

INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA" TIMIȘOARA  
FACULTATEA DE ELECTROTEHNICĂ

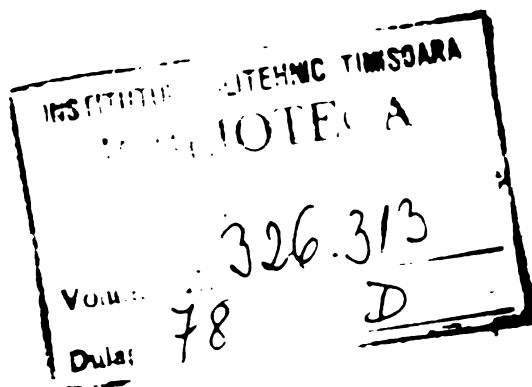
Ing. OCTAVIAN GLIGOR

CONTRIBUȚII LA DIMENSIONAREA ȘI FUNCȚIONAREA  
CUPLAJELOR ELECTROMAGNETICE CU FRICTIUNE ÎN  
SISTEMELE DE ACȚIONARE ELECTRICE.

- Teză de doctorat -

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICĂ"  
TIMIȘOARA

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC,  
Prof. dr. ing. EUGEN ȘERACIN



- 1977 -



INTRODUCERE . . . . .	1
<b>CAP.1. STADIUL ACTUAL IN CONSTRUCȚIA SI UTILIZAREA CUPLAJELOR ELECTROMAGNETICE CU FRICTIUNE IN SISTEMELE DE ACȚIONARE.</b>	
1.1. Considerații generale . . . . .	5
1.2. Structura constructivă și particularitățile de utilizare în sistemele de acționare electrice . . . . .	10
1.3. Alimentarea, comanda și protecția cuplajelor electromagnetice cu fricțiune . . . . .	26
<b>CAP.2. BAZELE TEORETICE ALE PROCESULUI TRANSMITERII PUTERII PRIN CUPLAJE ELECTROMAGNETICE CU FRICȚIUNE.</b>	
2.1. Considerații asupra procesului de ambreiere . . .	33
2.1.1. Regimul stabilizat . . . . .	34
2.1.2. Regimul tranzitoriu . . . . .	37
2.2. Particularități ale fenomenelor tranzitorii determinate de funcționarea cuplajelor electromagnetice cu fricțiune . . . . .	43
2.3. metode de analiză ale fenomenelor tranzito- rii la scări mici prin cuplaje electromagne- tice cu fricțiune .	
2.3.1. Considerații generale . . . . .	50
2.3.2. Metoda analitică . . . . .	61
2.3.3. Metoda grafo-analitică . . . . .	67
2.3.4. Metoda modelării analogice . . . . .	69
2.4. Bilanțul energetic al cuplajelor electro- magnetice cu fricțiune . . . . .	78
<b>CAP.3. O NOUA METODA PENTRU CALCULUL DE DIMENSIONARE ELECTROMAGNETICĂ A CUPLAJELOR CU POSIBILITĂȚI DE OPTIMIZARE.</b>	
3.1. Considerații asupra metodelor de dimensionare . .	83
3.2. Calculul electromagnetic preliminar.	
3.2.1. Considerații generale . . . . .	85
3.2.2. Marimile principale ce se stabilesc prin calculul preliminar . . . . .	86

3.2.3. Calculul dimensiunii determinante a nucleului (d) a parametrilor circuitului magnetic și ai înfașurării de excitație . . . . .	89
3.2.4. Criterii pentru alegerea parametrilor calculului preliminar . . . . .	98
3.3. Calculul electromagnetic final . . . . .	115
<b>CAP.4. INSTALAȚII EXPERIMENTALE ȘI METODICA DE CERCETARE.</b>	
4.1. Instalații experimentale.	
4.1.1. Structura instalațiilor experimentale . . . . .	122
4.1.2. Sistemul de acționare electrică. . . . .	124
4.1.3. Batiul și elementele moduli . . . . .	127
4.1.4. Echipamentul de alimentare, comandă și protecție a cuplajelor . . . . .	129
4.1.5. Instalația de lubrificare-răcire . . . . .	133
4.1.6. Echipamentele de măsurare și înregistra- re a informației . . . . .	134
4.2. Montaje experimentale și metodică de cercetare.	
4.2.1. Montajul și metodică experimentală pentru cercetarea procesului ambreierii . . . . .	136
4.2.2. Montajul și metodică experimentală pentru cercetarea cuplului rezidual . . . . .	139
4.2.3. Verificarea experimentală a funcționării cuplajelor electromagnetice încorporate în transmisia principală a strungului re- volver MKO-40 . . . . .	143
4.2.4. Montaje pentru determinarea caracteristici- lor statice și dinamice ale electromagne- ților de acționare și ale CEF . . . . .	146
<b>CAP.5. REZULTATE EXPERIMENTALE.</b>	
5.1. Cercetarea experimentală a cuplului comutabil și a procesului de ambreiere . . . . .	152
5.2. Determinarea experimentală a cuplului re- zidual . . . . .	164
5.3. Verificarea teoretică și experimentală a funcțio- nării cuplajelor în sistemul de act. al unui strung.	175
<b>CAP.6. CONCLUZII FINALE . . . . .</b>	
BIBLIOGRAFIE . . . . .	189

## INTRODUCERE

Sistemele de acționare electrică din construcția modernă de mașini, cuprind frecvent pe anumite porțiuni ale lanțului cinematic al transmisiei mecanice, dispozitive comandate pentru comutarea fluxului energetic de tipul "cuplaj electromagnetic cu fricțiune".

Simplitatea constructivă, caracterul amortizor și de siguranță, gabaritul redus, vitezele mari de comutare și posibilitățile practice nelimitate de telecomandă, constituie cele mai importante argumente pentru perfecționarea cuplajelor electromagnetice cu fricțiune și lărgirea continuă a domeniilor de aplicații.

Dezvoltarea și diversificarea acestor dispozitive exercită o puternică influență asupra soluțiilor tehnico-economice legate de introducerea și dezvoltarea automatizării mașinilor și utilajelor.

