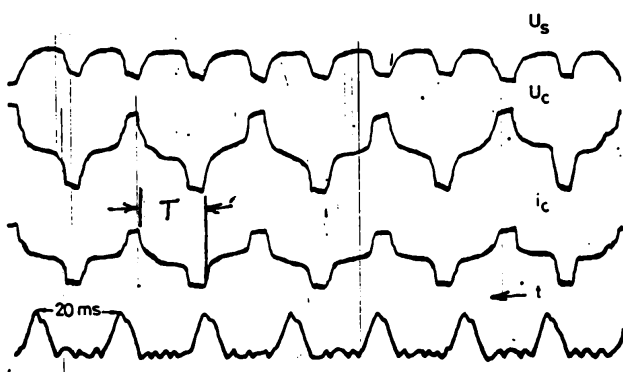


Fig.5.06. Oscilograma  $i=f(t)$  la comutarea unui circuit ohmic, cu perii (EG).

constată că și în acest caz se menține aceeași influență a contactului asupra comutației, ca și în celelalte două cazuri, deși  $R/r = 2,5 \div 7,5$  (media 5)..

Spre deosebire de periile (C) și (EG), se constată la periile metalografitice, înrăutățirea spontană a contactului care determină apariția scînteilor sub mușchia de ieșire a periei.

ca în fig.5.07. Datorită scînteierii intense, se deteriorează suprafața de contact a periilor,

iar pe marginile de ieșire ale lamelor apar fîșii, de cîtiva milimetrii lățime, pe care patina practic se evaporază lăsînd suprafața metalică descoperită.

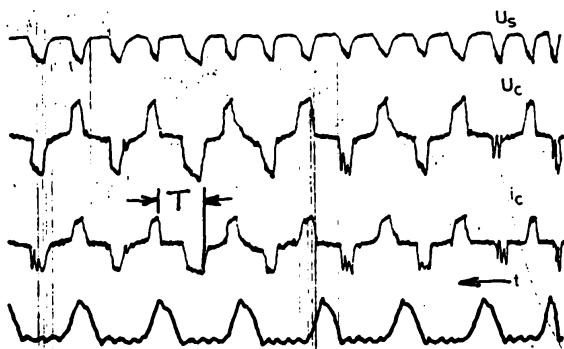


Fig.5.07. Oscilograma  $i=f(t)$ , la comutarea cu scînteii a unui circuit ohmic, de către perii (MG).

În concluzie, la comutația de rezistență cu parametrii dați ai circuitului comutabil, cea mai bună comportare o au periile (C) și (EG), pentru care variația curentului în timp ( $\frac{di}{dt}$ ), atît la începutul cît și la fine-

le comutației este mai lentă.

Pentru a se observa influența raportului  $R/r$  asupra comutației, s-a luat  $R = 1,75 \text{ } \Omega$ . Pentru periile (C) și (EG), raportul  $R/r$  variază între limitele  $4,73 \div 12,5$  (media 8,61) și respectiv  $5,83 \div 17,5$  (media 11,66). De asemenea s-a mărit viteza periferică la colector, deci perioada de comutație s-a

redus la  $T = 11 \text{ /ms/}$ , adică corespunzător valorilor uzuale ( $1 \div 10 \text{ ms}$ ) pentru mașinile electrice de curent continuu.

Se remarcă faptul, cu totul deosebit, că deși la începutul și la finele comutației, are loc variația aproape instantanee a curentului, totuși nu apar scântei nici la perile (C) și nici la (EG).

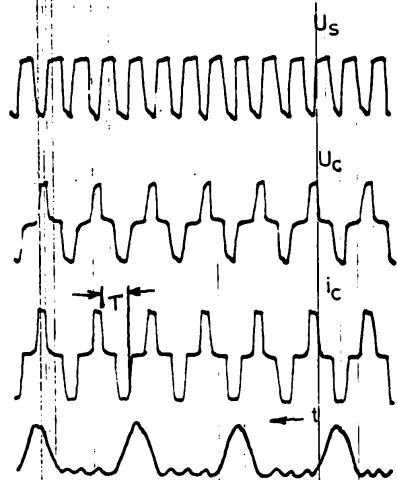


Fig.5.08. Oscilograma  $i=f(t)$ , la comutația de rezistență ( $R/r = 8,61$ ,  $T=11 \text{ ms}$ ), cu perii C.

constatări se extind pînă la turații de  $2000 \div 24000 \text{ /rpm/}$ , respectiv perioade de comutație de  $0,5 \div 0,4 \text{ /ms/}$ . Peste această limită, apar scântei datorită înrăutățirii contactului p-c,

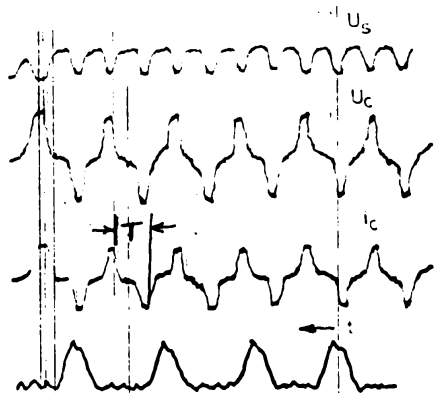


Fig.5.09. Oscilograma  $i=f(t)$ , la comutația de rezistență ( $R/r = 11,66$ ,  $T=11 \text{ ms}$ ), cu perii (EG).

Pentru perile (C), oscilograma  $i=f(t)$  din fig. 5.08, înregistrată pentru  $R=1,75 \text{ /}\Omega \text{/}$  și respectiv  $R/r = 8,61$  (media), la  $T = 11 \text{ /ms/}$ , indică variații  $\frac{di}{dt}$  foarte mari. Totuși la comutația de rezistență, panta  $\frac{di}{dt}$  a curentului de comutație  $i=f(t)$ , în momentul închiderii și respectiv deschiderii contactului dintre perie și lamelă, nu determină apariția scântei. Valabilitatea acestei constatări se extinde pînă la turații de  $2000 \div 24000 \text{ /rpm/}$ , respectiv perioade de comutație de  $0,5 \div 0,4 \text{ /ms/}$ . Peste această limită, apar scântei datorită înrăutățirii contactului p-c, cît și faptului că se manifestă inductivități parazite, ale cablurilor de legătură din circuit, în cît se obține un produs ( $L_0 \frac{di}{dt}$ ) diferit de zero. Această tensiune de autoinducție, respectiv energia electromagnetică înmagazinată în circuit, constituie încă o cauză a apariției scânteiilor.

Pentru perile (EG), fig.5.09 se obțin rezultate asemănătoare, cu ob-

servația că trecerea prin zero a curentului din circuitul comutabil are tendința să se producă prin inflexiune (corespunzător curbelor teoretice din fig.5.03) și nu prin salturi deși raportul  $R/r$  este sensibil mai mare decât la periile (C). Diferențele sînt însă neesențiale.

La periile (MG), contactul devine cu atît mai instabil cu cît raportul  $R/r$  este mai mare deea ce a determinat eliminarea acestora din condiția de încercare.

În concluzie, utilitatea încercării periilor la comutația de rezistență, constă în posibilitatea determinării limitei superioare a raportului  $R/r$  și a vitezei periferice pînă la care este posibilă comutația fără scînteii. Acest criteriu este recomandabil a fi utilizat în cazul alegerii periilor pentru mașini electrice, cu spire puține în bobina care comută (deci cu  $L$  mic), ca o etapă premergătoare determinării capacității de comutație a circuitului inductiv.

### 5.1.2. INFLUENȚA CONTACTULUI p-c ASUPRA COMUTAȚIEI CIRCUITULUI INDUCTIV

Dacă se reia ecuația (5.5) cu condiția:

$$R_0 = 0$$

și se efectuează schimbarea de variabilă:

$$\frac{t}{T} = x$$

rezultă:

$$-\frac{di}{dt} + \left[ \frac{R}{L} + T \frac{r}{L} \left( \frac{1}{x} + \frac{1}{1-x} \right) \right] i = T \frac{r}{L} \left( \frac{1}{x} - \frac{1}{1-x} \right) \frac{I}{2} \quad (5.10)$$

Rezolvarea ecuației diferențiale (de gradul întâi, cu coeficienți variabili), (5.10), nu prezintă interes pentru variația curentului în circuitul care comută și nici pentru cunoașterea variației în timp a acestui curent. Ca urmare, în literatura de specialitate /6, 7, 40, 59, 71, 86, 89, 90, 101, 119, 129, 159, 168, 169, 204/, nu se caută rezolvarea ecuației cît mai ales factorii ce decurg din interpretarea acesteia și care pot elucida valoarea, la limită, a tensiunii ce apare, între marginea de ieșire a periei și cea a lamelei, la

deschiderea contactului dintre ele. Această limită se referă la t.e.m. indusă în câmpul propriu, în bobina care comută și este condiționată de parametrii circuitului care comută și de rezistența de contact dintre perie și colector /59 ec.8.16 și 169 ec. 577/.

Scriind ecuația (5.3) pentru  $R_0=0$ , sub forma:

$$rT \left( \frac{\frac{I}{2} + i}{T - t} \right) + Ri - \frac{rT}{t} \left( \frac{I}{2} - i \right) = -L \frac{di}{dt} \quad (5.11)$$

și ținând seamă că la  $t = T$  avem

$$i = -\frac{I}{2} \quad (5.11.a)$$

și

$$\lim_{t \rightarrow T} \frac{\frac{I}{2} + i}{T - t} = -\frac{di}{dt} \quad (\text{conform cu 168 fig.338}) \quad (5.11.b)$$

se obține:

$$-rT \frac{di}{dt} - (R+2r) \frac{I}{2} = -L \frac{di}{dt} \quad (5.12)$$

sau:

$$-L \frac{di}{dt} \left( T \frac{r}{L} - 1 \right) = (R + 2r) \frac{I}{2} \quad (5.13)$$

de unde :

$$\lim_{t \rightarrow T} \left( -L \frac{di}{dt} \right) = \frac{(R+2r) \frac{I}{2}}{T \frac{r}{L} - 1} \quad (5.14)$$

În cazul mașinii reale de curent continuu, datorită t.e.m. "e<sub>T</sub>" indusă în circuitul care comută, de câmpurile magnetice exterioare, se obține, în momentul  $t=T$ , limita tensiunii induse de câmpul propriu sub forma: /59 rel. 8.9; 169 rel. 576/:

$$\lim_{t \rightarrow T} \left( -L \frac{di}{dt} \right) = \frac{e_T + (R+2r) \frac{I}{2}}{T \frac{r}{L} - 1} \quad (5.14.a)$$

Notînd  $T \frac{r}{L} = \delta(r)$  și considerînd acest raport  $\delta(r) > 1$ , se deduce, conform /169 fig.339 și rel.576/, că la mașina de curent continuu se realizează comutație întîrziată cînd  $e_T > 0$  și respectiv comutație accelerată cînd  $e_T < 0$ .

Comparînd relațiile (5.14) și (5.14.a) rezultă că



În cazul încercării periiilor pe colectoare model, ca în lucrarea de față, fără prezența t.e.m. " $e_T$ ", limita tensiunii induse în câmpul propriu, în bobina care comută, este determinată numai de valoarea raportului  $\delta(r)$ . De fapt și în cazul mașinii reale, se deduce din (5.14.a) că la  $\delta(r)=1$ , t.e.m. de inducție proprie tinde, teoretic, la infinit și că pentru  $\delta(r)<1$  ea nu mai este influențată de t.e.m. de rotație " $e_T$ ", deci nu mai este posibilă trecerea lentă a curentului de comutație spre valoarea  $(-\frac{I}{2})$ , conform (5.14.a) ci aceasta se face în mod brusc în momentul deschiderii contactului.

Pe baza analizei, interpretării și discuțiilor (uneori contradictorii) asupra valorii lui  $\delta(r)$ , care să asigure o comutație fără scînteii în virtutea relației (5.14.a), s-a stabilit recomandarea ca acest raport să fie totdeauna mai mare ca unitatea /59, 169/. Dar, pe de altă parte, R.Richter /169 p.382-384/, demonstrează că totdeauna t.e.m. de inducție proprie, devine nulă la finele comutației /168 rel.581/, oricare ar fi valoarea raportului  $\delta(r)$ , dacă muchia periei este puțin înclinată față de muchia lamelei.

Concluzia clară, care se desprinde, este că influența determinantă asupra comutației fără scînteii (în celelalte condiții optimizate, ca poziția periiilor față de axa neutră, ș.a.) o are natura suprafeței de contact între perie și colector și comportarea în ansamblu a contactului p-c.

Deducția teoretică, ce conduce la necesitatea unui raport între perioada de comutație (T) și constanta de timp (L/r) egal sau mai mare ca unitatea, rămîne doar o măsură a probabilității de a se obține, practic, comutația fără scînteii, dar nu poate înlocui cerința indispensabilă de a deduce pe cale experimentală influența contactului p-c asupra comutației, prin determinări ca cele din paragraful (5.1.1).

În aceasta rezidă caracterul total obiectiv al teoriei lucrării de față.

Revenind la relația (5.14), valabilă pentru comutația realizată de perii încercate pe colectorul model al instalației din fig.3.13, se deduce că la  $\delta(r)>1$  comutația este întîrziată la  $\delta(r)<1$ , este accelerată, ca în fig. 5.10. Faptul că încercarea periiilor pe colectorul model se face în absența t.e.m. " $e_T$ " nu constituie un inconvenient pentru

funcționarea acestora la mașina de curent continuu, deoarece modificând corespunzător perioada de comutație ( $T$ ) și inductivitatea ( $L$ ) a bobinei care comută, la limitele de variație ale rezistenței de contact ( $r$ ) determinate prin interpretări statistice (ca în tabelul nr.90), se realizează, practic, întreaga plajă de variație a raportului  $\delta(r)$ , în limitele  $1 < \delta(r) < 1$ . In acest fel se poate cunoaște comportarea reală a contactului p-c, de la comutația accelerată până la comutația întârziată (fig.5.10).

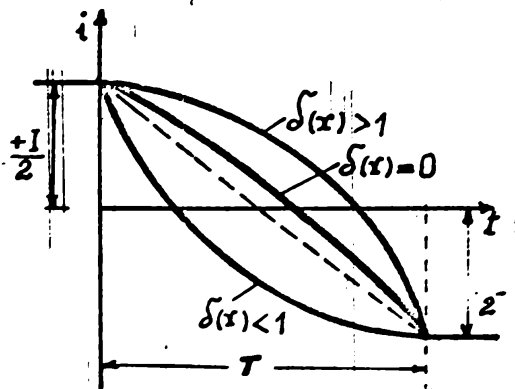


Fig.5.10. Influența factorului  $\delta(r)$  asupra comutației.

tivitatea ( $L$ ) a bobinei care comută, la limitele de variație ale rezistenței de contact ( $r$ ) determinate prin interpretări statistice (ca în tabelul nr.90), se realizează, practic, întreaga plajă de variație a raportului  $\delta(r)$ , în limitele  $1 < \delta(r) < 1$ . In acest fel se poate cunoaște comportarea reală a con-

tactului p-c, de la comutația accelerată până la comutația întârziată (fig.5.10).

Totuși, datorită faptului că la mașina de curent continuu, este, în mod obișnuit, îndeplinită condiția  $e_m > 0$ , devine justificată experimentarea periilor pe colectoare model la condiția  $\delta(r) \gg 1$ , ceea ce reduce volumul încercărilor necesare. Dacă se ține seama și de faptul că inductivitatea ( $L$ ) este cunoscută din datele constructive ale mașinii pentru care se aleg periile (sau din determinări experimentale), rezultă că pentru reproducerea domeniului  $1 < \delta(r) < 1$ , este suficient, ca la parametrii dați ai circuitului care comută, să se modifice corespunzător perioada de comutație ( $T$ ), prin intermediul vitezei periferice la colector.

Pentru determinarea limitei de comutare fără scântei, a periilor (C) și (EG), s-a constituit un circuit comutabil (fig.3.06), cu parametrii :

$$R = 0,75 \text{ } / \Omega /$$

și

$$L = 5 \cdot 10^{-3} \text{ } / H /$$

Pentru limitele medii maxime și minime ale rezistenței de contact ( $r$ ) din tabelul nr.90 și perioada de comutație:

$$T = (17 \div 22) \cdot 10^{-3} \text{ } / s /$$

s-au determinat limitele medii maxime și minime ale raportului  $\delta(r)$  ca în tabelul nr.91.

Tabelul nr.91

Perie	$\delta(r)$ min	$\delta(r)$ maxim	$\delta(r)$ mediu	T /s/
(C)	0,616	1,628	1,127	$22 \cdot 10^{-3}$
(EG)	0,44	1,452	0,9415	$11 \cdot 10^{-3}$

În cazul fiecărui tip de perie (C și EG), s-a obținut comutație întârziată, fără scînteii la colector.