Cu toate că domeniul de utilizare este foarte vast [4, 6, 8, 30, 34, 42, 88, 90, 108, 112, 115, 116, 117, 118, 119, 128 și 145], începând cu servomecanisme instrumentale și terminând cu utilaje tehnologice, în sistemele de acționare electrică automatizate ponderea principală a aplicațiilor se limitează în prezent la o gamă mai restrânsă de puteri (de la zeci de W la zeci de kW).

Față de interesul crescând manifestat utilizării cuplajelor electromagnetice cu fricțiune, asistăm la un proces intensificat de studiere a tuturor problemelor care vizează ameliorarea performanțelor funcționale, a fiabilității și modernizarea mijloacelor electrice de comandă și protecție.

Cele mai importante contribuții pe plan mondial în domeniul soluțiilor tehnologice și a studiilor teoretico-experimentale, au fost aduse încă de la începutul deceniului al V-lea al secolului nostru de către cercetători din Germania,

U.R.S.S., S.U.A. și Franța, cînd apar primele aplicații remarcabile ale dispozitivelor amintite.

Folosind mijloace de investigație din ce în ce mai subtile, cercetări laborioase atacă majoritatea trăsăturilor particulare ale procesului transmiterii de putere 8, 11, 15, 27, 30, 56, 88, 89, 130, 132 și 137 corespunzătoare celor mai diverse regimuri funcționale. De asemenea se desfășoară o susținută preocupare în direcția perfecționării metodelor de proiectare mecanică și electromagnetică a cuplajelor și de alegere corespunzătoare a acestora pentru echiparea sistemelor de acționare. Se manifestă un interes major și în direcția îmbunătățirii tehnologiei de fabricație, obținerii unor noi materiale de fricțiune, feromagnetice și electroizolante cu calități superioare, pentru reducerea greutateii și a gabariturii, mărirea fiabilității și reducerea prețului de cost.

După cum rezultă, tematica aflată în atenția cercetătorilor acoperă un spectru larg de probleme conexe de natură electrică și electronică, mecanică, termică și tribologică:

Studiile cu caracter monografic redactate în domeniul cuplajelor de W. Pampel [95], K. Stübner și W. Rüggen [125], Brondel J. [28], S. A. Ivanov [65], V. S. Poliacov [98], J. A. Bolek și V. Krejci [21], D. Boiangiu [20] și a cuplajelor electromagnetice cu fricțiune de W. Baumann [7], P. M. Vorobieva [138], W. Petczewski [97], S. Procopovici [102] și alții, abordează sistematic o parte din aspectele menționate anterior.

Dezvoltarea impetuoasă a industriei naționale constructoare de mașini pe fondul diversificării continue a producției cu obiective de realizare a unor mașini și utilaje de mare complexitate, introducerea pe scară largă a automatizării competitive pe plan mondial, a impus ca o necesitate asimilarea și fabricarea în țară a cuplajelor electromagnetice.

În consecință, exploatarea calităților acestor produse, diversificarea și extinderea continuă a gamei de fabricație, constituie principalele probleme de actualitate deschise pentru cercetare.

Trebuie avut în vedere că fundamentarea teoretică imperfectă și incompletă, se reflectă în proiectare prin folosirea unor metode simplificate de calcul, ceea ce face imposibilă interpreta-

rea unitară și multilaterală a dimensionării și funcționării cuplajelor electromagnetice într-un sistem de acționare electrică dat.

Reconsiderarea acestor probleme este impusă de necesități tot mai mari de echipament electromecanic, de sporirea neîntreruptă a vitezelor de lucru a mașinilor în condiții de precizie cinematică ridicată și de scădere continuă a timpilor auxiliari.

Pornind de la stadiul actual al cercetărilor, teza de doctorat își propune ca obiectiv principal să aducă unele contribuții teoretice și experimentale în legătură cu dimensionarea, construcția și funcționarea cuplajelor electromagnetice cu fricțiune din componența sistemelor electrice de acționare.

În ultimii ani, prin crearea unei baze tehnico-materiale adecvate la Institutul politehnic "Traian Vuia" din Timișoara, s-a inițiat cercetarea sistematică a cuplajelor electromagnetice cu fricțiune. În cadrul acestei acțiuni, solicitată prin contracte de cercetare științifică încheiate de Întreprinderea mecanică din Cugir - singura producătoare de cuplaje electromagnetice cu fricțiune din țară - s-au rezolvat o serie din problemele de bază pe care utilizarea și producția acestor dispozitive le ridicau.

În raport cu obiectivele propuse, studiul teoretic și experimental asupra dimensionării și funcționării cuplajelor electromagnetice cu fricțiune, aduce următoarele contribuții mai importante, pe capitole :

1. - Pe baza unei analize sistematice a particularităților constructive și de utilizare a cuplajelor în sistemele electrice de acționare precum și a mijloacelor de comandă și protecție, autorul a proiectat, realizat și experimentat un nou dispozitiv electronic pentru comanda prin supraexcitație [50] și un dispozitiv universal de comandă a cuplajelor [52], ambele constituind propuneri de invenție aflate în curs de omologare.

2. - Un nou model matematic confirmat experimental ce descrie variația cuplului comutabil în funcție de variația în timp a curentului de excitație. Pe baza acestuia și a ecuațiilor diferențiale ale mișcării elementului conducător și condus, teoria generală a funcționării în regim transitoriu a cu-

plajelor și a sistemelor de acționare în a căror structură sînt înglobate, devine mult mai apropiată de realitate. Relațiile stabilite, spre deosebire de cele acceptate în prezent [11, 14, 124, 130 și 137], oferă analiză atît precizie mai ridicată cît și un grad de generalitate mai mare întrucît își păstrează valabilitatea indiferent de natura comenzilor de cuplare (lente, normale sau rapide).

- S-au stabilit de asemenea principii de rezolvare pe cale analitică, grafo-analitică și model electric, a fenomenelor tranzitorii din sistemele de acționare prevăzute cu cuplaje electromagnetice.

3.- Bazat pe observația că actualele metode de calcul electromagnetic a cuplajelor, prin caracterul lor aproximativ și de verificare, nu conduc decît incidental la obținerea unor soluții raționale, s-a elaborat o metodă originală de calcul cu posibilități de optimizare, care înlătură inconveniențele menționate. Totodată, noua metodă a permis și re proiectarea unor dispozitive existente în scopul ameliorării performanțelor funcționale.

4.- Intrucît cercetarea experimentală a proceselor de natură electromagnetice și tribologică prezintă o importanță deosebită pentru cunoașterea cuplajelor, s-a impus simularea acestor procese în condiții cît mai apropiate de realitate, pe instalații și mijloace de investigație adecvate, în marea lor majoritate de concepție originală.

5.- Studiile teoretice au fost verificate și completate printr-un vast program de cercetări experimentale, ce a avut ca obiective verificarea valabilității ipotezelor admise și furnizarea unor informații utile pentru definirea principalelor caracteristici funcționale și determinarea pierderilor energetice ce apar în regim stabilizat și tranzitoriu de funcționare.

- Pentru calculul electromagnetic preliminar (Cap. 5) și pentru calculul de alegere a cuplajelor, s-au întocmit programe de calcul. Programul întocmit și rezultatele obținute în alegerea cuplajelor electromagnetice, îndeosebi pentru cutiile de viteze sincronizate <sup>x)</sup> specifice mașinilor unelte universale,

x)

Aplicație la cutia de viteze în 16 trepte a strungului revolver SRQ-40.



au scos în evidență posibilitățile și avantajele calculului electronic și în acest domeniu.

Rezultatele studiului în ansamblu, pot servi la perfecționarea metodelor actuale de calcul vizând dimensionarea și funcționarea, precum și înțelegerea mai profundă a proceselor transmiterii puterii mecanice prin intermediul acestor dispozitive electromecanice.

## CAP. I. STADIUL ACTUAL ÎN CONSTRUCȚIA ȘI UTILIZAREA CUPLAJELOR ELECTROMAGNETICE CU FRICTIUNE ÎN SISTEMELE DE ACȚIONARE.

### 1.1. Considerații generale.

Dezvoltarea contemporană a tehnicii este caracterizată de introducerea pe o scară tot mai largă a mecanizării și automatizării complexe a proceselor de producție. Atingerea acestor obiective impune creșterea vitezelor și a puterilor instalate la mașinile motoare și de lucru, concomitent cu mărirea preciziei de execuție și scurtarea timpilor auxiliari.

În privința organelor de comandă, cuplare și reglare, metodele tradiționale cedază treptat locul unor metode bazate pe noi principii, în paralel cu perfecționarea soluțiilor existente.

Referitor la organele de cuplare comandate mecanic [95], mecanismele cu pârghii complicate constructiv și de gabarit mare au cedat locul - cu unele excepții - comenzilor electrice, electrodraulice sau pneumatice, care asigură o reducere substanțială a timpilor caracteristici procesului de ambreiere, permițând totodată centralizarea și automatizarea comenzilor.

Superioritatea incontestabilă a comenzii electrice din punct de vedere calitativ, al siguranței în funcționare și al prețului de cost, a condus la extinderea lor deosebită și implicit a organelor de cuplare de tipul cuplajelor electromagnetice în general. Dintre acestea, cuplajele cunoscute pe plan național și internațional sub denumirea de cuplaje electromag-

netice cu fricțiune (C<sub>2</sub>F)<sup>x)</sup> - al carer studiu constituie obiectul tezei - se încadrează, după cum rezultă, din clasificarea înlocuită în fig.1.1, din punct de vedere mecanic în categoria cuplajelor intermitente cu fricțiune, iar din punct de vedere electric, în clasa dispozitivelor cu electromagneți.