Pentru periele (C), oscilograma  $i=f(t)$ , din fig.5.11, înregistrată cu o densitate de curent  $j=6,5 \text{ A/cm}^2$ , reprezintă o comutație întârziată, la care însă panta curbei curentului spre finele perioadei de comutație ( $\frac{di}{dt}$ ), la inductivitatea dată a circuitului, nu conduce la o t.e.m. de inducție proprie ( $-L \frac{di}{dt}$ ). la limită, capabilă să amorseze scînteii între

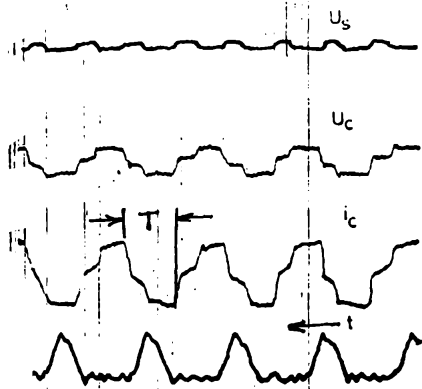


Fig.5.11. Oscilograma  $i=f(t)$  la comutarea circuitului inductiv, cu perie (C) pentru  $L=5 \cdot 10^{-3} \text{ H}$  și  $T = 22 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ .

muchia de ieșire a lamelei și cea a periei.

Comutația întârziată, realizată cu periele (C), ca în fig.5.11 poate fi apreciată ca fiind de foarte bună calitate.

Pentru periele (EG), s-a înregistrat oscilograma  $i=f(t)$ , în condițiile din tabelul nr.91, obținându-se rezultatul din fig.5.12. Se constată că deși valoarea me-

die a raportului  $\delta(r)$  este aproximativ egal cu unitatea, comutația este întârziată. Se remarcă variația, aproape liniară a curentului de comutație între  $(+\frac{I}{2})$  și  $(-\frac{I}{2})$  însă la muchia de ieșire a lamelei de sub perie nu se păstrează o valoare constantă a rezistenței de contact ( $r$ ), în cazul fiecărei lamele, ceea ce duce la inegalități ale duratelor de timp în care curentul să fie constant egal cu  $(\frac{I}{2})$ , de la o perioadă de comutație la alta.

Comutația este și în cazul periiilor (EG), deosebit de bună, la aceeași densitate de curent  $j = 6,5 \text{ A/cm}^2$ .

În cursul acestor încercări s-a procedat la creșterea densității de curent pînă la limita de apariție a scînteierii de gradul 1. La periiile (C) această limită a fost atinsă la  $j = 9 \text{ A/cm}^2$ , iar la periiile (EG) la  $j = 12,5 \text{ A/cm}^2$ .

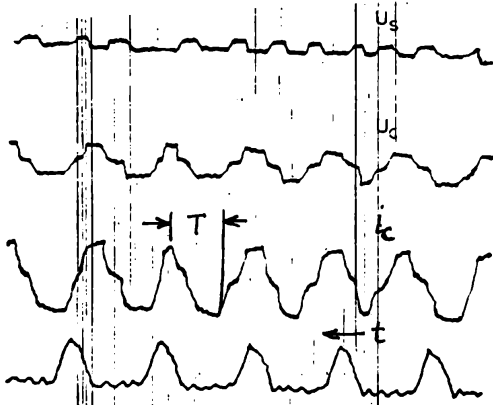


Fig.5.12. Oscilograma  $i=f(t)$ , la comutarea circuitului inductiv, cu perii (EG), pentru  $L=5 \cdot 10^{-3} \text{ H}$  și  $R = 17 \cdot 10^{-3} \text{ } \Omega$ .

În concluzie, la parametrii dați ai circuitului comutabil, se comportă mai bine periiile (EG), la densitate de curent mare.

Pentru următoarea etapă de încercări, s-au adoptat parametrii circuitului comutabil:

$$R = 0,75 \text{ } \Omega$$

și

$$L = 10^{-2} \text{ H}$$

Limitele raportului  $\delta(r)$  s-au modificat

ca în tabelul nr.92, la valorile date ale limitelor rezistenței de contact ( $r$ ) din tabelul nr. 90.

Tabelul nr. 92

Peria	(r)	(r) minim	(r) maxim	(r) mediu	$\tau$ /s/
(C)		0,308	0,814	0,561	$22 \cdot 10^{-3}$
(EG)		0,22	0,726	0,473	$22 \cdot 10^{-3}$

Densitatea de curent a fost menținută la aceeași valoare ( $6,5 \text{ A/cm}^2$ ) pentru ambele perii.

Cu periiile (C), s-a înregistrat oscilograma  $i=f(t)$ , din fig.5.13, din care rezultă că se păstrează parțial caracterul de comutație întârziată, însă curentul trece practic numai sub muchia de ieșire a periei, după care se anulează brusc, ca apoi să salte brusc la ( $-\frac{I}{2}$ ). De asemenea se înregistrează

ză scînteii sub muchia de ieșire a periei, dar care nu ating gradul I de scînteiere decît în mod cu totul izolat.

Cu periile (EG), în aceleași condiții, s-a obținut oscilograma din fig.5.14, în care se constată tendința spre comutația accelerată însă, de asemenea însoțită de scînteii, mai ales sub muchia de intrare.

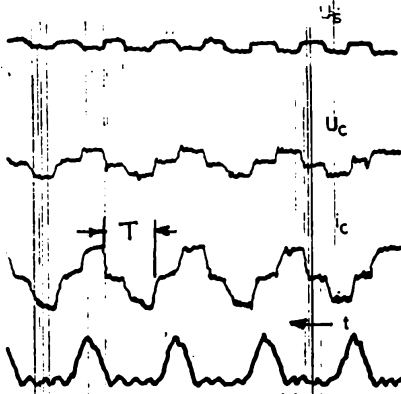


Fig.5.13. Oscilograma  $i=f(t)$ , la comutarea circuitului inductiv, cu perii (C), pentru  $L=10^{-2}$  /H/ și  $T = 22 \cdot 10^{-3}$  /s/.

zătoare în cazul funcționării periiilor la mașini de puteri mari, deoarece chiar la viteze periferice la colector de (35 + 50) m/s, lățimile periiilor fiind mari, nu se ajunge la

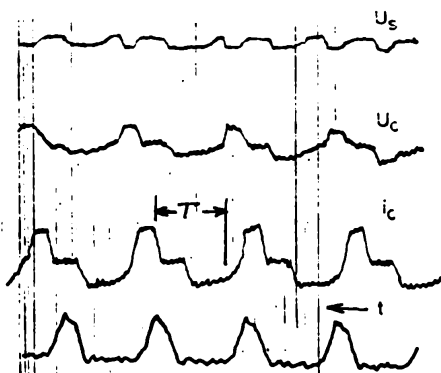


Fig.5.14. Oscilograma  $i=f(t)$ , la comutarea circuitului inductiv, cu perii (EG) pentru  $L=10^{-2}$  /H/ și  $T = 22 \cdot 10^{-3}$  /s/.

Si în acest caz s-a procedat la creșterea densității de curent pînă la limita apariției scînteierii de gradul I, care a fost obținută la  $j=7,5$  /A/cm<sup>2</sup>/ pentru periiile (C) și respectiv  $j=9$  /A/cm<sup>2</sup>/ pentru periiile (EG).

În legătură cu rezultatele din această etapă trebuie menționat faptul că ele rămîn necorespunzătoare în cazul funcționării periiilor la mașini de puteri mari, deoarece chiar la viteze periferice la colector de (35 + 50) m/s, lățimile periiilor fiind mari, nu se ajunge la perioade de comutație mai mici de (10+15) ms. Pe de altă parte, cum inductivitatea bobinei care comută, la aceste mașini este mică, rezultă că raportul  $\delta(r)$  se situează totdeauna în jurul valorii mai mari ca unitatea sau chiar apropiată de aceasta.

În consecință condiția de încercare din această etapă este acoperitoare pentru destinația periiilor, deoarece realizează cazul cel mai defavo-

rabil.

Din punct de vedere a densității maxime de curent, la care periile comută fără scînteieri mai mari decît gradul 1, periile (EG) sînt superioare periilor (C).

Pentru a se cunoaște însă și comportarea la uzură electrică (eroziune prin scînteii) s-a procedat la creșterea vitezei periferice, respectiv scurtarea perioadei de comutație pînă la apariția scînteierii de gradul  $1 + \frac{1}{2}$ . Pentru periile (C), această limită a fost de 19,5 m/s, iar pentru periile (EG) de 36 m/s. În aceste condiții nu vin în considerare limitele raportului  $\delta(r)$  deoarece limitele de variație ale rezistenței de contact sînt altele decît cele stabilite anterior. Ceea ce este însă important de remarcat constă în efectul scînteilor asupra pieselor de contact. La aceeași densitate de curent, aleasă astfel ca să apară scînteieri, zona de eroziune prin scînteii sub periile (C) este mai restrînsă

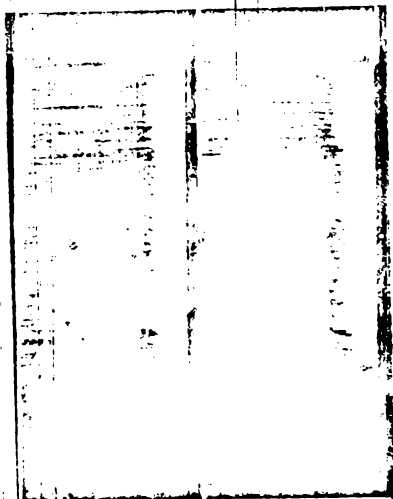


Fig.5.15. Patina erodată de scînteii sub periile (C).

(fig.5.15), decît sub periile (EG), la care atît patina cît și suprafața de contact a periei (fig.5.16) se distrug mai repede și cuprind o zonă aproape dublă, începînd de la marginile de ieșire ( $x_e$  și  $m_e$ ).

În consecință din punct de vedere a rezistenței la eroziune electrică sînt superioare periile mai dure. Acestea însă determină, în timp, o uzură mai pronunțată a colectorului, respectiv ovalizarea acestuia și funcționare mai instabilă a contactului, amplificîndu-se astfel și uzura electrică. Cum însă contactul funcționează în mod normal fără scînteii rezistența la eroziune electrică este mai puțin importantă decît uzura mecanică a periei și colectorului.

Funcționarea, fără scînteii, a contactului p-c trebuie să fie stabilită pe cale experimentală, ceea ce permite ca pen-

tru condiții date privind densitatea de curent, viteza periferică la colector și parametrii circuitului comutabil, să se aleagă sortul optim de perie sub aspectul funcțional și economic.

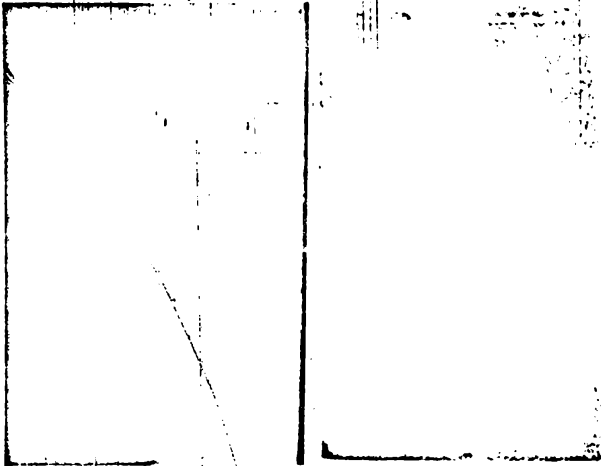


Fig. 5.16. Proziunea prin scînteii a patinei și suprafața periei (EG).

5.2. FORMELE GENERALIZATE ALE CARACTERISTICILOR STATICE.

Din analiza directă a caracteristicilor statice V-A și din interpretarea statistică a rezultatelor măsurătorilor experimen-

tale, se constată că la sorturi diferite de perii sau în condiții de solicitare diferită a contactului p-c, corelația liniară între  $\Delta U$  și  $j$  poate fi: a) mare, b) satisfăcătoare, și c) nesatisfăcătoare.

La o clasificare a caracteristicilor statice după criteriul corelației liniare, forma generală a acestora, va corespunde, mai ales în domeniul va-

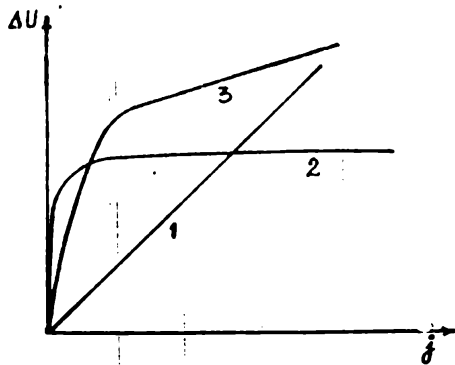


Fig. 5.17. Forme limită ale caracteristicilor statice ale contactului p-c.

lorilor uzuale ale densității de curent, curbelor din fig. 5.17.

La o corelație, intensă, de linearitate între  $\Delta U$  și  $j$ , caracteristica se poate exprima printr-o ecuație:

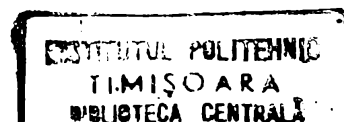
$$\Delta U = \text{const.} \cdot j \quad (5.15)$$

pentru un domeniu larg de valori ale densității de curent (1 din fig. 5.17).

În cazul unei corelații nesatisfăcătoare ecuația generală este:

$$\Delta U = \text{const.} \quad (5.16)$$

(2 din fig. 5.17).



În alte condiții caracteristica poate fi de formă 3 din fig.5.17.

Apartenența la una din cele trei forme de caracteristici este determinată de tehnologia de fabricare a periei și evident, de compoziția sa, însă uneori este posibil ca și condițiile de solicitare a contactului p-c, să schimbe forma caracteristicii. Astfel pentru periile (C), caracteristicile statice din fig.4.17 se încadrează în ecuația (5.15) pînă la 3000 rpm, cînd (curba 11) reprezentarea este mai fidelă prin ecuația (5.16). Aceste schimbări nu mai apar însă, dacă presiunea periei pe colector depășește  $1,2 \text{ N/cm}^2$ , (fig.4.18 și 4.19). La fel se constată la periile (EG) că la schimbarea presiunii periei pe colector, caracteristica statică oscilează între formele 2 și 3 din fig.5.17 (a se vedea coeficienții de corelație și fig.4.43).

La periile (MG), însă, modificarea presiunii periei pe colector nu influențează forma generală a caracteristicii statice (a se vedea coeficienții de corelație).

Dacă se ține seama de efectul căderilor tranzitorii de tensiune asupra distribuției densităților de curent între muchia de ieșire și cea de intrare a periiilor /93, 132, 199, 201, 202/ respectiv că apare o diferență între căderea de tensiune la o muchie a periei față de cealaltă, aceasta duce la compensarea unei părți a t.e.m. de inducție proprie. Prin urmare, periile al căror contact prezintă caracteristici V-A de tipul (5-15) sînt avantajoase pentru mașini fără poli suplimentari sau avînd periile în axa neutră.

În cazul de față, la parametri aleși ai circuitului de comutație și solicitarea dată a contactului, caracteristica periiilor (EG), apropiată de 3 din fig.5.17 este cea corespunzătoare, la aceasta adăugîndu-se și avantajele uzurii mecanice foarte reduse.

Pentru mașini cu poli suplimentari sau cu periile deplasate din axa neutră, sînt avantajoase, în anumite condiții și perii cu caracteristică de tipul 2 (5.16).

### 5.3. CONCLUZII.

1. La alegerea periiilor pentru mașini de puteri mijlocii și mari este necesară determinarea experimentală a ca-



racteristicii comutației de rezistență cu contactul p-c, deoarece permite stabilirea limitelor rezistenței de contact ca și a sortului de perie pentru comutația fără scînteii.

2. După alegerea periei pentru contactul p-c ca la pct. 1 este necesară determinarea oscilogramelor de comutație a circuitului R-L avînd aceeași parametrii ca cei ai mașinii de c.c. pentru care se aleg periile. Prin aceasta se obține selecția finală a sortului optim de perie atît pentru o bună comutație cît și pentru solicitările mecanice ale contactului p-c.

3. Pentru tipul de perie ales se poate stabili forma generală a caracteristicii statice (5.17) și considerarea limitelor rezistenței de contact în calculele de comutație.

CAPITOLUL VI.

CONCLUZII.