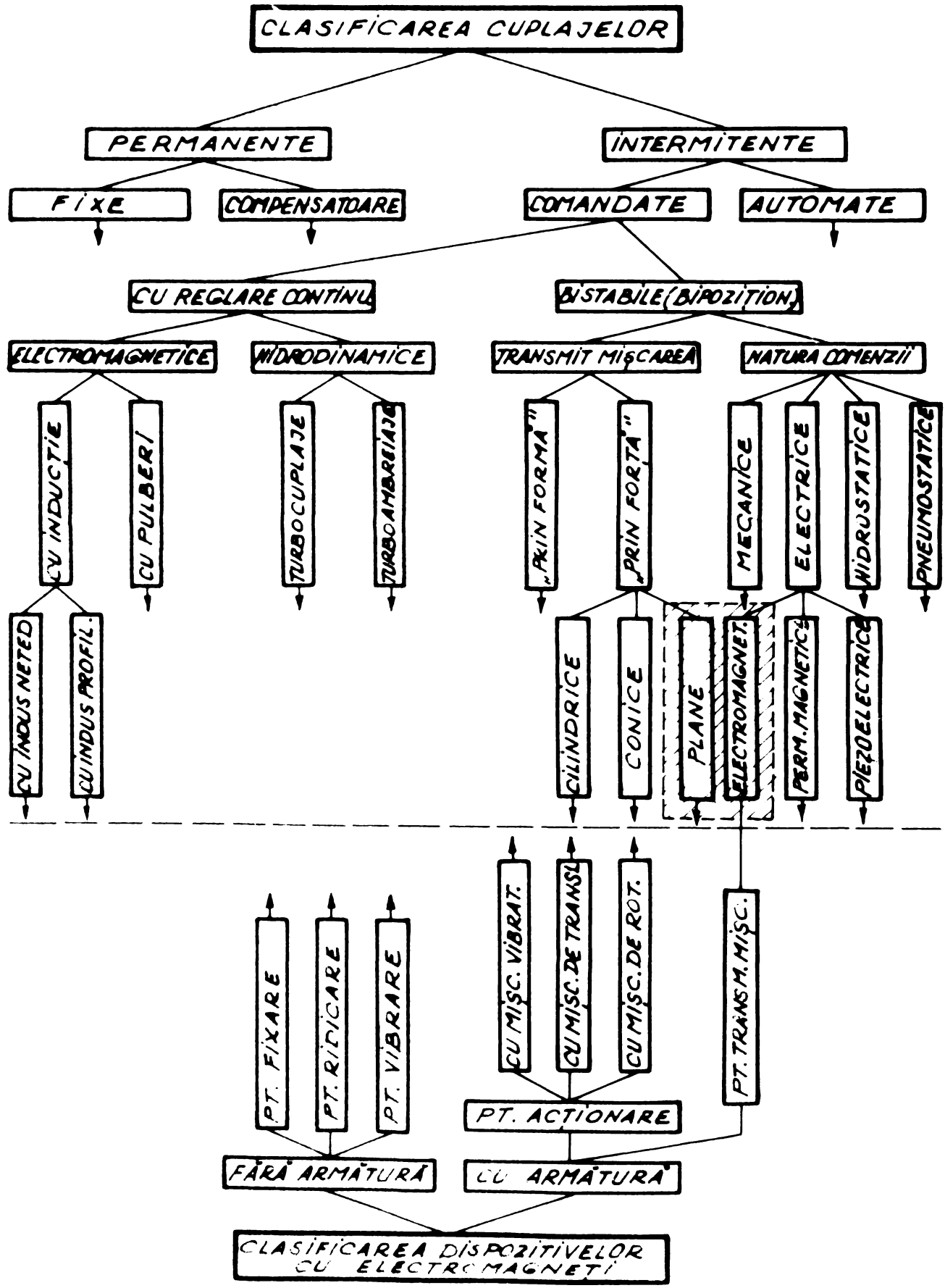


Fig.1.1

x) Cuplaje cu fricțiune comandate electromagnetic

Se menționează că grupa de cuplaje comandate cu reglare continuă a vitezei, exclud, prin natura transmiterii de energie, contactul forțat alunecător, și de aceea asigură o funcționare practic fără uzură. Cu excepția unor soluții constructive speciale de cuplaje cu inducție, la care, în condiții normale de încărcare, polii dispuși pe semicuplajele montate pe arborele motor și cel condus stau mereu față în față și de aceea se rotesc sincron [162], toate celelalte cuplaje cu inducție au dezavantajul că în condiții de exploatare trebuie să lucreze cu alunecare-dependență de sarcină sau controlată funcție de viteză unghiulară a arborelui condus, de cuplul respectiv puterea transmisă-, în consecință funcționarea lor este însoțită de procese disipative importante. Cu toate avantajele pe care le prezintă (referitor la reducerea uzurii, amortizarea oscilațiilor torsionale precum și aplatizarea șocurilor din sistemul de acționare), datorită gabaritelor mari și a prețului de cost relativ ridicat, sfera lor de utilizare este încă restrânsă [101]. Aceleași considerații pot fi făcute și în legătură cu sfera de aplicație a cuplajelor electromagnetice cu pulberi, fără a omite însă faptul că, în cazul pornirilor grele, comportarea lor este ideală și că dau posibilitatea transmiterii mișcării fără alunecare.

Poate la nici-un organ de mașină automatizarea nu a exercitat o influență atât de mare ca asupra cuplajelor cu fricțiune cu suprafețele de frecare plane [64], ale căror forme constructive și sisteme de comandă au cunoscut o largă diversificare și o permanentă perfecționare.

La acționările electrice, cuplajele cu fricțiune comandate electromagnetic au cea mai mare pondere [102]. Comanda electrică de tip permanent magnetic (cu bobină mobilă) sau piezoelectric, au utilizarea restrânsă doar la domeniul servo-mecanismelor instrumentale, care necesită viteze de comutare foarte mari.

Instalațiile auxiliare, specifice cuplajelor comandate electromagnetice, în raport cu cele comandate hidrostatic sau pneumatic - cu care se află în competiție, prezintă avantaje nete în privința simplității și a prețului de cost.

Pe plan mondial, se acordă în ultimii ani, o atenție deosebită, construcției și utilizării cuplajelor electromagne-

tice cu fricțiune. Se dezvoltă și se diversifică continua producția, iar numărul firmelor constructoare specializate este în creștere. Este semnificativ faptul că aproape toate țările socialiste au realizat producții proprii în acest domeniu, în ultimul deceniu. În țară, fabricația pe baza licenței Binder-Magneto-R.F.G., începută în anul 1967, s-a dezvoltat continuu producându-se în prezent peste 70 de tipodimensiuni de cuplaje și frine electromagnetice cu lamele și monodisc, în cantități ce satisfac nevoile economiei naționale, la un nivel calitativ superior.

Extinderea deosebită a numărului de aplicații - deși realizează durabilități limitate - se explică prin avantajele pe care le oferă : nivel avansat de tipizare (construcție modulară), preț de cost relativ scăzut, gabarit relativ redus, simplitate constructivă, posibilitate de funcționare în diferite medii, viteze de anclanșare/declanșare mari cu posibilități de reglare într-un domeniu destul de larg, putere de comandă relativ redusă, transmiterea mișcării în regim stabilizat fără alunecare și întreținere simplă.

Includerea cuplajelor electromagnetice cu fricțiune în structura transmisiilor mecanice, conferă acestora competitivitate în raport cu alte transmisii echivalente, dar care au un preț de cost mai ridicat.

În aceste condiții, acționarea privită în ansamblu, realizează calități ameliorate din următoarele puncte de vedere :

- se pot obține accelerații mari ale sarcinii (de 4...10 ori în raport cu acționările directe cu motoare electrice), deoarece masele motorului și ale organelor ce transmit mișcarea pînă la cuplaj nu trebuie accelerate, iar momentul de inerție al cuplajului este în cele mai multe cazuri neglijabil în raport cu momentul de inerție al sarcinii (vezi § 5.1) ;

- la cutiile de viteze, schimbarea treptei și/sau a sensului de rotație (atît în gol, cît și în sarcină) nu necesită oprirea motorului sau includerea unor dispozitive suplimentare de sincronizare (vezi § 4.2.3) ;

- posibilitatea acționării avantajoase a unor mașini de lucru caracterizate prin momente de inerție mari, care cuplate direct, ar impune motoare de puteri sporite ;

- prin asocierea cuplajelor cu frine electromagnetice, se pot crea decelerații mari în sistemul de acționare, realizin-

du-se opriri rapide ale mașinii de lucru, fără a fi necesară oprirea mașinii motoare;

- siguranța în funcționare a sistemului crește, ca urmare a posibilității de îndeplinire de către cuplaj și a funcției limitative de cuplu.

Industria constructoare de mașini este principalul beneficiar al acestor cuplaje adaptabile în cele mai bune condiții pentru mașini unelte, mașini de ridicat și transportat, mașini textile, mașini pentru prelucrarea lemnului, utilaje de alimentare și transport în linii tehnologice, agregate frigorifice, mecanisme de urmarire și poziționare, mijloace de transport rutiere, feroviare, navale, mașini de construcții, și în multe alte domenii ale tehnicii.

Trebuie subliniat faptul că rămân în continuare deschise, spre o rezolvare calitativ superioară, unele probleme constructive și funcționale în legătură cu : reducerea continuă a greutateii și a gabaritelor, scurtarea timpilor de anclanșare și declanșare, reducerea cuplurilor reziduale și perfecționarea mijloacelor de comandă.

Constructorii de cuplaje din țară au de rezolvat în plus câteva probleme particulare : asimilarea producției de materiale feromagnetice și de fricțiune ; fundamentarea teoretică a metodologiei de proiectare și cercetare care să conducă la diversificarea și perfecționarea continuă a producției ; utilizarea eficientă a dispozitivelor în condiții de lubrificație - răcire cu uleiuri produse în țară și extinderea posibilităților de folosire în condiții funcționale deosebite, mai ales pentru a satisface cerințele impuse de mașinile unelte de copiat și cele cu comandă numerică.

Cu toate că în acest domeniu unele din rezultatele cercetărilor constituie secrete de fabricație, numărul lucrărilor de specialitate publicate este destul de mare.

numeroși cercetători ca : Saumann, W. [4, 9 și 11] , Finkelburg, H.H. [40] , Heinz, H. [56] , Hille, F. [57] , Krome, H. [72] , Obereker, W. [92] , Schnach, W. [111] , Stüchner, R. și Hüggen, H. [126] , Wiedmann, L. [159] și Winkelmann, H. [141] , abordează problematica materialelor și a construcției cuplajelor electromagnetice cu fricțiune. În aceste lucrări se pot desprinde criterii generale pentru alegerea variantei optime sub aspect constructiv și func-

țional. Alții : Bloch, P. și Hennings, D. [17], Colzier, Y. [34], Fontensy, R. [42], Körsgen, H.N. [67], Wiedmann, L. și Stramb, H. [140], Ziesel, K. [146] și înosebi Scheid, W. [115, 116, 118 și 119], deosebi preocupare în direcția utilizării concrete a acestor dispozitive pentru acționările automatizate, sau pentru cazuri particulare (restrânse) ale construcției de mașini.

Contribuții importante sînt aduse de : Baumann, F. [11 și 14], Lure, S. și Flancik, B. [66], Kato, A. [67], Tokareva, V.D. [132] și mai ales de Ratur, O.N. și Flidlider, G.M. [130], care fundamentează teoretic și verifică experimental funcționarea cuplajelor și frinelor electromagnetice în sistemele de acționare, atât în regim stabilizat, cît și în regim tranzitoriu.

Referitor la dispozitivele de comandă și protecție, Brinkman, H. [26], Kuner, H. [73, 74 și 75], Mitschê, C. [88, 89 și 90], Sindermann, H. [124], Voigt, B. [136 și 137] ș.a. evidențiază modalitățile și condițiile în care se pot influența timpii caracteristici ai proceselor de ambreiere/debreiere și implicit durata fenomenelor tranzitorii în acționari.

Principalele concluzii teoretice și practice desprinse din studierea lucrărilor de specialitate sînt prezentate și analizate pe parcursul tezei de doctorat.

## 1.2. Structura constructivă și particularitățile de utilizare în sistemele de acționare electrice.

Fără a se putea preciza autorul primelor realizări în domeniul cuplajelor electromagnetice cu fricțiune, se apreciază că în decursul dezvoltării și diversificării lor dimensionale, nu au intervenit modificări radicale.

Principial, construcția acestor cuplaje este realizată prin integrarea, într-un ansamblu unic, a elementelor de cuplare mecanică și a electromagnetului de acționare (fig.1.2). Armătura mobilă a electromagnetului acționează asupra cuplajului mecanic cu fricțiune, care la rîndul său, realizează cuplarea sau decuplarea a două piese coaxiale de tip arbore.

Integrarea într-un ansamblu unic a părții mecanice și electrice reduce sensibil complexitatea constructivă, întrucît unele elemente componente au funcții duble (armătura mobilă ≡ pla-

că de presiune, armătura fixă  $\equiv$  corp semicuplaj, etc.).

Cerințele atât de diferite, impuse de către mașinile pe care le echipază, au condus la o dezvoltare rapidă și variată a acestora din punct de vedere al formei și al caracteristicilor electromecanice. Pentru a ilustra diversificarea mașinilor, este suficient să se arate că în aplicațiile practice

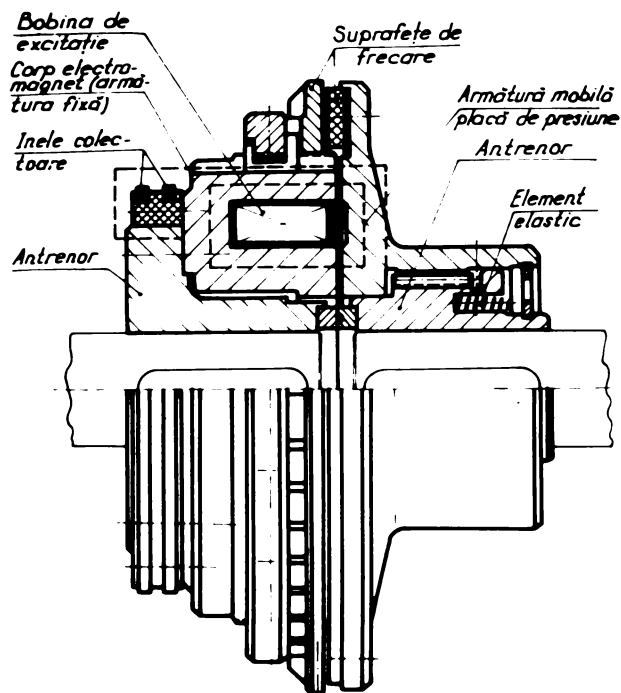


Fig.1.2

se folosesc cuplaje electromagnetice cu fricțiune, având cuplurile comutabile (vezi § 2.1) cuprinse în domeniul  $[10^{-1} ; 1,5 \cdot 10^4]$  Nm, cărora le corespund mase între  $[0,05 ; 10^3]$  kg. Ordonația tipodimensiunilor intermediare se face după șiruri de numere normale (serii geometrice), care asigură condițiile cele mai raționale de utilizare. Contradicția dintre cerințele beneficiarilor și posibilitățile constructorilor de cuplaje constituie unul dintre motivele pentru care aceste organe de cuplare nu au fost încă standardizate la nivel național sau internațional. O densitate mare de tipodimensiuni, la intervale rațional stabilite, oferă condiții proiectanților pentru realizarea unor sisteme de acționare cu gabarite și mase minime, respectiv cu parametri tehnico-economici optimi.