Din contextul lucrării ca și din concluziile înserate la finele fiecărui capitol se poate completa tabloul ansamblului de proprietăți pe care la prezintă contactul glisant perie-colector. Evident că nu pot fi tratate într-o asemenea lucrare absolut toate proprietățile contactului p-c și toți factorii ce îl influențează. Ideea principală a fost aceea de a pleca de la caracteristicile statice V-A ale contactului glisant considerate în toată literatura ca fiind mijlocul de bază pentru aprecierea contactului p-c și a determina pe cale statistică valoarea medie a rezistenței de contact cu care să se stabilească în final influența asupra comutației. Prin corelarea acestor trei căi de investigație (caracteristici V-A, analiză statistică, caracteristica de comutație) se poate alege sortul optim de perie pentru o mașină cu parametrii și regim de funcționare date.

Concluziile principale care rezultă din lucrare sînt următoarele:

VI.01. La contactul static între perie și colector (ca și între piese metalice), pe suprafața aparentă de contact se află suprafețe Herz, suprafețe cvasimetalice, pelicule adezive și pelicule de întunecare. Prin aceste pelicule are loc conducția electrică prin friting A, friting B și efect tunel.

VI.02. La realizarea contactului glisant între perie și colector se formează la suprafața colectorului o peliculă adezivă, numită patină, care prezintă proprietăți semiconductoare.

VI.03. Formarea patinei este un proces complex și de durată. După apariția oxizilor metalici la suprafața colectorului, în timpul glisării periei se formează restul patinei prin procese chimice, fizice, mecanice și termice între elementele prezente la locul de contact.

VI.04. Patina este formată din stratul de oxid de cupru (semiconductor de tip "p"), urmat de un strat de carbonați, carburi, sulfuri etc (semiconductor de tip "n") și în fine, un strat bogat în carbon care aderă slab la suprafața patinei și

poate fi șters ușor cu o țesătură sau vată.

VI.05. Cele două straturi semiconductoare introduc între piesa metalică a contactului și peria de cărbune joncțiuni, diferite între ele, cu proprietăți de diodă.

VI.06. Efectul de diodă influențează asupra căderii de tensiune la contactul p-c în funcție de polaritatea periei, la anumite grosimi ale patinei când temperatura nu depășește  $60-80^{\circ}\text{C}$ .

VI.07. Patina se formează numai în prezența elementelor atmosferice și are efecte lubrifiante asupra contactului p-c.

VI.08. În funcție de grosimea patinei, de temperatură și de polaritatea periei, trecerea curentului poate avea loc prin fritinguri A și B sau prin efect tunel.

VI.09. Instalația concepută și realizată pentru determinări experimentale permite obținerea condițiilor de funcționare ale contactului p-c apropiate de cele de la mașina electrică de curent continuu.

VI.10. Patina la suprafața colectoarelor cu lamele se formează într-un timp mai îndelungat decât la suprafața inelelor și este repartizată neuniform de la o margine la alta a lamelei.

VI.11. Evoluția formării patinei este influențată de efectele scurgerii aerului între perie și lamelă.

VI.12. Caracteristica statică tensiune - curent (V-A) a contactului p-c reprezintă căderea de tensiune pe contact în funcție de densitatea de curent, constituie un mijloc de bază pentru cunoașterea comportării contactului și a influenței presiunii periei pe colector și a vitezei periferice.

VI.13. Presiunea periei pe colector are influențe determinante atât asupra patinei cât și asupra caracteristicii statice și uzurii periei și colectorului.

VI.14. Căderea de tensiune este mai mare la contactul glisant decât la cel în repaus și diferă la peria anodică față de cea catodică în funcție de starea patinei, de presiunea periei pe colector și de viteza periferică.

VI.15. Căderea de tensiune este mai mică la contactul periei anodice și mai mare la al periei catodice în cazul periiilor moi și invers în cazul periiilor dure.

VI.16. Analiza statistică a caracteristicilor statice mărește precizia interpretărilor rezultatelor experimentale și este necesară pentru determinarea valorii medii a rezistenței de contact la solicitări date ale acestuia.

VI.17. Cercetarea experimentală a contactului p-c în procesul de comutație este indispensabilă în determinarea sortului optim de perie pentru o mașină electrică dată.

VI.18. Corelarea caracteristicii statice cu analiza statistică și cu caracteristica de comutație constituie o metodă unitară de alegere a sortului optim de perie pentru o mașină electrică dată și ale solicitărilor optime ale contactului p-c.

VI.19. Rezultatele obținute în cadrul lucrării sînt utile pentru practică și cercetare și reprezintă o bază concretă ce justifică continuarea unor astfel de cercetări pentru îmbunătățirea calității și parametrilor funcționali ai mașinilor electrice de curent continuu ca și ai mașinilor electrice cu colector în general.

B I B L I O G R A F I E

1. Avramescu A. "Beiträge zur Berechnung der Kurzschlusswärmerung". Diss.Dresden 1937.
2. Avramescu A. "Calculule încălzirii staționare a contactelor electrice". Electrotehnica Nr. 9/1953, p-25-35.
3. Avramescu A. "Über die Erwärmung punktförmiger Kontakte bei konstanter Strombelastung". A.f.E.Bd.33 H-4, S.261-268.
4. Avramescu A. "Contribuții la calculul încălzirii contactelor electrice plane finite". Studii și cercetări de Energetică vol.X (1960) Nr. 1.p.111-125.
5. Ambarțumov T.G.ș.a. "O vozmojnosti povîsemia plognosti toka pod ŝcetkami". Vestnik elektropromiŝlenosti Nr. 10/1958.
6. Balvin M.J. "Oscilographing Commutation". AIEE Trasaction. vol.68.pt.I.1949 pp. 100-105.
7. Barton T.H., Jones C.V. "Discission of A Ptactical Commutator Primitive for Generalized Machine Theory". AIEE Transactions. vol.79, June 1960, pp.281.
8. Bates C. "Testing Carbon bruskes" Electrical Rewiew 5.03.1965.p.354-57.
9. Bethe H.A. "N.D.R.C. Div. 14 Report. MIT Radiation laboratory, No. 43-12, Nov.23, 1942".
10. Becker J.A. "Ann. N.York Acad. Sci". Nr. 58, 723 (1954).
11. Binder Kurt "Grenzbedingungen der Lichtbogenbildung bei Kommutierung". ETZ-A Bd. 81(1960) p. 558-562.
12. Binder Kurt "Beitrag zur Dynamik des Kontakts Kohlebürste-Lamelle". ETZ-A Bd. 82 (1961) p. 46-53.
13. Binder Kurt "Grenzen des Arbeitsbereiches von Kommutierenden Kohlebürsten". I.T.E.K. Graz.1964.p.386-395.
14. Binder Kurt "Der durch Kommutierungslichtbögen

- hervorgegrufene Verschleiss von Kohlenbürsten".  
ETZ-A Bd. 85 (1964) H.8/17.IV.1964.
15. Binder Kurt "Verschleiss von Kohlenbürsten durch Kommutierunslichtbögen".  
ETZ-A 85(1964) H.8. p.248-253.
16. Binder Kurt "Bürstenzerstüber".  
ETZ-B 17 (1965), H.10, 285-288.
17. Blanc A. 1) "Sur les resistances de Contacte"  
J.phys.-Bd.4(1905) p. 743.  
2) "Resistance an contact".  
Ann.Chim.phys.-Bd. 5(1905) p.433.  
-Bd. 6(1905) p.5.
18. Blinín P.A. "IV vsecoinznoe sovescianie rabotnikov elektrónolnoi promíslonnosti".  
Elektropromíslennosti i priborostroenie Nr.13/1960.
19. Bozoroth R.M. "Ferromagnetism" ed.IV.  
D.van Hostrand & Co.Inc.New-York,1956.
20. Branly E. 1) "Electricite.Variations de conductibilite sons diverse influences electriques"  
C.R. - Bd. 111(1890) p. 735.  
2) "Resistance electrique an contact de deux metaux".  
Bul.Soc.internat.Electriciens,  
Paris - Bd. 13.(1896) p. 124.
21. Brunner J. "Über die elektrische Leitfähigkeit gepresster Graphit - pulver".  
Z.Elektrochem. Bd. 40 (1934) p.60.
22. Brunt C. von u. Sovage R.H. "Carbon-brush contact films".  
I.Gen.Electr.Rev.Bd. 47 (1944) S. 16-19.
23. Burstein E., Lundquist S., "Tunneling Phenomena in Solids".  
Plenum Press N.Y.1969.
24. Bursty Walter "Elektrische Kontakte und Schaltvorgänge. Grundlagen für den Praktiker".  
Berlin-Springer 1942.VI.
25. Bursty Walter "Elektrische Kontakte und Schaltvorgänge".  
Grundlagen für den Praktiker.  
Springer-Verlag-Berlin 1950.
26. Bursty-Walter "Elektrische Kontakte und Schaltvorgänge".  
Springer-Verlag Berlin-Göttingen-Heidelberg. 1956.
27. Busch H. "Über Kotaktwiderstände".  
ETZ. Bd.25 (1904) p. 160.

28. Campbell W.E. "Factors affecting reliability of electrical contacts - lubrication of sliding contacts" (Cleveland/Ohio). Engineering seminar on electrical contact phenomena 1962. University of Maine, Orono/Maine, U.S.A.
29. Chioreanu Virtilă "Materiale electrotehnice" lucrări de laborator. I.P.Timișoara 1972.
30. Christiana Popescu "Materiale electrotehnice. EDP-București 1970.
31. Confort A.G. "Application evaluatin of brusches". Proc.Inst.Carbon Brush.Conf.Morga-nite Carbon Ltd.London 1961". 1-6.
32. Curtis Oliver, Haltner Arthur. "Electric current collection and delivery apparatus for dynamo-electric machine". (Gen. Electr.Co.) Pat.SUA,cl.310-228, nr. 3173045, decl. 23.03.60. publ. 9.03.65.
33. Davidovici Ja.G. "Novaia metodika kollektornik ispitanii elektroschetok". Informationno-tehniceskii sbornik TBTI EP, vfl. 6(135) 1958.
34. Davydov B. "On the contact resistance of semi-conductors". J.of.Phys.U.S.S.R. Bd. 1 (1939) p.167.
35. Dechene G. "Sur l'effet Johnsen+Rahbeck. C.R. - Bd. 199 (1934) p. 266.
36. Dehlinger U. "Zur Theorie der Wechselfestigkeit" Z.Phys. - Bd. 115 (1940) p. 625.
37. Dekker A.J. "Electrical engineering materials" Ed.Prentice Hall, New-York 1959.
38. Diehl J.E. "Dissymmetry in D.C Rotating Electrical Machines". AIEE Transaction III(power Aparatus and Systems).vol.81, 1962, p. 1348.
39. Dobson B.J.W. "The effect of humidity on brush operation". Electr.J.Bd. 32.(1935) S. 527.
40. Dordea Toma "Contribuție la reglarea vitezei mașinii de inducție, utilizând contactul alunecător metalo-lichid. Teză de doctorat, Institutul Politehnic Timișoara - 1963.
41. Dordea Toma "Mașini electrice" E.D.P. - București 1970.

42. Dordea Toma  
Chioreanu Vintilă "Utilizarea contactului glisant cu mercur în circuitele de comutație".  
Electrotehnica Nr.12/1961.
43. Dordea Toma  
Chioreanu Vintilă "Metodă de recondiționare a izolației generatorului LDE".  
"Metodă generalizată la depourile LDE"  
Depoul LDE Craiova 1970.
44. Drăgănescu Mihai "Procese electronice în dispozitive semiconductoare de circuit".  
Ed.Acad.R.S.R. - București 1962.
45. Drăgănescu Mihai "Electronica corpului solid".  
E.T.București - 1972.
46. Dressnandt H. "Zur Elektronentheorie der kristallinen Verbindungen vom Typus des Kupferoxyds".  
Z.Phys.Bd. 115 (1940) p. 369.
47. Dreyfus L.A. "Die Stromwendung Grosser Gleichstrom Maschinen".  
Acta Polytechnica Stockholm, Sweden,  
vol.145.Nr.6, 1954.p.1-162.
48. Dunlap W.C. "Introduction to semiconductors".  
Ed.J.Wiley and Sons. - New-York 1957.
49. Fäsching G. "Werkstoffe der Elektrotechnik".  
B.I. T.H.-Wien, 1971.
50. Feynman Richard "Fizica" vol.III.  
E.T.București 1970.
51. Fialkov A.S.,  
Lifgiț P.S. "Nekotorie vaprosi proizvodstva elektroschetok".  
Vernikelektropromišlenosti.Nr. 5/1958.
52. Fialkov P.A. "Perspectiva osvolniia ulucişennih markov şchetok dlia maşin postoiianogo toka".  
Elektromişlenosti i priborostroenie.  
Nr. 10/1960.
53. Fialkov A.S.,  
Vilkin M.A. "Isledovanie skolzişcevo kontakta pri rabote şchetok na uglegrafitovih kolektorah".  
Elektrotehnicka Nr. 9/1963.p. 17-20.
54. Fisch A. "Recherches sur les contacts imparfaits".  
J.Phys.Bd. 3 (1904) p. 350.
55. Franz W. "Dielektrischer Durchschlag, Handbuch der Physik XVII".  
Berlin 1956.



56. Freund F. "Beitrag zur physikalischen Erklärung der Stromleitung durch fremdschichtbedeckte Gleitkontakte. Dissertation. Graz 1961.
57. Triuran E., Holm R. "Beitrag zur Kenntnis der Kontaktwiderstände". Z.techn.Phys. Bd. 7 (1926) p. 198.
58. Fröhlich H. "Elektronentheorie der Metalle". Springer-Berlin 1936.
59. Găbu A., Georgescu C. "Perii pentru maşini electrice" EES - 1953.
60. Gheorghiu I.S., Fransua Al. "Tratat de maşini electrice" EA - Bucureşti - 1968.
61. Gluskin A.Ja. ş.a. "Rabota scetocinova kontakta električeskikh maşin pripovişenoi plosnosti toka". Elektrotehnika Nr. 9/1963.
62. Goodman A.M. "Metal-semiconductor Barrier Height Measurement by the Differential Capacitance Method-One Carrier System". Jurnal of Applied Physics 34, 329, 1963.
63. Gondet G., Meuleu C. "Les semiconducteurs". Ed. Eyrolles 1958.
64. Gruber E. "Probleme des Bürstenverschleisses bei Universalmotoren". Diss. T.H. Stuttgart, 1957.
65. Gruber E. "Mechanischer und elektrischer Kontakt zwischen rauher Oberflächen". ETZ-A Bd. 80 (1959) H-21, S.745-748.
66. Hämmerli S. "Kontaktprobleme an schnellen Schaltsystemen". Bull. schweiz. elektr. Ver. Bd. 47, (1956) Nr. 26.
67. Hancock M. "Mechanical factors in commutations". Direct Current 10 (1965), Nr.1. 36-39, 60.
68. Henisch H.K. "Rectifying Semiconductor Contacts". Oxford, at the Clarendon Press. 1957.
69. Hilgarth G. "Über die Grenzstromstärke von rühenden Starkstromkontakten". Diss. T.H. Braunschweig 1956.

70. Hilgarth G. "Zusammenhang zwischen Kontaktspannung und Kontaktstellentemperatur bei kurzzeitig belasteten Stakstromkontakten". E.T.Z. + A. Bd. 79 (1958) H-13. S.464-468.
71. Hilgarth G. "Über die kontaktstellenerwärmung bei Rollkontakten". ETZ-A Bd. 80 (1959) H-10.S. 301-305.
72. Hisamutdinov R.H. "Comutația mașinilor electrice de curent continuu". EES-București 1954.
73. Hlasnik Ivan, Schilder Jaroslav. "Einfluss der Anisotropie Kohlenstoffhältiger Stoffe auf die grösse des Strommenge und Quowerwiderstandes von Bürsten elektrischer Maschinen". I.T.E.K. Graz - 1964. p. 452-457.
74. Hoffmann F. "Kohlendruckwiderstände". ETZ Bd. 58 (1937) p. 1111 u. 1138.
75. Holm E. "Contribution to the theory of the contact between a carbon brush and a copper collector ring". J. appl. Phys. 28 (oct. 1957).
76. Holm E. "Contribution to the theory of the bush-collector contact". A.I.E.E. 1959, paper no.2.
77. Holm E. "Einfluss der Stromrichtung auf die Kontaktspannung im Schleifkontakt Graphit-Kupfer". Internationale Tagung über elektrische Kontakte. Graz 4-6 Mai 1964, p. 375-385.
78. Holm E. "Lecture on material Transfer". Symposium on riretrie contacts". Penn.Univ.June 1954.
79. Holm E. "Dependence of the Conduction Mechanism on the Polarity in Stationary and Sliding Contacts when a High Resistivity Film is present in the Contact". IEEE.- 1964.
80. Holm R. "Über Kontaktwiderstände; besonders bei Kohlenkontakten". Z.tehn.Phys.Bd. 3 (1922) S.290,320,349.
81. Holm R. "Über Kontaktwiderstände".  
1) Z.tehn.Phys.Bd. 8(1927) S.141.  
2) Z.tehn.Phys. Bd. 9(1928) S.455.