În opoziție se află constructorul de cuplaje care, în condițiile unei mari diversificări, întâmpina greutatea ce derivă atât din planificarea fabricației unui mare număr de repere dis-

tințe, cif și din necesitatea cercetării - avind ca obiectiv perfecționarea continuă a unui număr sporit de produse.

Dacă se are în vedere faptul că structura constructivă determină particularitățile de utilizare și invers, se justifică pe deplin interesul ce se acordă în literatura de specialitate acestor probleme [4,11,21,27,40,78,83,92,102,111,125 etc.] .

Cu toate că nu s-a putut ajunge la un consens unanim, principalii factori acceptați ca bază a clasificării acestor cuplaje se referă la :

- modul de utilizare al dispozitivului (cuplaj sau frină) ;
- numărul suprafețelor de fricțiune ;
- mediul de funcționare (uscăt, lubrificat) ;
- varianta de alimentare electrică a bobinei de excitație ;
- modul de închidere a cîmpului magnetic în raport cu suprafețele de fricțiune.

Sintetizînd preocupările în această direcție, s-a întocmit (fig.1.3) o clasificare unitară care are la bază, după cum este firesc, criteriile de natură mecanică, electromecanică și electrică.

Prin combinarea criteriilor compatibile rezultă peste 500 variante distincte constructiv și funcțional. O analiză atentă pune în evidență faptul că fiecare variantă răspunde prin caracteristicile sale unor condiții precise dictate de utilizare.

Corelarea judicioasă a posibilităților cuplajului (frinei) cu cerințele utilizării este de mare importanță pentru soluționarea unei probleme concrete din domeniul acționărilor.

De pildă, cuplajele monodisc au în raport cu cele cu lamele, un gabarit radial mai mare la același cuplu comutabil nominal. Acest dezavantaj este compensat de capacitatea termică superioară, de condițiile favorabile ale schimbului de căldură precum și de funcționarea fără cuplu rezidual (vezi § 2.1). Aceste calități determină utilizarea cuplajelor monodisc pentru condiții grele de funcționare (cuplarea unor sarcini caracterizate de momente de inerție mari, ce trebuie accelerate la viteze unghiulare ridicate) ca în cazul transmisiei principale ale preselor, foarfecelor mecanice, ștanțelor etc. sau a funcționării la viteze un-



ghiulare ridicate - fără cuplu rezidual - la acționarea pompe-  
lor centrifugale și cu pistoane, grupuri electrogene, mașini din  
industria prelucrătoare a hirtiei, mașini poligrafice etc.

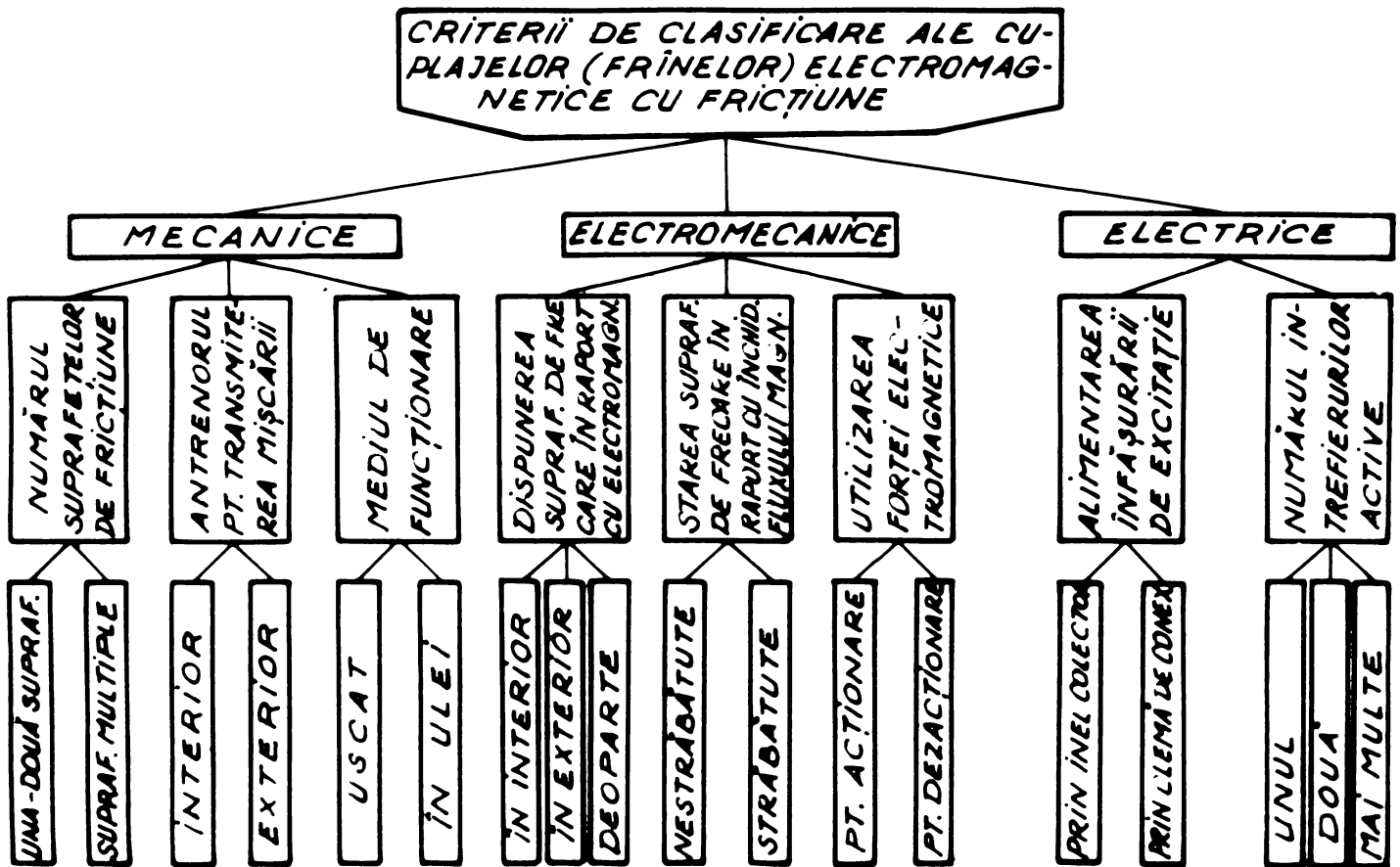


Fig.1.3

În fig.1.4 sînt prezentate principalele variante constructive ale cuplajelor monodisc (notațiile din fig.1.4, 1.7 și 1.8, au următoarea semnificație : 1 - corp ; 2 - înfășurare de excitație ; 3 - armătura mobilă a electromagnetului ; 4 - suprafețe de frecare ; 5 - antrenor ; 6 - inel colector ; 7 - cleme de conexiune ; 8 - inel polar (cu sau fără butuc) ; 9 - lagăr. Prin săgeți s-a notat sensul preluării respectiv al transmiterii mișcării).

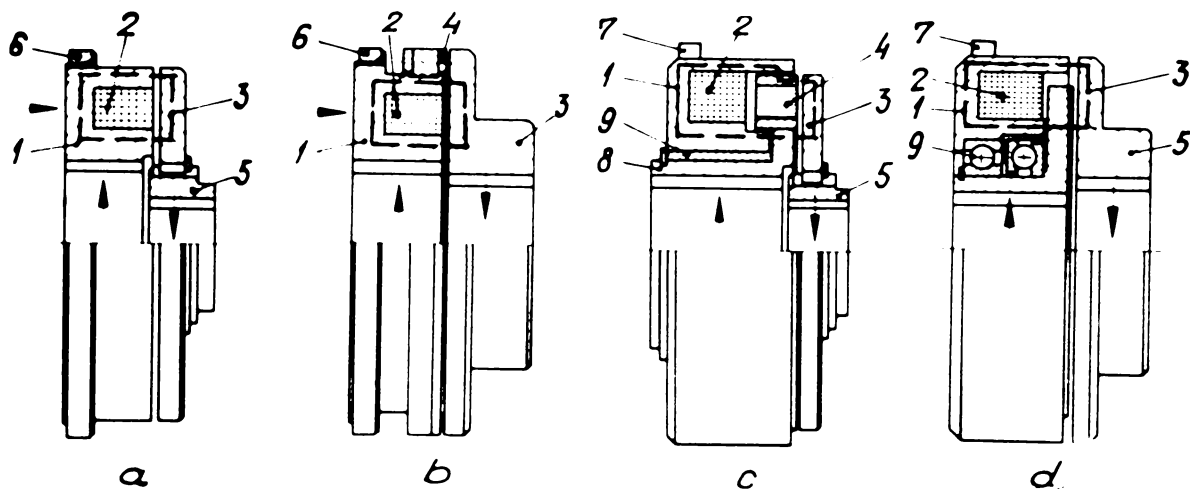


Fig.1.4

Calitatea de a avea cele mai mari viteze de comutare-  
ca urmare a cursei relativ reduse a armăturii- este exploatată  
în acele aplicații din domeniul automatizării, unde accentul este  
pus îndeosebi pe realizarea unor timpi de cuplare foarte scurți  
și cu o dispersie redusă. În aceste cazuri se urmărește totodată  
ca mașinile să aibă momente de inerție mici în aval de cuplaj  
(mașini de tricetat, mașini de filat, transmisii de poziționare  
sau de urmărire, etc.).

Cuplajele cu fricțiune monodisc (cu o suprafață sau  
două suprafețe active) funcționează - cu rare excepții - în mediu  
uscăt. Construcția relativ simplă și robustă le conferă avantaje  
și în privința fiabilității, a exigențelor referitoare la montaj  
și întreținere.

Cuplajele cu suprafețele de fricțiune multiple reali-  
zate cu pachete de lamele (fotografia din fig. 1.5 cuplaj cu lame-  
le - discuri - neștrăbătute de fluxul magnetic ; fig. 1.6 cuplaj  
cu lamele - discuri - străbătute de fluxul magnetic) care pot func-  
ționa deopotrivă uscat sau în ulei, prezintă, după cum s-a subliniat  
anterior, avantaje în privința gabariturii radiale (în cele mai mul-  
te aplicații cuplajele intermitente funcționează în subansambluri  
ce conțin roți dințate ce limitează gabaritul radial și funcțio-  
nează în ulei).

În consecință, s-a ajuns la o mai mare diversificare a  
formei constructive și la o producție în serii mari a acestor cu-  
plaje.

Transmiterea mișcării la ieșirea din cuplaj se realizea-  
ză prin antrenare interioară sau exterioară.

Cuplajele cu antrenare interioară (fig. 1.4 a...d ; fig.  
1.7 a, d ; fig. 1.8 a, d) cu care sînt prevăzute îndeosebi cuplajele  
cu suprafețele de frecare dispuse de o parte sau în interiorul  
corpului electromagnetului, se folosesc cu precădere la cuplarea  
arborilor dispuși în prelungire (coaxial).

Cuplajele cu antrenare exterioară (fig. 1.7 b, c, e, f și  
fig. 1.8 b, c, e, f) utilizate mai mult, permit transmiterea mișcării  
atît între doi arbori dispuși în prelungire cît și între un arbore  
și piesele montate liber pe acesta (roți dințate, roți de curea, etc.)  
fiind întîlnite atît la soluțiile cu suprafețele de frecare dispuse  
în exterior sau de o parte a electromagnetului.

Funcționarea uscată sau în ulei a cuplajului este condi-

ționată de mediul lăpș de organele ce trebuie cuplate. La funcționarea în mediu uscat, suprafețele de frecare sînt netede și pot fi constituite dintr-o mare varietate de perechi de fricțiune (ol/Cu, ol sau fontă/ferodou, ol/mase plastice, ol/metal sinterizat etc. ; perechea de fricțiune ol/ol se utilizează doar în cazuri excepționale, atunci cînd condițiile de ambreiere sînt foarte ușoare).