82. Holm R. "Die technische Physik der elektrischen Kontakte". Springer-Berlin 1941. X.
83. Holm R. "Über das Wesen der Reibung zwischen festen Körpern". FäredragGöteborg 1943.
84. Holm R. "Electric Contacts (book). H.Geber, Stockholm, Sweden 1946.
85. Holm R. "Electric Contacts Handbook". Aided by Else Holm. 3 Completely rewritten ed. of "Die technische Physik der elektrischen Kontakte by R.Holm. Springer-Berlin 1958 XVIII.
86. Holm R. "Elektrische Kontakte" 1958. Holm-Electric Contacts Handbook".
87. Holm R. "Contribution to the theory of Commutation an d.c. machines". Trans. AIEE (Power Apparatus and Systems) vol.77 pp. 1124-1129 December 1958.
88. Holm R. "Theorie der ungleichenstromverteilung im Kontakt zwischen Kohlenbürsten und Schweißringen aus Kupfer oder Stahl in Luft". ETZ-A Bd. 81(1960) H. 16. S. 570-571.
89. Holm R. "Proc. Internat. Research.Symposium on Electric Contact Phenomene, Orono.1961, S. 43-45.
90. Holm R. "Theory of the sparking during commutation on dynamos". Trans. AIEE (Power Apparatus and Systems) vol. 81, pp. 588-594.December 1962.
91. Holm R.s.a. "Brush wear during comutation". I.E.E.E. Trans. Power Appar. and Syst. Nr. 1/1966 (85) p. 84.
92. Holm R. "Electric Contacts Theory und application" With 218 fig. 4 completely rewritten ed Berlin Springer 1967, XV, 5303/5324.
93. Hortopan Gh. "Aparate electrice". EDP - București 1972.
94. Ilvostov V.S. "Ob ucete svroistv scetok pri rascete kacestva kommutații". Izvestiia vîsgih ucebnîh zavedenii Elektromehanika. Nr. 10/1965.

95. Jakovenko V.A. "O pobigsenii plotnosti toka pod sietkami v mašinah postocennovo toka". Elektrotehnica Nr. 9/1963.
96. Ifrim A. "Materiale electrotehnice". v.I. I.P.B.Bucureşti 1972.
97. Ionescu M. "Statistica matematică". EDP-Bucureşti 1963.
98. Freudel Ingbert "Einfluss des Kohlenbürstenkontaktes auf Querströme bei Wechselstrom - Bahnmotoren". ETZ-A, Nr. 1/1958, p. 18-21.
99. Jobling H.B. "A review of the manufactures and use of carbon brushes". Trans. S. - Afric. Inst. Electr. Engrs. 1965.56, nr. 9.p. 211-226. Discuss. p. 226-235.
100. Kapčov N.A. "Electronica". ET-Bucureşti 1956.
101. Karasov M.F. "Kommutația mașin postocianovo toka". Gosenergizdat - 1955.
102. Karasev M.F. "Rezultati ispitanii apitnih elektrosiotok i oženka ih rabotot - spasonosti". Trudi Omskogo ins-ta jeles.darogi tansp. Nr. 44/1964. p. 125-136.
103. Karasev M.F., Suvorov V.P. "Analiz istrenia kolektornih mašin". Elektricesstro Nr. 12/1959 p.50-54.
104. Karasev M.F. "Indicatori iskrenia sciotok". Trudi Omskogo instituta jelezno darogi transport Nr. 44/1964, p. 157-166.
105. Keil A. "Werkstoffe für elektrische Kontakte" Springer-Verlag-Berlin 1960.
106. Keil A. "Über eine Verschleisserscheinung an Kontaktbelägen durch termisch bedingte Eigenspannungen". Intern. Tagung u. El.Kont. Graz -1964.
107. Klauudy Peter "Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten von Flüssigkeitskontakten". ETZ-A Bd. 76 1955, H.15. 1.8.

8. Klaudy Peter: "Stromabnahme bei hohen Geschwindigkeiten".  
Maschinenbau u. Wärmewirtschaft.  
Nr. 11, H. 10/11 - 1956 p. 315-327.
9. Klaudy Peter "Über elektrische Leiter für höchste Strombelastung".  
ETZ-A Bd. 80 (1959) H - 16.S.529-535.
10. Klaudy Peter "Fortschritte im Bau von Unipolarmaschinen durch Anwendung von Flüssigkeitskontakten".  
E.u.M. Bd. 78(1961) H. 3, S.128-143.
11. Klaudy Peter "Proceedings of the International Research Symposium on Electric Contact Phenomena November 1961".  
The University of Maine, College of Technology, Orono, Maine.
12. Klaudy Peter "Schnellauffende Umpolarmaschinen derzeitige und in Zukunft zu erwartende Anwendungsmöglichkeiten".  
Osterr.Ingenieur Zeitschrift, H.5, Jg. 6 1963.
13. Klaudy Peter/Hesg/. "Einige neuere untersuchungen an Flüssigkeitskontakten".  
Das.Vortraege..... Internationale Tagung über elektrische Kontakte.  
T.H.S.Graz Ost. 4-6 Mai 1964.
14. Klaudy Peter "Über Flüssigkeitskontakte, besonders Flüssigkeitsgleitkontakte".  
ATM - Aug. 1965. S. 97-108.
15. Klaudy Peter "Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten von Flüssigkeitskontakten".  
ETZ-A Bd. (76), H. 15, 128.1965.
16. Konstansov A.S. "Ob opredelenii kommutatsionnykh svoystv elektricheskikh scetok".  
Vestnik - elektropromyslennosti.  
Nr. 2/1957.
17. Konstansov.K. "Otsenka svoystv elektrocheskikh scetok po metodu analiza spectra visokoclastotnykh napriazhenii".  
Vestnik Elektropromyslennosti, Nr.1 1963. p. 67-68.
18. Koppelmänn F. "Kontaktgleichrichter mit Hochstrom-Nebenwegen".  
ETZ-A, 79 (1958) H.21.S.793-797.
19. Kucera Jaroslav "L'influence du type d'enroulement induit sur la comutation dans les machines a courant continu".  
R.G.E. 74 (1965) Nr. 1, 39-44.

120. Kuciumov A.P. "Ispîtamia elektroşcetok na kommuta-  
tionne svoistva".  
Trudi.TEMITT, 1957 t. XXIV.
121. Kuciumov A.P. "K voprosu o fiziceskih protesah şcioto-  
cinogo kontakta".  
Trudi Omskogo in-ta, j.d. transp. Nr40  
1963. p. 189-203.
122. Kuczog E. "Die Halbleitertheorie des Schleifkon-  
takte elektrischer Maschinen".  
Acta.techn. hung. 49 (1964), h.1/2,  
191-205.
123. Kuczogi E. "Die Halbleitertheorie der Schleif kon-  
takte elektrischer Maschinen".  
Ingenieur-Digest 1965.H.4.S. 65-70.
124. Lancaster J.K. "The influence of the conditions of  
sliding on the wear of elektrogra-  
phitic brushes".  
Brit. Appl. Phys. vol. 13, pp. 468-  
477 Sept. 1962.
125. Lancaster J.K. "The influence of arcing on the wear of  
carbon brushes on copper".  
Wear, vol. 6, pp. 341-352, September  
1963.
126. Lavrinovici L.L. "Experomentalnoc isledovanie iscremie  
v skolziaşcem kontakte".  
Vestnik elektropromşlenosti Nr. 1/1956.
127. Lavrinovici L.L. "Iscrenie v skolziaşcem kontakte".  
Vestnik elektropromşlenosti. Nr. 2/1957.
128. Lazăroiu D.,  
Cotta A. "Colectoarele maşinilor electrice".  
E.T.Bucureşti 1951.
129. Leyuraz M. "La commutation du moteur direct".  
R.G.des Chemins de Fer. Bd. 70(1951)  
p. 618-622.
130. Lindmayer J.,  
Wrigley C.V. "Fundamentals of semiconductor devices".  
Ed. Van Nostrand Co. Inc. Princetown.  
New Jersey, 1964.
131. Livşiţ P.S. "Tehmiceskie karakteristiki elektroşce-  
tocinîh materialov apredelennîe sta-  
tisticseskimi metodami".  
Vestnik elektropromşlenosti Nr.5/1956.
132. Livşiţ P.S. "Volt-ampernîe i frikşionnîe harakte-  
ristiki elektroşcetocinîh materialov".  
Vestnik elektropromşlenosti.Nr.2/1958.

133. Livšič P.S. "Rasciot poter v skoziščem kontakte".  
Elektricitstvo Nr. 12/1958.
134. Livšič P.S. "Novie marki elektrosčetnih materialov".  
Sisoeva L.P. Vesnikelektropromišlenosti.Nr.8/1960.  
Temkin J.V.
135. Llewellyn Jones, F. "The Physisc of Electrical Contacts".  
Oxford, Clarendon Press, 1957.
136. Loboževskii L.V. "Medodika smatria statisceskih volt-  
ampernih karakteristik skoliziasce-  
vo šcetocinevo kontakta".  
Vestnik elektropromišlenosti.  
Nr. 11/1958.
137. Loeb L. "Static Electrification".  
Springer Verlag Berlin 1958.
138. Lupkin D.M. " O roli izolacij mejdju plastinami  
Nemcenko N.M. kolektora v processe komutačiji".  
Vestnik elektropromišlenosti.Nr.2  
1957.
139. Mau H.J. "Über die Kontaktspannung und die  
Stromdichte in der Stromenge hoch-  
belasteter Kontakte".  
Intern. Tagung ü. El.Kont. Graz. 1964.
140. Maurer "Entwurf der Neufassung von VDE 0370/---60  
Vorschriften für Transformatoren, Wand-  
ler und Schalteröl.  
ETZ - A Bd. 81 H. 24, 11.60.
141. Mayeur M.R. "Contribution a l'etude des contacts  
glissants".  
R.G.E. Nr. 1, tom 64/1955, p. 19-43.
142. Mayeur, M.Robert. "Elements d'un theorie des contacts  
glissants".  
R.G.E. Nr. 4/1957 t. 66/1957, p. 207-225.
143. Mayeur, M.Robert. "Sur la chute de tension au contact dans  
les contacts glissants en charbon".  
R.G.E. Nr. 3/1958 t. 67/1958, p.161-179.
144. Mayeur, M.Robert. "Sur le frottement des contacts glissants  
en carbon".  
R.G.E. Nr. 2/1959 t. 68/1959, p. 177-187.
145. Mayeur, M.Robert. "Mecanisme du frottement des contacts  
glissants en charbon".  
R.D.E. Nr. 10(1961) t. 70/1961, p.483-502.

146. Mayeur, Rebort. "La chute de tension au contact, le frottement et l'usure des contacts glissants en charbon". R.D.E. Nr. 5, tom 73 (1964) p. 257-269.
147. Melehova E. "Periile și portperiile mașinilor electrice". E.T. București 1964.
148. Mendeleev "Vliianie poliarnosti glavnyh poliurov na kommutačiiu i nagrev mašin postoiannogo toka". Vestnik Elektropromišlenosti. Nr. 6/1958 p. 60-62.
149. Mendeleev "Vliianie razbejki ŝetok na kommutačiiu mašin postoisnnova toka". Vestnik electropromišlenosti Nr. 1/1958.
150. Mehl W. "Stoffwanderung an Gold - und Gold-Nickel-Kontakten". ETZ-A Bd. 77(1956).
151. Mehl W. "Der elektrische Kontakt". Pforzheim - 1959.
152. Meyer Manfred "Mutatoare cu comutație forțată". E.T. București - 1970.
153. Mihoc G. Urseanu V. "Matematici aplicate în statistică". Teoria probabilității. E.A. R.P.R. București 1963.
154. Millet J. "Le balais". Bull. Soc. Fr. Electri", tom. V. Serie 8. Nr. 51/martie 1964. p. 127-142.
155. Moisil C. Gheorghe "Fizică pentru ingineri" v. II E.T. București - 1968.
156. Möltgen Gottfried "Mutatoare cu comutație de la rețea" E.T. București - 1970.
157. Matter D.P. "Commutation of D-C Machines and Its Effects" on Radio Influence Voltage Generation". AIEE Transaction, vol. 68 pt. I. 1949 pp. 494 - 496.
158. Moțoc Cornelia "Fizică solidului". EDP. - București 1968.
159. Onicescu O. "Calculul probabilităților" ET București 1956.



160. Paxton Ralph  
"Electrical contact brush with a corrosion resistant shunt connection".  
(Pure Carbon co., Inc.).  
Pat-SUA, cl.310-249, nr. 3148295,  
declar 20.02.61. publ.8.09.64.
161. Pfann W.G.  
"Bridge Erosion in Electrical Contacts"  
Trans.A.I.E.E. 1948, 67, p. 1528.
162. Rancu N.,  
Tövissi L.  
"Statistica matematică în aplicații în producție".  
E.Ac. R.S.R. București 1963.
163. Rancu N.,  
Tövissi L.  
"Analiza statistico-matematică a calității producției industriale".  
E.St. București 1964.
164. Rerat M.S.  
"Problemes des commutation interessantes les grosses dynames debitant sur les cures d'Aluminium".  
Bull.Soc.Fr.Electr.tom.V.perie 8.  
Nr. 51/III.1964 p. 155-168.
165. Richter Rudolf  
"Mașin electrice". vol.I.  
ET-București 1958.
166. Robert M.J.  
"Avantages et limites d'utilisation des balais liquides".  
Bull. Soc.Tr.Electr.tov.V.serie 8.  
Nr. 51.III.1964.p. 143-154.
167. Roman Stere  
"Dispozitive semiconductoare".  
E.T.-București 1964.
168. Semal A.  
"Schalter, Klemen und Kontakte für Messzwecke".  
Karlsruhe 1957.
169. Sandu D.D.  
"Electronica fizică".  
E.A.R.S.R. - București 1973.
170. Schottky W.  
"Zeitschrift für Physik.Nr. 118  
1942, S. 539.
171. Schröder F.  
"Die Abteilung grosser Ströme von Schleifringen und Stromwenden".  
E.u.E. Jahrgang 61(1943) p. 126-129.
172. Schröder F.  
"Der Übergangswiderstand von Schleifkontakten".  
ETZ-A Bd. 76(1955) S. 498-503.

173. Schröder F. "Zur Theorie des Stromüberganges bei Schleifkontakten".  
ETZ-A. Bd. 79 (1958) H-14. S. 498-501.
174. Schröder F. "Der Einfluss der Temperatur auf einer Gleitkontakt".  
ETZ-A Bd. 85(1964) S. 568-575.
175. Sergiescu V. "Introducere în fizica solidului";  
E.T. - București 1956.
176. Shobert E.I., Diehl J.E. "A new method of investigating commutation as applied to automotive generators".  
Trans. A.I.E.E. (Power Apparatus and Systems vol.73, pp. 1592-1603, 1954, (February 1955 Section).
177. Shobert E.I.(II) "Trans.AIEE Nr. 13 (1954) S. 793.
178. Sildner P.M. "Opredelenie inductivnosti obmotki iakoria mašin postoiannevo go toka".  
Vestnik Elektropromišlenosti.Nr. 5/1958 p. 22-25.
179. Sinelnikov E.M. "S vaprosu o kommutații mašin postoiannovo toka".  
Elektricestivo Nr. 5/1952.
180. Smaga N.N. "Meri borbi s elektrodinamiceskim atbrosom kontaktov elektriceskih aparatov".  
Vestnik Elektropromišlenosti, Nr. 1/1963 p. 12-18.
181. Spenke E. "Elektronische Halbleiter, ein Einführung in die Physik der Gleichrichten und Transistoren".  
Berlin, Göttingen - 1955.
182. Spenke E. "Elektronische Halbleiter".  
Springer Verlag, Berlin.
183. Spînculescu Ion. "Fizica tranzistorilor și principiile microminiaturizării".  
EDP-București 1973.
184. Stix Rôbert "Elektromaschinenbau in Österreich".  
E.u.M. 4, (1967) H.6, 269-272.
185. Suciú Iacob "Aparate electrice".  
EDP-București 1968.
186. Swinnerton B.R.G. Thompson J.E. Turner M.J.B. "Some properties of copper-graphite interfaces and their effects on the commutation of double-lapwound d.a. machines".  
Proc.IEE 112(1965), Nr.1, 189-197.

187. Thompson J.E.s.a. "The wear of graphite shiding on a steel surface and the influence of an electric current on the rate of wear".  
Proc. I.E.E. (London) Pt.A.109,235(1962).
188. Thomson J.E. "A review of work at the Nelson Research Laboratories on current transfer and commutation in Electrical Machines."  
I.T.E.K.Graz 1964, p. 525-436.
189. Toefflinger K. "Neue Erkenntnisse bei Wechselstrom-Bahnmotoren".  
Siemens-Zeitschrift, Erlangen, Germany, vol.27, Nr. 2 Apr. 1953, pp. 73-80.
190. Tolkunov V.P. "Rationalni vîbor plotnosti toka i sirini scetki v mašinah postoiannovo toka".  
Izvestia vuzov Nr. 4/1962.
191. Trifonov I.P. "Ob apredelenii kacestva zadelki tokoveduščego provoda v telo scetki dla elektriceskih masin".  
Vestnik Elektropromišlenosti Nr. 7/1958, p. 21-24.
192. Truškov A.M. "Nastrojka kommutačii i podbor scetok tiagobnih elektrodvigateli".  
Vestnik elektropromišlenosti.Nr. 6/1958.
193. Truškov A.M. "O rabote scetok tiagovih dvigatelei elektrovozov".  
Vestnik elektropromišlenosti.Nr. 12/1958.
194. Truskov A.M. "Analiz provejdenii elektrosčitok teagovih dvigatelei elektrovozov".  
Trudi omskogo in-ta.jelez.dar,transp. Nr. 44/1964 p. 143-149.
195. Vartanov Z.B. "Impulsnie voltampernie harakeristiki scetocinovo kontakta".  
Vestnik elektropromišlenosti.Nr. 2/1957.
196. Vasiliu E. "Semiconductoarele și utilizarea lor".  
E.T.- București 1969.
197. Vergner O.G. "Diskussionie vaprosi sovremannoi teorii kommutačii toka".  
Elektricitstvo Nr. 7/1956.
198. Vegner O.G. "Nekotore vaprosi usonersenstvovaniia kommutačii toka v elektriceskih mašinah".  
Vestnikelektropromišlenosti.Nr.2/1957.
199. Vegner O.G. "Issledovanie fiziceskih svoistv i parametrov scetocinogo polufabricata".  
Elektropromišlenosti i priborostroenie. Nr. 22/1960.

200. Vegner O.G. "Theoria i praktika kommutații mașin. posteianogo toka". Gosenergoizdat 1961.
201. Vegner O.G. "Tehničesebrie osnovaniia dlia razrabotki novogo standarda na elektriceschie scetki". Elektricesstvo Nr. 2/1962, p. 77-85.
202. Vinogradov Iu.N.,  
- Konstantinov E.S. "Primenenie scetok EG-2a s amortizatorami dlia tiagovih dvigatelei elektrozov i iznos kollektorov". Elektrotehnika 11/1963.
203. Vogt W. "Elektrische Messungen an Kupferoxyd". Annalen der Physik 31.X.30. t.7.p. 183-204.
204. Volkmann W. "Über das dynamische Laufverhalten der Kohlenbürste". I.T.E.K. - Graz 1964.
205. Volkmann W. "Über Kohlebürsten - Schwingungen mit sehr kleiner Amplitude". ETZ-A 86(1965), H.5. 151-153.
206. Volkmann W. "Über das akustische Verhalten der Kohlebürsten bei Kleinmaschinen". ETZ-B, RFG, 18, nr. 3, 11 febr. 1960, pag. 82-83.
207. Volkmann W. "Halbleitereffekte beim Kohlenbürsten-Gleitkontakt". ETZ-A 89(1968) H, 17, 407-409.
208. Wollenck A. "Kontakterosion und Grenzstromwerte ruhender Starkstromkontakte". A.f.E.Bd. 45(1960) M.6, S.367-367.
209. Wagner K.u.a. "Radioaktive Untersuchungen der Stoffübertragung zwischen Kupfer-Graphit-Bürsten und einem Kupferrotor". Elektrie 18 (1964) H.8.p. 248-252.
210. Zielasek G. "Zur Feinwanderung im elektrischen Abhebekontakten". A.f.E. Bd. 43 (1957) H.4. S. 249-275.
211. Yu A.Y.C. "Spectrum I.E.E.E. (1970). March. 83-89.
212. x x x "Bazele tehnice pentru elaborarea noului standard al periilor electrice". Elektricesstvo Nr. 2/1962 p.77.

213. x x x "Proiect de standara al Institutului American al inginerilor electricieni, pentru încercări ale periiilor de cărbune Nr. 504/1963.
214. x x x "Procedee experimentale pentru determinarea proprietăților fizice ale periiilor".  
C.E.I. Secția 2/2F - Oct. 1964.
215. x x x " Standard american C- 641-1950.
216. x x x "Standard cehoslovac CSN-350880-49.
217. x x x "Standard sovietic GOST 2332-1953.

A N E X E

PERIA C p = 1,2 N/cm<sup>2</sup>

Nr. crt.	U(+)			U(-)			I	J	Obs.
	V/d	d	V	V/d	d	V	A	A/cm <sup>2</sup>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Parcurs 0 Km				n = 0			Tabelul Nr. 01		
1.	3/60	6	0,300	3/60	3	0,150	2	1,00	
2.	"	12	0,600	"	8	0,400	4,5	2,25	
3.	"	16	0,800	"	12	0,600	7,5	3,75	
4.	"	19	0,95	"	14,5	0,725	10,5	5,25	
5.	"	22,5	1,125	"	19,5	0,975	17	8,50	
6.	"	26	1,300	"	22,0	1,100	24,5	12,25	
Parcurs 230 Km				n = 0			TabeluluNr.02		
1.	3/60	3,5	0,175	3/60	6,5	0,325	2,5	1,25	
2.	"	6,5	0,325	"	11	0,550	4,5	2,25	
3.	"	12	0,600	"	19	0,950	9,0	4,50	
4.	"	16	0,800	"	27	1,350	14,0	7,00	
5.	"	20,0	1,000	"	31	1,550	22,0	11,00	
6.	"	24	1,200	"	36	1,800	30,0	15,00	
Parcurs 1500 Km				n = 0			Tabelul Nr. 03		
1.	3/60	24,4	1,220	3/60	18	0,900	3,5	1,75	
2.	"	30	1,500	"	24	1,200	9	4,50	
3.	"	32	1,600	"	25	1,250	14	7,00	
4.	"	32	1,600	"	26	1,300	20	10,00	
5.	"	32	1,600	"	30	1,500	25	12,50	
6.	"	34	1,700	"	29	1,450	28	14,00	
Parcurs 3100 Km				n = 0			Tabelul Nr. 04		
1.	3/60	22	1,100	3/60	15	0,750	2	1,00	
2.	"	25	1,250	"	18	0,900	6,5	3,25	
3.	"	26	1,300	"	20	1,000	9	4,50	
4.	"	28	1,400	"	21	1,050	14	7,00	
5.	"	30	1,500	"	23	1,150	17,5	8,75	
6.	"	32	1,600	"	25	1,250	22	11,00	
7.	"	33	1,650	"	29	1,450	29	14,50	
Parcurs 4400 Km				n = 0			Tabelul Nr.05		
1.	3/60	8	0,400	3/60	10	0,500	2	1,00	
2.	"	20	1,000	"	20	1,000	4	2,00	
3.	"	31	1,550	"	24	1,200	8	4,00	
4.	"	37	1,250	"	27	1,350	13	6,50	
5.	"	42	2,100	"	30	1,500	18,5	9,25	
6.	"	45	2,250	"	31	1,550	21	10,50	
7.	"	46	2,300	"	34	1,700	25	12,50	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Parcurs 6600				n = 0				Tabelul Nr. 06	
1.	3/60	15	0,750	3/60	10	0,500	4,5	2,25	
2.	"	20	1,000	"	11	0,550	7,5	3,75	
3.	"	26	1,300	"	12	0,600	12	6,00	
4.	"	29	1,450	"	20	1,000	16	8,00	
5.	"	30	1,500	"	22	1,100	21	10,00	
6.	"	35	1,750	"	28	1,400	25	12,50	
7.	"	40	2,000	"	31	1,550	30	15,00	

Parcurs 10.000 Km				n = 0				Tabelul Nr. 07	
1.	3/60	2	0,100	3/60	1,5	0,075	2,5	1,25	
2.	"	3,5	0,175	"	3	0,150	5	2,50	
3.	"	7,5	0,375	"	7	0,350	9,5	4,75	
4.	"	10	0,500	"	9,5	0,475	13	6,50	Colecto- rul rec- tificat centrat
5.	"	14	0,700	"	13	0,650	17	8,50	
6.	"	16	0,800	"	15	0,750	21,5	10,75	
7.	"	17	0,850	"	16,5	0,825	26	13,00	
8.	"	18	0,900	"	17,5	0,875	28	14,00	

PERIA C  $p = 1,2 \text{ N/cm}^2$

Nr. crt.	U(+)				U(-)				I	J	Obs.
	V/d	d	V	V/d	d	V	A	A/cm <sup>2</sup>			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Parcurs 10.000				n = 1300 rpm				Tabelul Nr. 08			
1.	3/60	30	1,500	3/60	34	1,700	2,5	1,25			
2.	"	57	2,850	"	53	2,650	6	3,00			
3.	6/60	34	3,400	6/60	32,5	3,250	8,5	4,25			
4.	"	42	4,200	"	35	3,500	11	5,50	Colecto-		
5.	"	50	5,000	"	39	3,900	14	7,00	rul rec-		
6.	"	51	5,100	"	40	4,000	17	8,50	tificat		
7.	"	51	5,100	"	44	4,400	20	10,00	si cen-		
8.	"	54	5,400	"	45	4,500	22	11,00	trat		

Parcurs 10.000 Km				n = 1800 rpm				Tabelul Nr. 09	
1.	6/60	30	3,000	3/60	32	1,600	2,5	1,25	
2.	"	37	3,700	"	42	2,100	4,5	2,25	
3.	"	43	4,300	6/60	27	2,700	7	3,50	
4.	"	47	4,700	"	30	3,000	10	5,00	idem 08
5.	"	50	5,000	"	32,5	3,250	14	7,00	
6.	"	53	5,300	"	34	3,400	18	9,00	
7.	"	55	5,500	"	42	4,200	22	11,00	

Parcurs 15.000 Km				n = 2400 rpm				Tabelul Nr. 10	
1.	3/60	20	1,000	3/60	20	1,000	2,5	1,25	
2.	"	38	1,900	"	38	1,900	7	3,50	
3.	"	48	2,400	"	48	2,400	10	5,00	
4.	"	55	2,750	"	55	2,750	14	7,00	Colector
5.	"	60	3,000	"	60	3,000	18	9,00	rectificat
6.	6/60	30	3,000	6/60	30	3,000	25	12,50	si centrat



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Parcurs 10.000 Km			n = 3000 rpm			Tabelul Nr.11			
1.	6/60	20	2,000	6/60	20	2,000	1,6	0,20	.
2.	"	39	3,900	"	35	3,500	3,5	1,75	.
3.	"	49	4,900	"	46	4,600	7,5	3,75	.
4.	"	51	5,100	"	50	5,000	12	6,00	.
5.	"	51	5,100	"	51	5,100	17	8,50	.
6.	"	52	5,200	"	52	5,200	22	11,00	.

Parcurs 10.000 Km			j = 8 A/cm <sup>2</sup>			Tabelul Nr. 12			
1.	6/60	37	3,700	6/60	34	3,400	1300		
2.	"	39	3,900	"	36	3,600	1600		
3.	"	40	4,000	"	37	3,700	1800		
4.	"	40	4,000	"	37	3,700	2000		
5.	"	41	4,100	"	37,2	3,720	2400	Colector	
6.	"	42	4,200	"	37,5	3,750	2600	rectificat	
7.	"	45	4,500	"	38	3,800	2800	si centrat	
8.	"	49	4,900	"	40	4,000	3000		
9.	"	59	5,900	"	42	4,200	3200		

Parcurs 10.000 Km			Po = 410 W			Tabelul Nr.13				
n	P	+J	v							
rpm	W	A/cm <sup>2</sup>	m/s							
1.	1600	490	1,0	17,7	0,640					
2.	1700	460	2,0	18,8	0,376					
3.	1850	430	3,5	19,6	0,144					
4.	1900	430	5,0	20,2	0,140					
5.	2000	450	7,0	21,2	0,266					

PERIA C p = 2,5 N/cm<sup>2</sup>

U(+)			U(-)			I		J	
V/d	d	V	V/d	d	V	A	A/cm <sup>2</sup>		
Parcurs 15.000 Km			n = 1300 rpm			Tabelul Nr.14			
1.	3/60	8	0,400	3/60	8	0,400	2,00	1,00	.
2.	"	18	0,900	"	19	0,950	5	2,50	.
3.	"	24	1,200	"	24	1,200	8	4,00	.
4.	"	30	1,500	"	30	1,500	12	6,00	.
5.	"	35	1,750	"	35	1,750	18	9,00	.
6.	"	37	1,850	"	40	2,000	22	11,00	.
7.	"	40	2,000	"	44	2,200	26	13,00	.

n = 1800 rpm			Tabelul Nr. 15						
1.	3/60	24	1,200	3/60	24	1,200	4,5	2,25	.
2.	"	35	1,750	"	37	1,850	9	4,50	.
3.	"	46	2,300	"	49	2,450	13	6,50	.
4.	"	50	2,500	"	51	2,550	16	8,00	.
5.	6/60	30	3,000	6/60	32	3,200	21	10,00	.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n = 2400 rpm								Tabelul Nr.16	
1.	3/60	19	0,950	3/60	19	0,950	4	2,0	
2.	"	30	1,500	"	30	1,500	10	5,0	
3.	"	44	2,200	"	44	2,200	14	7,0	
4.	"	49	2,450	"	49	2,450	17	8,5	
5.	"	52	2,600	"	52	2,600	21	10,5	
6.	"	54	2,700	"	54	2,700	25	12,5	

n = 3000 rpm								Tabelul Nr.17	
1.	3/60	28	1,400	3/60	46	2,300	2	1,0	
2.	"	44	2,200	"	54	2,700	5	2,5	Contact
3.	6/60	33	3,300	6/60	32	3,200	7	3,5	instabil
4.	"	40	4,000	"	40	4,000	14	7,0	Scinteieri
5.	"	40	4,000	"	42	4,200	23	11,5	fluctuante

j = 8 A/cm <sup>2</sup>								Tabelul Nr.18	
Nr. crt.	V/d	U(+)		U(-)		rpm	n		
		d	V	V/d	d				
1.	6/60	18	1,800	6/60	20,0	2,000	1300		
2.	"	22	2,200	"	25	2,500	1500		
3.	"	24,5	2,450	"	28,0	2,800	1800		
4.	"	25,0	2,500	"	28,0	2,800	2100		
5.	"	25,0	2,500	"	30,0	3,000	2400		
6.	"	26,0	2,600	"	30,2	3,020	2600		
7.	"	28	2,800	"	35,0	3,500	2800		
8.	"	33	3,300	"	40,0	4,000	3000		

p <sub>o</sub> = 410 W					Tabelul Nr.19	
n	P	J	V			
			rpm	W		
1.	1400	560	2,0	0,540	14,41	
2.	1550	540	3,5	0,422	15,95	
3.	1650	525	5,0	0,332	17,00	
4.	1800	500	7,5	0,251	18,52	
5.	1950	490	9,0	0,206	20,08	
6.	2050	480	11,0	0,174	21,10	
7.	2100	480	12,5	0,168	21,60	

PERIA C p = 4 N/cm <sup>2</sup>								Tabelul Nr.20	
n = 1300 rpm									
V/d	U(+)		U(-)		I	J			
	d	V	V/d	d					
1.	3/60	6	0,300	3/60	6	0,300	2	1,0	
2.	"	15	0,750	"	15	0,750	7	3,5	
3.	"	21	1,050	"	21	1,050	11	5,5	
4.	"	26	1,300	"	26	1,300	17	8,5	
5.	"	30	1,500	"	30	1,500	22	11,0	
6.	"	32	1,600	"	34	1,700	27	13,5	

PERIA C p = 4. N/cm<sup>2</sup>

n = 1800 rpm      Tabelul Nr.21

Nr. crt.	U(+)			U(-)			I	J	Obs.
	V/d	d	V	V/d	d	V	A	N/cm <sup>2</sup>	
1.	3/60	6	0,300	3/60	6	0,300	2	1,0	10
2.	"	15	0,750	"	15	0,750	7	3,5	
3.	"	21	1,050	"	21	1,050	11	5,5	
4.	"	26	1,300	"	26	1,300	17	8,5	
5.	"	30	1,500	"	30	1,500	22	11,0	
6.	"	32	1,600	"	34	1,700	27	13,5	

n = 1800 rpm      Tabelul Nr.21

1.	3/60	15	0,750	3/60	15	0,750	5	2,50
2.	"	21	1,050	"	21	1,050	8	4,00
3.	"	31	1,550	"	31	1,550	11,5	5,75
4.	"	33	1,650	"	46	2,300	13	6,50
5.	6/60	20	2,000	6/60	25	2,500	18	9,00
6.	"	27	2,700	"	27	2,700	27	13,50

n = 2400 rpm      Tabelul Nr.22

1.	3/60	7	0,350	3/60	7	0,350	2	1,0
2.	"	18	0,900	"	18	0,900	7	3,5
3.	"	24	1,200	"	24	1,200	11	5,5
4.	"	30	1,500	"	30	1,500	17	8,5
5.	"	33	1,650	"	33	1,650	20	10,0
6.	"	35	1,750	"	35	1,750	25	12,5

n = 3000 rpm      Tabelul Nr.23

1.	3/60	20	1,000	3/60	20	1,000	4	2,0
2.	"	34	1,700	"	44	2,200	9	4,5
3.	"	48	2,400	"	60	3,000	14	7,0
4.	"	55	2,750	6/60	35	3,500	17	8,5
5.	6/60	35	3,500	"	44	4,400	22	11,0

PERIA C p = 2,5 N/cm<sup>2</sup>

n      Tabelul 24

Nr. crt.	U(+)			U(-)			n rpm
	V/d	d	V	V/d	d	V	
1.	3/60	26	1,300	3/60	26	1,300	1400
2.	"	34	1,700	"	38	1,900	1600
3.	"	40	2,000	"	46	2,300	1800
4.	"	42	2,100	"	50	2,500	2100
5.	"	44	2,200	"	54	2,700	2400
6.	"	45	2,250	6/60	30	3,000	2700
7.	6/60	25	2,500	"	33	3,300	2900
8.	"	29	2900	"	35	3,500	3100

PERIA C p = 4 N/cm<sup>2</sup>

Po = 410 W Tabelul Nr.25

Nr. crt.	n rpm	P W	J A/cm <sup>2</sup>	V <sub>k</sub> m/s	-
1.	1600	650	2,0	16,46	0,473
2.	1650	620	3,5	17,00	0,402
3.	1700	590	5,5	17,50	0,333
4.	1750	560	8,0	18,00	0,270
5.	1750	520	10,5	18,00	0,252
6.	1780	560	12,0	18,30	0,266

PERIA MG p = 1,2 N/cm<sup>2</sup>

Nr. crt.	U(+)			U(-)			I A	J A/cm <sup>2</sup>	Obs.
	v/d	d	v	v/d	d	v			
Parcurs 230 Km n = 0 Tabelul Nr.26									
1.	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	3/60	5	0,250	3/60	4,5	0,225	4	2	
2.	"	9	0,450	"	10	0,500	8,5	4,25	
3.	"	12	0,600	"	12	0,600	15	7,50	
4.	"	17	0,850	"	16	0,800	25	12,50	
5.	"	21	1,050	"	19	0,950	29	14,5	

Parcurs 860 Km n = 0 Tabelul Nr.27									
1.	3/60	6	0,300	3/60	7	0,350	1	0,50	
2.	"	19,5	0,975	"	21	1,050	4	2,00	
3.	"	27,5	1,375	"	29	1,450	8	4,00	
4.	"	35	1,750	"	35	1,750	15	7,50	
5.	"	38	1,900	"	41	2,050	22,5	11,25	
6.	"	38,5	1,925	"	42	2,100	26,5	13,25	

Parcurs 1500 Km n = 0 Tabelul Nr.28									
1.	3/60	19	0,950	3/60	15	0,750	3	1,50	
2.	"	23	1,150	"	26	1,300	6	3,00	
3.	"	26	1,300	"	34	1,700	8,5	4,25	
4.	"	28	1,400	"	39	1,950	13,5	6,75	
5.	"	31	1,550	"	40	2,000	19	9,50	
6.	"	32	1,600	"	42	2,100	23	11,50	
7.	"	35	1,750	"	45	2,250	30	15,00	

Parcurs 3100 Km n = 0 Tabelul Nr.29									
1.	3/60	11	0,550	3/60	6	0,300	2,5	1,25	
2.	"	24	1,200	"	13	0,650	7,5	3,75	
3.	"	29	1,450	"	17	0,850	11	5,50	
4.	"	32	1,600	"	20	1,000	15,5	7,75	
5.	"	32	1,600	"	20	1,000	21	10,50	
6.	"	32	1,600	"	20	1,000	23	11,50	
7.	"	35	1,750	"	45	2,250	30	15,00	

Parcurs 4400 Km										n = 0	Tabelul Nr.30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1.	3/60	12	0,600	3/60	14	0,700	3,5	1,75			
2.	"	27	1,350	"	29	1,450	7	3,50			
3.	"	34	1,700	"	34	1,700	12,5	6,25			
4.	"	37	1,850	"	34	1,700	17,5	8,75			
5.	"	45	2,250	"	34	1,700	22	11,00			
6.	"	48	2,400	"	34	1,700	26	13,00			

Parcurs 6600 Km										n = 0	Tabelul Nr.31
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1.	3/60	14	0,700	3/60	30	1,500	3	1,5			
2.	"	24	1,200	"	37	1,850	6,5	3,25			
3.	"	29	1,450	"	42	2,100	10,5	5,25			
4.	"	34	1,700	6/60	23	2,300	16	8,00			
5.	"	34,5	1,725	"	24	2,400	20	10,00			
6.	"	36	1,800	"	24	2,400	24	12,00			
7.	"	40	2,000	"	24,5	2,450	29,5	14,75			

Parcurs 15.000 Km										n = 0	Tabelul Nr.32
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1.	3/60	5,5	0,275	3/60	5	0,250	7,5	3,75			
2.	"	9	0,450	"	8,5	0,425	11,5	5,75			
3.	"	12	0,600	"	11,5	0,575	16	8,00			
4.	"	13,5	0,675	"	13	0,650	20,5	10,25	Colec-		
5.	"	15	0,750	"	14,5	0,725	24	12,00	tor rec-		
6.	"	19,5	0,975	"	19	0,950	29	14,50	tificat		
									si centr.		

PERIA MG  $p = 2,5 \text{ N/cm}^2$

Parcurs 15.000 Km										Tabelul Nr. 33
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	3/60	17	0,150	3/60	19	0,950	1700	0,75		
2.	"	28	1,400	"	30	1,500	1750	1,75		
3.	"	34	1,700	"	33	1,650	1800	2,50		
4.	"	42	2,100	"	37	1,850	1850	4,50		
5.	"	42	2,100	"	37	1,850	1900	6,00		
6.	"	44	2,200	"	40	2,000	1930	8,50		
7.	"	48	2,400	"	45	2,250	1980	10,50		

n = 1400 rpm										Tabelul Nr. 34
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	3/60	23	1,150	3/60	22	1,100	2,2	1,10		
2.	"	34	1,700	"	32	1,600	4,5	2,25		
3.	"	39	1,950	"	38	1,900	7,5	3,75		
4.	"	39	1,950	"	43	2,150	11,5	5,75		
5.	"	42	2,100	"	42	2,100	16,0	8,00		
6.	"	46	2,300	"	45	2,250	20,0	10,00		

n = 1800 rpm										Tabelul Nr. 35
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	3/60	17	0,350	3/60	15	0,750	2	1,00		
2.	"	31	1,550	"	31	1,550	4	2,00		
3.	"	39	1,950	"	33	2,150	6	3,00		
4.	"	42	2,100	"	47	2,350	9	4,50		
5.	"	46	2,300	"	50	2,500	14	7,00		
6.	"	48	2,400	"	52	2,600	18	9,00		

n = 2400 rpm										Tabelul Nr. 36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	3/60	25	1,250	3/60	16	0,800	1,0	0,50		
2.	"	35	1,750	"	23	1,150	2,0	1,00		
3.	"	47	2,350	"	33	1,650	4,5	2,25		
4.	"	57	2,850	"	41	2,050	8,0	4,00		Gradul
5.	"	60	3,000	"	45	2,250	10,0	5,00		Scînteiere
6.	"	62	3,100	"	46	2,300	12,0	6,00		la perie(+)
7.	6/60	31	3,100	6/60	25	2,500	17,0	8,50		

n = 3000 rpm										Tabelul Nr. 37
1.	3/60	31	0,155	3/60	27	1,350	1	0,50		Peria nu
2.	"	39	1,950	"	34	1,700	1,5	0,75		corespun-
3.	"	48	2,400	"	41	2,050	2	1,00		de Gradul
4.	6/60	32	3,200	6/60	25	2,500	4	2		0011/4
5.	"	35	3,500	"	27	2,700	6	3,00		1 1/2
6.	"	35	3,500	"	27	2,700	9	4,50		1 1/2
7.	"	37	3,700	"	33	3,300	11,5	5,75		2

PERIA MG  $p = 2,5 \text{ N/cm}^2$

n = 1800 rpm										Tabelul Nr. 38
	U(+)			U(-)			t	j		
	v/d	d	v	v/d	d	v				
1.	3/60	31	1,550	3/60	31	1,550	0	2		
2.	"	34	1,700	"	36	1,800	2	"		
3.	"	36	1,800	"	39	1,950	4	"		
4.	"	36	1,800	"	39	1,950	6	"		
5.	"	36	1,800	"	39	1,950	8	"		
6.										

n = 1800 rpm										Tabelul Nr. 39
1.	3/60	37	1,850	3/60	43	2,150	0	3		
2.	"	38	1,900	"	43	2,150	1	"		
3.	"	39	1,950	"	44	2,200	2	"		
4.	"	39	1,950	"	46	2,300	3	"		
5.	"	39	1,950	"	49	2,450	5	"		
6.	"	39	1,950	"	49	2,450	9	"		
8.	"	39	1,950	"	49	2,450	10	"		

n = 1400 rpm										Tabelul Nr. 40
1.	3/60	39	1,950	3/60	43	2,150	0	6		
2.	"	41	2,050	"	41	2,050	1	"		
3.	"	23	2,150	"	43	2,150	2	"		
4.	"	43	2,150	"	43	2,150	5	"		
5.	"	43	2,150	"	46	2,300	8	"		
6.	"	43	2,150	"	49	2,450	20	"		

PERIA MG  $p = 4 \text{ N/cm}^2$

n = 1300 rpm      Tabelul Nr.41

Nr. crt.	U(+)			U(-)			I	J	Obs.
	V/d	d	V	V/d	d	V			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	3/60	10	0,500	3/60	10	0,500	1	0,50	.
2.	"	32	1,600	"	32	1,600	5	2,50	.
3.	"	39	1,950	"	38	1,900	9	4,50	.
4.	"	39	1,950	"	38	1,900	14	7,00	.
5.	"	42	2,100	"	39	1,950	18	9,00	.

n = 1800 rpm      Tabelul Nr.42

1.	3/60	25	1,250	3/60	25	1,250	2	1,00	.
2.	"	32	1,600	"	36	1,800	4	2,00	.
3.	"	46	2,300	"	46	2,300	8	4,00	.
4.	"	49	2,450	"	49	2,450	13	6,50	.
5.	"	50	2,500	"	50	2,500	16	8,00	.
6.	"	54	2,700	"	54	2,700	19	9,50	.

n = 2400 rpm      Tabelul Nr. 43

1.	3/60	10	0,500	3/60	3	0,450	1	0,50	.
2.	"	29	1,450	"	29	1,450	3	1,50	.
3.	"	37	1,850	"	40	2,000	5	2,50	.
4.	"	44	2,200	"	46	2,300	8	4,00	.
5.	"	48	2,400	"	54	2,700	14	7,00	.
6.	6/60	31,5	3,150	6/60	37,5	3,750	20	10,00	.

n = 3000 rpm      Tabelul Nr.44

1.	3/60	31	1,550	3/60	26	1,300	2,5	1,25	.
2.	"	44	2,200	"	33	1,650	5	2,50	.
3.	"	50	2,500	"	40	2,000	8	4,00	.
4.	"	55	2,750	"	46	2,300	11	5,50	.
5.	"	56	2,800	"	46	2,300	16	8,00	.
6.	6/60	32	3,200	6/60	25	2,500	20	10,00	.

PERIA MG  $p = 4 \text{ A/cm}^2$

n      Tabelul Nr.45

	U(+)			U(-)			n rpm
	V/d	d	V	V/d	d	V	
1.	3/60	47	2,350	3/60	47	2,350	1250
2.	"	49	2,450	"	49	2,450	1500
3.	"	49,8	2,490	"	49,8	2,490	1700
4.	"	50	2,500	"	50	2,500	1900
5.	"	50,6	2,530	"	50,6	2,530	2200
6.	"	51,4	2,570	"	51,4	2,570	2400
7.	"	50	2,500	"	54	2,700	2600

- A 10 -

PERIA MG  $p = 4 \text{ N/cm}^2$

Po = 400 W

Tabelul Nr.46

Nr. crt.	n rpm	p W	J A/cm <sup>2</sup>	V m/s	u	Obs.
1	2	3	4	5	6	7
1.	1350	500	0,50	14,65	0,95	
2.	1400	492	1,50	14,88	0,88	
3.	1500	482	4,50	15,95	0,72	
4.	1600	480	7,00	17,00	0,62	
5.	1650	470	8,50	17,54	0,56	
6.	1700	460	11,00	18,00	0,47	
7.	1750	450	12,50	18,60	0,38	
8.	1800	445	14,00	19,13	0,33	

PERIA EG  $p = 1,2 \text{ N/cm}^2$

Nr. crt.	U(+)		U(-)		I A	J A/cm <sup>2</sup>	Obs.		
	v/d	d	v	v/d					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Parcurs 0 Km			n = 0	rpm		Tabelul Nr.47	
1.	3/60	15	0,750	3/60	8	0,400	3	1,50	
2.	"	15	0,750	"	16	0,800	6	3,00	
3.	"	16	0,800	"	21	1,050	10,5	5,25	
4.	"	19	0,950	"	23	1,150	16	8,00	
5.	"	20	1,000	"	24,5	1,225	18,5	9,25	
6.	"	24	1,200	"	29	1,450	24	12,50	
7.	"	28	1,400	"	36	1,800	30	15,00	

Parcurs 230 Km

n = 0

Tabelul Nr.48

1.	3/60	3,5	0,175	3/60	6,5	0,325	2,5	1,25	
2.	"	6,5	0,325	"	11	0,550	5	2,50	
3.	"	10,5	0,525	"	22	1,100	10	5,00	
4.	"	15	0,750	"	27	1,350	17,5	8,75	
5.	"	19,5	0,975	"	31	1,550	24	12	
6.	"	24	1,200	"	36	1,800	30	15	

Parcurs 1500 Km

n = 0

Tabelul Nr.49

1.	3/60	10	0,500	3/60	50	0,700	5	2,50	
2.	"	14	0,700	"	60	1,200	9,5	4,75	
3.	"	18	0,900	6/60	32	1,400	13	6,50	
4.	"	22	1,100	"	34	1,600	19	9,50	
5.	"	23	1,150	"	35	1,700	22,5	11,25	
6.	"	25	1,250	"	36	1,800	28	14,00	

Parcurs 3100 Km

n = 0

Tabelul Nr.50

1.	3/60	16	0,800	3/60	18	0,900	4	2,00	
2.	"	30	1,950	"	35	1,750	7	3,50	
3.	"	39	1,950	"	48	2,400	12	6,00	
4.	"	43	2,150	"	54	2,700	17	8,00	
5.	"	48	2,400	6/60	32	2,200	24	12,00	
6.	"	51	2,550	"	34	3,400	28	14,00	



Parcurs 4400 Km n = 0								Tabelul Nr.51	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	3/60	16	0,800	3/60	21	1,050	3	1,50	
2.	"	27	1,350	"	30	1,500	6	3,00	
3.	"	37	1,850	"	42	2,100	11	5,50	
4.	"	42	2,100	"	48	2,400	16	8,00	
5.	"	45	2,250	"	50	2,500	21	10,50	
6.	"	40	2,400	"	53	2,650	25,5	12,75	
7.	"	50	2,500	"	55	2,750	27	13,50	

Parcurs 6600 Km n = 0								Tabelul Nr.52	
1.	3/60	4	0,200	3/60	28	1,400	1,5	0,75	
2.	"	12	0,600	"	48	2,400	4,8	2,40	
3.	"	23	1,150	6/60	28	2,800	9,5	4,75	
4.	"	31	1,550	"	29	2,900	15	7,50	
5.	"	35	1,750	"	30	3,000	19	9,50	
6.	"	41	2,050	"	33	3,300	25,5	12,75	
7.	"	49	2,450	"	37	3,700	30	15,00	

Parcurs 15.000 Km n = 0								Tabelul Nr.53	
1.	3/60	8	0,400	3/60	8	0,400	1,5	0,75	
2.	"	22	1,100	"	22	1,100	6	3,00	
3.	"	30	1,500	"	31	1,550	11	5,50	cu colectorul
4.	"	37	1,850	"	41	2,050	17	8,50	rectificat
5.	"	41	2,050	"	42	2,100	22	11,00	și centrat
6.	"	43	2,150	"	44	2,200	27	13,50	

Parcurs x n = 0								Tabelul Nr.54	
1.	3/60	24	1,200	3/60	18	0,900	1	0,50	
2.	"	40	2,000	"	40	2,000	4	2,00	
3.	"	48	2,400	"	50	2,500	8	4,00	
4.	"	50	2,500	"	56	2,800	13	6,50	
5.	"	50	2,500	"	60	2,800	18	9,00	
6.	"	60	3,000	6/60	35	3,500	22	11,00	

n = 1800 rpm								Tabelul Nr. 55	
1.	3/60	29	1,450	3/60	26	1,300	2	1,00	
2.	"	49	2,150	"	36	1,900	6	3,00	
3.	"	51	2,550	"	51	2,550	11	5,50	scînteieri de
4.	"	52	2,600	"	58	2,900	16	8,00	gradul 1 1/4
5.	"	53	2,650	"	60	3,000	20	10,00	1 1/2
6.	"	60	3,000	6/60	34	3,400	24	12,00	

n = 2400 rpm								Tabelul Nr.56	
1.	3/60	27	1,350	3/60	30	1,500	2	1,00	
2.	"	42	2,100	"	53	2,650	7	3,50	
3.	"	45	2,250	"	60	3,000	11	5,50	
4.	"	47	2,350	6/60	34	3,400	14	7,00	
5.	"	47	2,350	"	36	3,600	18	9,00	
6.	"	4	2,250	"	34	3,400	25	12,50	Au dispărut scînteile

n = 3000 rpm      Tabelul Nr. 57

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	3/60	28	1,400	3/60	35	1,750	3	1,50	
2.	"	40	2,000	"	50	2,500	8	4,00	
3.	"	46	2,300	"	52	2,600	11	5,50	
4.	"	49	2,450	"	61	3,050	15	7,50	
5.	"	50	2,500	"	62	3,100	17	8,50	
6.	"	50	2,500	6/60	38	3,800	25	12,50	1 1/4

PERIA EG p = 1,2 N/cm<sup>2</sup>

j = 8 A/cm<sup>2</sup>      Tabelul Nr. 58

Nr.	U(+)			U(-)			n	Obs.	
	V/d	d	V	V/d	d	V			
crt.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	3/60	30	1,500	3/60	49	2,450	1200		
2.	"	31	1,550	"	50	2,500	1400		
3.	"	35	1,750	"	52	2,600	1700		
4.	"	37	1,850	"	54	2,700	2000		
5.	"	37	1,850	"	54	2,700	2400		
6.	"	37	1,850	"	54	2,700	2600		
7.	"	49	2,450	"	59	2,950	3000		

PERIA EG p = 1,2 N/cm<sup>2</sup>

Po = 410 W      Tabelul Nr. 59

Nr.	n	P	J	V <sub>k</sub>	u	
						rpm
crt.	1	2	3	4	5	6
1.	1350	515	20	14,32	0,99	
2.	1390	500	4,0	14,90	0,77	
3.	1480	485	5,5	15,50	0,62	
4.	1480	480	7,5	15,73	0,57	
5.	1540	470	9,0	16,37	0,67	
6.	1580	465	11,0	16,79	0,42	
7.	1600	460	14,0	17,00	0,38	

Po = 410 W

Tabelul Nr. 60

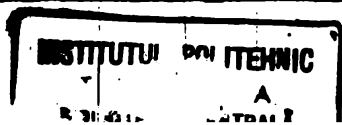
1.	1600	500	0,50	17,00	0,67	
2.	1600	495	-2,50	17,00	0,64	
3.	1620	290	5,00	17,22	0,59	
4.	1650	485	-8,00	17,53	0,54	
5.	1680	480	-9,50	17,85	0,50	
6.	1700	470	-11,00	18,07	0,423	
7.	1720	470	-14,00	18,28	0,418	

PERIA EG p = 2,5 N/cm<sup>2</sup>

Nr.	U(+)			U(-)			I	J	Obs.	
	V/d	d	V	V/d	d	V				
crt.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	3/60	5	0,250	3/60	6	0,300	1,5	0,75		
2.	"	24	1,200	"	25	1,250	8,0	4,00		
3.	"	32	1,600	"	33	1,650	13,0	6,50		
4.	"	38	1,900	"	39	1,950	19,0	9,50		
5.	"	42	2,100	"	43	2,150	24,0	12,00		
6.	"	45	2,250	"	46	2,300	27,0	13,50		

n = 0

Tabelul Nr. 61



n = 1400 rpm										Tabelul Nr.62
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	3/60	13	0,650	3/60	25	1,250	3,0	1,50		
2.	"	20	1,000	"	40	2,000	8,0	4,00		
3.	"	24	1,200	"	48	2,400	11,0	5,50		
4.	"	27	1,350	"	54	2,700	14,0	7,00		
5.	"	31	1,550	"	58	2,900	19,0	9,50		
6.	"	34	1,700	"	63	3,150	22,0	11,00		
7.	"	40	2,000	6/60	34	3,400	30,0	15,00		

n = 1800										Tabelul Nr.63
1.	3/60	18	0,900	3/60	30	1,500	4,5	2,25		
2.	"	26	1,300	"	46	2,300	9,0	4,50		
3.	"	31	1,550	"	54	2,700	13,00	6,50		
4.	"	33	1,650	"	55	2,750	15,00	7,50		
5.	"	35	1,750	"	60	3,000	18,50	9,25		
6.	"	38	1,900	6/60	33	3,300	22,00	11,00		
7.	"	43	2,150	"	36	3,600	28,50	14,25	1 1/4	

n = 2400 rpm										Tabelul Nr.64
1.	3/60	14	0,700	3/60	28	1,400	3,0	1,50		
2.	"	23	1,150	"	45	2,250	7,5	3,75		
3.	"	28	1,400	"	58	2,900	12,0	6,00		
4.	"	29	1,450	6/60	31	3,100	16,0	8,00		
5.	"	29	1,450	"	33	3,300	19,0	9,50		
6.	"	31	1,550	"	34	3,400	21,0	10,50		
7.	"	36	1,800	"	38	3,800	29,0	14,50		

n = 2400 rpm										Tabelul Nr.65
1.	3/60	25	1,250	3/60	38	1,900	2,5	1,25		
2.	"	24	1,200	"	50	2,500	5,0	2,50		
3.	"	30	1,500	"	55	2,750	7,5	3,75		
4.	"	38	1,900	6/60	30	3,00	11,0	5,50		
5.	"	40	2,000	"	34	3,400	15,0	7,50		
6.	"	44	2,200	"	35	3,500	19,0	9,50		
7.	"	46	2,300	"	36	3,600	24,0	12,00		
8.	"	50	2,500	"	39	3,900	30,0	15,00		

PERIA EG p = 2,5 N/cm<sup>2</sup>

j = 8 A/cm <sup>2</sup>										Tabelul Nr.66
Nr. crt.	U(+)			U(-)			n			
	V/d	d	V	V/d	d	V	rpm			
1	2	3	4	5	6	7	8			
1.	3/60	31	1,550	3/60	55	2,750	1400			
2.	"	34	1,700	"	56	2,800	1700			
3.	"	35	1,750	"	60	3,000	2000			
4.	"	35	1,750	"	60	3,000	2200			
5.	"	35	1,750	"	60	3,000	2400			
6.	"	35	1,750	6/60	30	3,000	2600			
7.	"	37	1,850	"	32	3,200	2800			
8.	"	40	2,000	"	33	3,300	3100			

- A 14 -  
PERIA EG p = 2,5 N/cm<sup>2</sup>

Po = 410 "      Tabelul Nr.67

Nr.	n	P	J	V <sub>k</sub>	u	Obs.
crt.	rpm	W	A/cm <sup>2</sup>	m/s	v	
1	2	3	4	5	6	7
1.	1400	530	0,50	15,51	0,39	
2.	1450	520	2,50	15,41	0,36	
3.	1540	500	4,25	16,37	0,28	
4.	1660	480	6,50	17,64	0,20	
5.	1660	480	8,00	17,64	0,20	
6.	1650	500	10,00	17,53	0,26	

PERIA EG p = 4 N/cm<sup>2</sup>

U(+)				U(-)			I	J	Obs.
v/d	d	v		v/d	d	v	A	A/cm <sup>2</sup>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n = 400 rpm      Tabelul Nr.68									
1.	3/60	17	0,850	3/60	30	0,150	3,5	1,75	
2.	"	24	1,200	"	41	2,050	8,0	4,00	
3.	"	29	1,450	"	49	2,450	13,0	6,50	
4.	"	32	1,600	"	52	2,600	17,5	8,75	
5.	"	46	2,300	"	56	2,800	23,0	11,50	

n = 1800 rpm      Tabelul Nr.69

1.	3/60	16	0,800	3/60	24	1,200	2,0	1,00	
2.	"	24	1,200	"	35	1,750	5,5	2,75	
3.	"	30	1,500	"	43	2,150	9,0	4,50	
4.	"	34	1,700	"	48	2,400	12,0	6,00	
5.	"	39	1,950	"	56	2,800	15,5	7,75	
6.	"	40	2,000	"	60	3,000	18,0	9,00	
7.	"	45	2,250	6/60	33	3,300	24,0	12,00	

n = 2400 rpm      Tabelul Nr.70

1.	3/60	17	0,850	3/60	26	1,300	2,5	1,25	
2.	"	30	1,500	"	44	2,200	7,0	3,50	
3.	"	34	1,700	"	52	2,600	11,0	5,50	
4.	"	38	1,900	6/60	31	3,100	15,5	7,75	
5.	"	41	2,050	"	34	3,400	19,5	9,75	
6.	"	46	2,300	"	36	3,600	26,0	13,00	1 1/4

n = 3000 rpm      Tabelul Nr.71

1.	3/60	8	0,400	3/60	13	0,650	1,5	0,50	
2.	"	24	1,200	"	37	1,850	4,5	2,25	
3.	"	32	1,600	"	48	2,400	7,0	3,50	
4.	"	36	1,800	"	55	2,750	10,0	5,00	
5.	"	36	1,800	6/60	32	3,200	13,5	6,75	
6.	"	38	1,900	"	34	3,400	17,5	8,75	
7.	"	40	2,000	"	36	3,600	22,0	11,00	

PERIA EG  $p = 4 \text{ N/cm}^2$

$j = 8 \text{ A/cm}^2$  Tabelul Nr.72

Nr. crt.	U(+)			U(-)			n rpm	Obs.
	V/d	d	V	V/d	d	V		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	3/60	29	1,450	3/60	56	2,800	1300	
2.	"	32	1,600	"	57	2,850	1540	
3.	"	34	1,700	"	61	3,050	1800	
4.	"	35	1,750	6/60	33	3,300	2000	
5.	"	36	1,800	"	34	3,400	2200	
6.	"	37	1,850	"	37	3,700	2400	
7.	"	37	1,850	"	39	3,900	2600	
8.	"	37	1,850	"	36	3,600	2800	
		36	1,800	"	36	3,600	3000	

PERIA EG  $p = 4 \text{ N/cm}^2$

$P_o = 390 \text{ W}$  Tabelul Nr.73

Nr. crt.	n rpm	P W	J A/cm <sup>2</sup>	V <sub>k</sub> m/s	u -	Obs.
1.	1500	550	0,50	15,90	0,32	
2.	1500	560	1,50	15,94	0,34	
3.	1550	550	2,50	16,47	0,31	
4.	1600	550	4,50	17,00	0,30	
5.	1650	548	7,00	17,53	0,29	
6.	1650	545	8,50	17,53	0,28	
7.	1650	545	10,00	17,53	0,28	
8.	1650	540	15,00	17,53	0,27	

(0) - 1,2 / m/cm<sup>2</sup>

Rebolul nr. 70

Clasa y ( $\Delta U$ )	$y_i$	$x_i$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	$n_i$	$A_i$	$A_i^2$	$A_i^3$	$A_i^4$	$A_i^5$	$A_i^6$	$A_i^7$	$A_i^8$	$A_i^9$	$A_i^{10}$	$A_i^{11}$	$A_i^{12}$	$\sigma_y^2$	$\sigma_y$	
1,6 - 2,2	2,0	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4,0	16,00	64,00	256,00	1024,00	4096,00	16384,00	65536,00	262144,00	1048576,00	4194304,00	16777600,00	0,20	0,447	
2,2 - 2,8	2,5	1	2	-	2	-	-	-	-	-	-	5	12,5	156,25	1978,75	24726,25	309103,125	3863789,0625	48297363,28125	603717040,8203125	7546463010,25390625	94330787628,125	1179134845351,5625	14739185566894,53125	0,20	0,53	
2,8 - 3,2	3,0	-	1	-	-	-	2	-	-	-	2	5	15,0	225,00	3375,00	50625,00	759375,00	11390625,00	170859375,00	2562890625,00	38443359375,00	576650390625,00	8649755812500,00	129746337187500,00	0,25	0,55	
3,2 - 3,8	3,5	2	2	-	1	-	1	-	-	-	-	6	21,0	441,00	9261,00	194481,00	4082169,00	85725541,00	1799936169,00	37398757551,00	771373908571,00	15878851080091,00	32734566268281,00	67252599153841,00	0,25	0,50	
3,8 - 4,2	4,0	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	3	12,0	144,00	1728,00	20736,00	248832,00	2985984,00	35831808,00	429981696,00	5159780352,00	61917364224,00	743008370688,00	891610044832,00	0,20	0,45	
4,2 - 4,8	4,5	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	4	18,0	324,00	5832,00	104976,00	1889568,00	34012224,00	612220032,00	11019960704,00	198359292736,00	3570467269248,00	64278411846400,00	11770114132224,00	0,25	0,50	
4,8 - 5,2	5,0	2	-	2	2	3	-	-	1	-	-	10	50,0	2500,00	125000,00	6250000,00	312500000,00	15625000000,00	781250000000,00	39062500000000,00	1953125000000000,00	97656250000000000,00	488281250000000000,00	24414062500000000000,00	0,25	0,5	
5,2 - 5,8	5,5	-	-	-	-	-	-	1	-	-	4	5	27,5	756,25	20925,375	585937,50	16354125,00	452863062,50	12452363281,25	341212500000,00	9200583750000,00	24726406250000,00	66191625000000,00	175512500000000,00	0,25	0,53	
Total $n_{\Sigma 1}$	$\Sigma n_{\Sigma 1}$	$n$	8	6	2	6	4	4	2	2	2	40	160	640,00	2560,00	10240,00	40960,00	163840,00	655360,00	2621440,00	10485760,00	41943040,00	167776000,00	6711040000,00	26848000000,00	1,2	1,1
$\Sigma x_i$	$B_1$	32	30	12	42	32	36	20	66	24	294																
$\Sigma x_i^2$	$B_2$	128	150	72	204	256	304	200	726	268	2430																
$\Sigma x_i^3$	$B_3$	28	19	10	22,5	19	15	9,5	31	6	160																
$\Sigma x_i^4$	$B_4$	112	95	60	157,5	102	132	99	341	72	1219,5																
$\Sigma x_i^5$	$B_5$	0,500	0,750	0,300	1,750	0,900	0,900	0,500	1,550	0,600	7,35																
$\Sigma (x_i - \bar{x})^2$	$B_5$	-3,35	-2,35	-1,35	-0,35	0,65	1,65	2,65	3,65	4,65	5,65																
$\Sigma (x_i - \bar{x})^2$	$B_6$	11,2225	5,5225	1,8225	0,1225	0,4225	2,7225	7,0225	13,3225	21,6225	33,0225																
$\Sigma (x_i - \bar{x})^2$	$B_7$	89,750	33,135	3,645	0,735	1,930	10,090	10,045	79,935	43,245	277,1																
$\sigma_x^2$	$\sigma_x^2$											6,9275															
$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2}$	$\sigma_x$											2,63															

$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2}$   $\sigma_x$

Pentru (0) - 1,2 / m/cm <sup>2</sup>	Rebolul nr. 70
$y_i$	$R^2$
2,0	-1,82
2,5	-1,36
3,0	-0,91
3,5	-0,45
4,0	0
4,5	0,45
5,0	0,91
5,5	1,36



(0) = 4/N/σ²

total no. 79

Class (j)	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	Total	ΣX <sub>j</sub> Y <sub>j</sub>	ΣY <sub>j</sub> <sup>2</sup>	ΣX <sub>j</sub> <sup>2</sup>	ΣX <sub>j</sub> Y <sub>j</sub>	ΣX <sub>j</sub>	ΣY <sub>j</sub>	Y <sub>j</sub>	(Y <sub>j</sub> -ȳ)	(Y <sub>j</sub> -ȳ) <sup>2</sup>	(Y <sub>j</sub> -ȳ) <sup>3</sup>	(Y <sub>j</sub> -ȳ) <sup>4</sup>	
Class (ΔT)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	79	41	144	100	157	79	12	12	0	0	0	0	
0,8 - 1,2	1,0	2	-	-	2	-	-	-	-	-	4	4,00	4,00	10	10	0,145	-0,81	0,656	2,624				
1,2 - 1,6	1,5	-	2	1	4	1	4	-	2	-	14	21,00	31,50	96	144	0,777	-0,51	0,296	0,159				
1,6 - 2,0	2,0	-	-	1	-	-	-	1	-	-	2	4,00	8,00	14	28	0,148	0,19	0,036	0,072				
2,0 - 2,4	2,5	-	-	-	-	-	2	1	1	-	4	10,00	25,00	31	77,50	0,770	0,69	0,476	1,604				
2,4 - 2,8	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3,00	9,00	7	21	0,111	1,19	1,410					
2,8 - 3,2	3,5	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2	7,00	24,50	13	66,50	0,259	1,69	2,860	5,920				
3,2 - 4,2	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Total n <sub>j</sub>	2	2	2	2	6	4	6	2	2	1	27	49	102,00	185	355	1,91	2,64	5,534	11,964				
ΣX <sub>j</sub> <sup>0</sup> XY	h <sub>1</sub>	6	8	10	36	28	48	18	20	11	185												
ΣX <sub>j</sub> <sup>2</sup> h <sub>XY</sub>	B <sub>2</sub>	18	32	50	216	196	384	162	200	121	1379												
ΣY <sub>j</sub> <sup>2</sup> h <sub>XY</sub>	B <sub>3</sub>	2	3	3,5	8	9,5	12	4,5	3	3,5	49												
ΣX <sub>j</sub> ΣY <sub>j</sub>	B <sub>4</sub>	6	12	17,5	48	66,5	96	40,5	30	36,5	355												
(x <sub>1</sub> - x <sub>0</sub> )	B <sub>5</sub>	0,202	0,296	0,370	1,333	1,077	1,777	0,666	0,740	0,407	6,840												
(x <sub>1</sub> - x <sub>0</sub> )	B <sub>5</sub>	-3,848	-2,848	-1,848	-0,848	0,152	1,152	2,152	3,152	4,152	1,366												
(x <sub>1</sub> - x <sub>0</sub> ) <sup>2</sup>	B <sub>5</sub>	14,897	8,111	3,415	0,719	0,023	1,327	4,630	9,935	17,239	60,21												
(x <sub>1</sub> - x <sub>0</sub> ) <sup>3</sup>	B <sub>5</sub>	29,61	16,22	6,93	4,31	0,092	7,96	9,26	19,87	17,23	111,79												
(x <sub>1</sub> - x <sub>0</sub> ) <sup>4</sup>	B <sub>5</sub>	1,09	0,50	0,25	0,16	0,003	0,29	0,34	0,735	0,64	4,11												
σ <sub>X</sub>											2,02												
σ <sub>X</sub>																							

Kerilla (0) = 4/N/σ²

total no. 79

Y <sub>j</sub>	8	2 <sup>2</sup>	σ <sup>2</sup>	r(y)	r(x)
1,0	-1,220	1,408	0,744	0,475	0,108
1,5	-0,407	0,218	0,109	0,896	0,31800
2,0	0,206	0,002	0,041	0,960	0,01320
2,5	1,040	1,082	0,500	0,502	0,05080
3,0	1,790	3,204	1,502	0,202	0,096327
3,5	2,540	6,456	3,225	0,040	0,016
					0,99446



( $\sigma$ ) - 2,5 /  $\sqrt{n} / \sigma^2 /$

Tabulul nr. 90

01000 (KJ) 1,5 2,5 3,5 4,5 5,5 6,5 7,5 8,5 9,5 10,5 total 2001  $\sum x_i$   $\sum x_i^2$   $\sum x_i^3$   $\sum x_i^4$   $\sum x_i^5$   $\sum x_i^6$   $\sum x_i^7$   $\sum x_i^8$   $\sum x_i^9$   $\sum x_i^{10}$   $\sigma^2$

Close $\sqrt{n} \Delta x$	$\sqrt{n} x_i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\sigma^2$
0,2 - 1,5	1,0	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
1,2 - 1,3	1,5	4	5	-	-	-	-	-	-	-	-	9
1,8 - 2,2	2,0	-	2	4	-	2	-	2	-	-	-	12
2,2 - 2,3	2,5	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	15
2,8 - 3,2	3,0	-	1	-	1	1	1	-	1	-	-	5
3,2 - 3,3	3,5	-	-	1	1	-	2	-	-	-	-	4
Total $\sum x_i$		12	3	3	4	3	2	2	4	2	2	50
$\sum x_i^2$		12	16	12	32	20	36	14	32	18	20	202
$\sum x_i^3$		12	36	35	128	50	216	98	256	162	200	1190
$\sum x_i^4$		17,5	1,5	10	19,5	3,5	1,5	5	9,5	5	5	109
$\sum x_i^5$		1,5	31	30	78	27,5	39	35	76	45	50	489
$\sum (x_i - \bar{x})$		0,24	0,72	0,24	0,64	0,2	0,72	0,24	0,64	0,36	0,4	4,04
$\sum (x_i - \bar{x})^2$		-3,04	-2,04	-1,04	-0,04	0,36	1,05	2,06	3,96	4,96	5,96	14,6
$\sum (x_i - \bar{x})^3$		3,2416	4,1016	1,0816	0,0016	3,3216	3,3416	8,7616	15,6016	24,6016	35,5216	103,916
$\sum (x_i - \bar{x})^4$		110,9	32,3	4,326	0,0138	1,94	23,05	17,52	68,73	47,2	71,04	373,92
$\sigma^2$		2,218	0,666	0,686	0	0,0369	0,461	0,75	1,295	0,994	1,421	7,49

$\sigma^2 = 9,684$

Verille ( $K$ ) - 2,5 /  $\sqrt{n} / \sigma^2 /$  Tabulul nr. 91

$\gamma$	$K$	$\sigma^2$	$K(\gamma)$	$P(\sigma)$
1,0	-1,725	2,975	1,487	0,2260 0,090 0,04230
1,5	-0,394	0,906	0,474	0,6100 0,242 0,16000
2,0	-0,263	0,069	0,035	0,9556 0,384 0,39620
2,5	0,469	0,219	0,110	0,9960 0,357 0,08000
3,0	1,199	2,386	1,193	0,3020 0,120 0,98000
3,5	1,930	3,725	1,960	0,1550 0,061 0,96000



( 80 ) - 1,2 / m/cm<sup>2</sup> /

Relevé no. 80

Class (A)	2,5-3,5	3,5-4,5	4,5-5,5	5,5-6,5	6,5-7,5	7,5-8,5	8,5-9,5	9,5-10,5	10,5-11,5	11,5-12,5	TOTAL	$\sum X$	$\sum X^2$	$\sum X^3$	$\sum X^4$	$\sum X^5$	$\sum (y-x)$	$\sum (y-x)^2$	$\sum (y-x)^3$	$\sigma^2$
Class 7 (Δu) / X	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	93	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7		$\sigma^2$
1,0-1,2	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,2-1,9	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,8-2,2	2,0	4	1	-	-	-	-	-	-	-	5	10	20	16	32	0,278	-0,573	0,770	0,39	0,187
2,2-2,8	2,5	-	2	3	4	2	2	3	1	-	18	45	112,5	126	315	1,204	-0,773	0,136	2,45	0,089
2,8-3,2	3,0	2	1	1	-	1	2	-	1	1	10	30	90	215	215	0,955	0,121	0,017	0,179	0,052
3,2-4,0	4,0	-	-	-	-	1	-	1	-	1	9	19,5	36,75	27	94,5	0,292	0,154	0,305	1,155	0,034
Total N <sub>1</sub>	1	10	15	20	24	24	24	24	20	22	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
$\sum X^0$	1	10	15	20	24	24	24	24	20	22	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
$\sum X^1$	1	10	15	20	24	24	24	24	20	22	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
$\sum X^2$	1	10	15	20	24	24	24	24	20	22	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
$\sum X^3$	1	10	15	20	24	24	24	24	20	22	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
$\sum X^4$	1	10	15	20	24	24	24	24	20	22	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
$\sum X^5$	1	10	15	20	24	24	24	24	20	22	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
$\sum (X - \bar{X})$	0	-3,89	-2,89	-1,89	-0,89	0,11	1,11	2,11	3,11	4,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11
$\sum (X - \bar{X})^2$	0	15,200	8,400	3,560	0,780	0,121	1,230	4,450	9,690	16,990	26,204	86,75	104,50	104,50	104,50	104,50	104,50	104,50	104,50	104,50
$\sum (X - \bar{X})^3$	0	-21,2	-33,5	-14,24	-3,10	0,488	4,32	10,60	19,30	33,30	32,40	272,98	324,00	324,00	324,00	324,00	324,00	324,00	324,00	324,00
$\sum (X - \bar{X})^4$	0	2,530	0,925	0,396	0,0876	0,0135	0,250	0,736	0,340	1,455	7,56	24,75	24,75	24,75	24,75	24,75	24,75	24,75	24,75	24,75
$\sum (X - \bar{X})^5$	0	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Profile ( 80 ) - 1,2 / m/cm<sup>2</sup> / Interval no. 85

Y <sub>1</sub>	Z	Z <sup>2</sup>	Z <sup>3</sup>	Z <sup>4</sup>	Z <sup>5</sup>
2,0	-1,30	1,69	-2,197	2,856	-3,716
2,5	-0,82	0,67	-0,550	0,451	-0,370
3,0	0,26	0,07	0,018	0,005	0,001
3,5	1,34	1,80	2,418	3,240	4,333

$(10) = 2,5 / 10 / \text{cm}^2 /$

Tabelul nr. 66

Clasa $x_i$	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	Total	$\sum x_i$	$\sum x_i^2$	$\sum x_i y_i$	$\sum (y - \bar{y})$	$\sum (y - \bar{y})^2$	$\sum (x - \bar{x})^2$	$\sum (x - \bar{x}) y_i$	$r^2$
Clasa $y_i$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	$\sum y_i$	61	61	61	0	0	0	0	0,74
0,9 - 1,2	1,5	-	2	-	-	-	-	-	-	-	2	2	2	2	2	2	2	2	0,0225
1,2 - 1,5	1,5	1	5	1	4	2	1	3	1	1	19	28,5	42,5	122	18,5	0,9925	-0,66	0,4356	6,566
1,5 - 2,2	2,0	-	-	1	1	1	-	1	-	-	5	15	20,0	30	76	0,2127	-0,16	0,0256	0,256
2,2 - 2,5	2,5	1	3	1	1	2	-	-	-	1	9	22,5	50,25	52	130	0,4787	0,34	0,1156	1,040
2,5 - 3,2	3,0	-	-	1	1	1	2	2	-	-	6	18	54,0	48	144	0,3529	0,34	0,1156	4,236
3,2 - 3,8	3,5	-	-	-	-	1	-	2	1	1	6	21	73,5	58	253	0,4468	1,34	1,7756	10,773
Total $n_i$	2	10	4	7	6	2	8	2	4	2	47	102	240,25	326	744	2,16	0,54	4,4236	25,560
$\sum x_i^2$	12	60	45	42	42	16	72	26	44	28	328								
$\sum x_i y_i$	15	160	100	252	234	128	648	280	494	208	2372								
$\sum y_i^2$	9	17	9	14,5	12,5	4,5	10,5	5	10	6,9	102								
$\sum x_i y_i^2$	12	60	45	42	42	16	72	26	44	28	328								
$\sum x_i^2 y_i$	0,1276	0,3918	0,2255	0,2936	0,2936	0,1204	1,45319	0,4225	0,9361	0,5108	6,94								
$\sum (x_i - \bar{x})$	-3,94	-2,94	-1,94	-0,94	0,06	1,06	2,06	3,06	4,06	5,06	5,6								
$\sum (x_i - \bar{x})^2$	15,52	8,64	3,76	0,88	0,0036	1,1236	4,2436	9,3636	16,4836	25,6036	46,68								
$\sum (x_i - \bar{x})^2 y_i$	31,04	86,40	14,04	8,16	0,0016	2,2472	33,94816	7,27	6,29	31,2	303,72								
$r^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 y_i}{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum y_i}$	0,06	1,9393	0,2897	2,101	0	0,2478	0,7223	0,338	1,4028	1,089	6,59								
$r = \sqrt{r^2}$											2,57								

Peritula ( ) = 2,5 / N / cm<sup>2</sup> / Tabelul nr. 67

$x_i$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$f(x_i)$	-1,560	2,46	1,230	0,230	0,115	0,0990
$f^2(x_i)$	-0,998	0,60	0,400	0,6700	0,367	0,1868
$f(x_i) y_i$	-0,220	0,05	0,025	0,9753	0,308	0,71290
$f(x_i) y_i^2$	0,460	0,21	0,105	0,9300	0,350	0,67720
$f(x_i) y_i^3$	1,135	1,29	0,645	0,5230	0,209	0,07180
$f(x_i) y_i^4$	1,010	3,28	1,640	0,1930	0,077	0,96405

(S<sub>1</sub>) = 4 / (n/n<sub>1</sub><sup>2</sup>)

TABLE 10.00

CLASS	$f$	$f \cdot X$	$f \cdot X^2$	$f \cdot Y$	$f \cdot Y^2$	$f \cdot XY$	$\sum f$	$\sum f \cdot X$	$\sum f \cdot X^2$	$\sum f \cdot Y$	$\sum f \cdot Y^2$	$\sum f \cdot XY$	$r$
-------	-----	-------------	---------------	-------------	---------------	--------------	----------	------------------	--------------------	------------------	--------------------	-------------------	-----

0,8 - 1,2	1,0	1	-	-	-	-	1	1,0	1,00	3,0	9,00	0,0263	-1,22	1,4884	1,4884	0,0391
1,2 - 1,8	1,5	3	2	1	2	-	9	13,5	20,25	43,0	64,50	0,3552	-0,72	0,5184	4,6656	0,1228
1,8 - 2,2	2,0	1	2	1	-	1	11	22,0	44,00	78,0	156,00	0,5789	-0,22	0,0484	0,5280	0,1014
2,2 - 2,8	2,5	1	-	2	2	1	10	25,0	62,50	76,0	190,00	0,6579	0,28	0,0784	0,7604	0,2206
2,8 - 3,2	3,0	-	-	-	1	1	5	9,0	27,00	24,0	72,00	0,2368	0,78	0,6084	1,6252	0,046
3,2 - 3,8	3,5	-	-	-	-	1	4	14,0	49,00	42,0	147,00	0,3684	1,28	1,6384	6,5536	0,1725
TOTAL	6	4	4	4	2	4	38	94,5	203,75	266	632,50	2,22	0,18	4,38	15,84	0,417

$r = 0,65$

POSSIBLE (S<sub>2</sub>) = 4 / (n/n<sub>2</sub><sup>2</sup>)

$\sum (x_1 - x_0)$	1,0	-1,000	3,030	1,725	0,1720	0,0665	-0,0305
$\sum (x_1 - x_0)^2$	3,6	1,6	9	4	1	0,3430	0,2160
$\sum (x_1 - x_0)^2 \cdot f_{xy}$	96	36	16	4	0	0,3760	0,56700
$r^2$	2,2863	0,3973	0,4210	0,1052	0	0,1052	0,6532
$r_x$	0,4737	0,4210	0,6316	0,3680	0,3421	1,4210	0,5260
$r_y$	0,4737	0,4210	0,6316	0,3680	0,3421	1,4210	0,5260

$r_x$

$r_y$

1,0	1,200	1,400	0,720	0,4060	0,1930	0,8890
1,5	1,700	3,000	1,940	0,1430	0,0570	0,9758