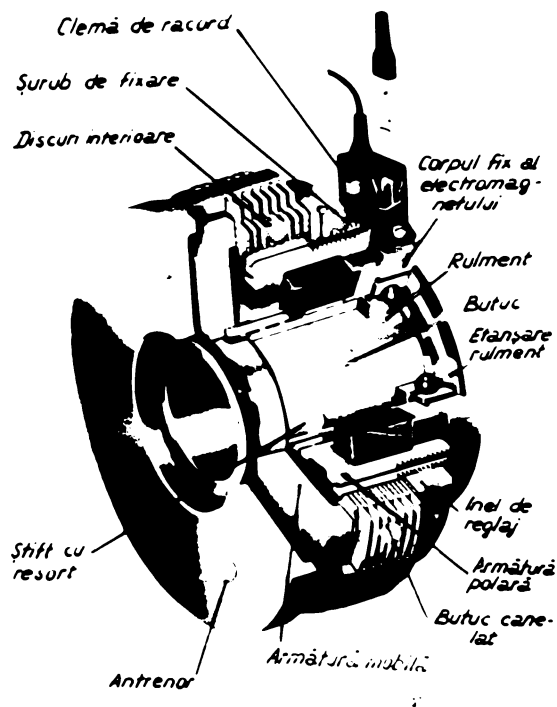


Fig.1.5

combinate, vezi § 2.2) în scopul reducerii timpilor de anclanșare/declanșare și a cuplului rezidual, favorizîndu-se astfel condițiile de rupere a peliculei de lubrifiant. Materialele preferate

în aceste condiții sînt : ol/metal sinterizat, ol/ol (dacă se cer lamelelor calități feromagnetice), ol/mase plastice și ol/hirtie (numai la cuplajele la care se pot asigura condiții de ungere abundentă).

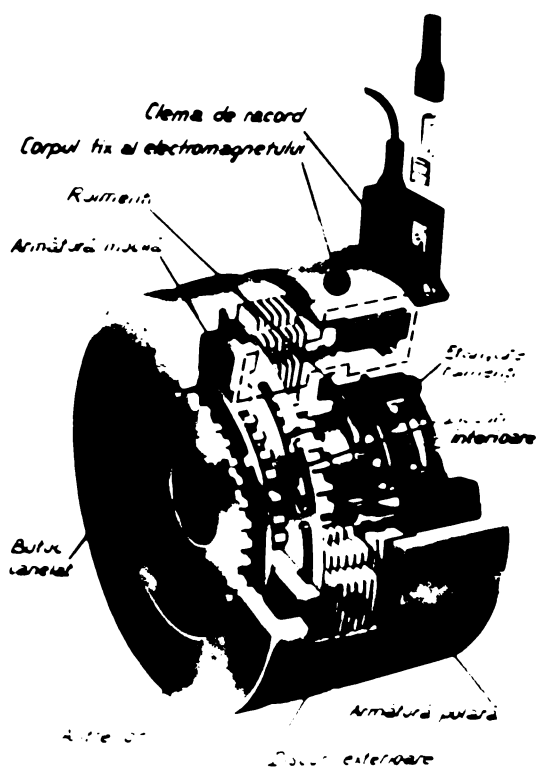


Fig.1.6

Metalele sinterizate - în deosebi bronzul sinterizat - cunosc cîpă anul 1950 o perfecționare sub aspect tehnologic, în consecința, o extindere rapidă a sferei de aplicații. Placarea în straturi foarte subțiri a unor lamele din oțel cu

bronzuri sinterizate a permis reducerea însemnată a gabariturii axial a lamelor utilizate la construcția cuplajelor (frinelor) cu fricțiune. Existența deosebit de bună la uzură, asigurarea unor coeficienți de frecare relativ ridicați și stabili într-un domeniu larg de temperaturi, presiuni și viteze de alunecare, transmiterea favorabilă a căldurii, asigurarea unor cuplări line - evitându-se fenomenul de stick-slip - , constituie principalele argumente care conduc spre generalizarea materialelor sinterizate în construcția lamelor, atât la funcționarea uscată cât și în ulei. Cuplajele prevăzute cu astfel de lamele sînt ideale pentru ambreierea în plină sarcină, deoarece asigură o trecere lină din regiunea transmiterii cuplului în alunecare la transmiterea prin aderență. Acest comportament este explicabil prin valorile medii a' coeficienților de frecare [102] în cele două regiuni  $\frac{\mu_{ad}}{\mu_{sl}} \in [1,1 ; 1,3]$  ). Cu totul altfel se comportă cuplajele cu lamele din ol/ol, la care, între cuplul transmisibil (prin aderență) și cel comutabil (în alunecare) există diferențe sensibile mai mari  $\frac{\mu_{ad}}{\mu_{sl}} \in [1,7 ; 2,5 (3)]$  ) care, la limita celor două regiuni determină șocuri mari în sistemul de acționare și sînt incompatibile cu funcția de element limitativ de cuplu. Din motivele arătate, lamelele ol/ol sînt recomandate atunci cînd cuplarea se realizează la sarcini mici sau în gol (ex : transmisiile principale ale unor mașini unelte).

La funcționarea uscată sau în ulei a cuplajelor, răcirea trebuie să limiteze temperatura sub nivelul admis de materialele de fricțiune și de înfășurarea de excitație (max. 120°...130°C, dependentă de clasa de izolație).

Modalitatea concretă de răcire, precum și debitul mediului răcitor, se acceptă în concordanță cu procesul disipativ din cuplaj (vezi § 2.4 și 5.2). Astfel, la funcționarea în ulei cu încărcări medii, se preferă ungerea respectiv răcirea prin picurare sau stropirea cu jet de ulei orientat asupra pachetului de lamele. În cazul unor transmisii mai puțin pretentioase, se acceptă imersarea parțială a dispozitivului în baia de ulei (barbotaj).

Ceața de ulei poate servi la răcirea cuplajelor puțin solicitate termic. În condiții de funcționare deosebit de grele unele cuplaje - cu antrenare interioară - trebuie răcite cu ulei sub presiune injectat din interior sau mai favorabil prin combinarea acestei modalități cu stropirea prin jet din exteriorul pachetului.

tului de lamele.

Dispunerea suprafețelor de frecare în exteriorul (fig.1.7 c,f și 1.8 c,f) sau interiorul electromagnetului, conferă cuplajului gabarit axial micim. Unele construcții sînt orientate în direcția realizării gabaritelor radiale minime, caz în care dispunerea suprafețelor de frecare se face de o

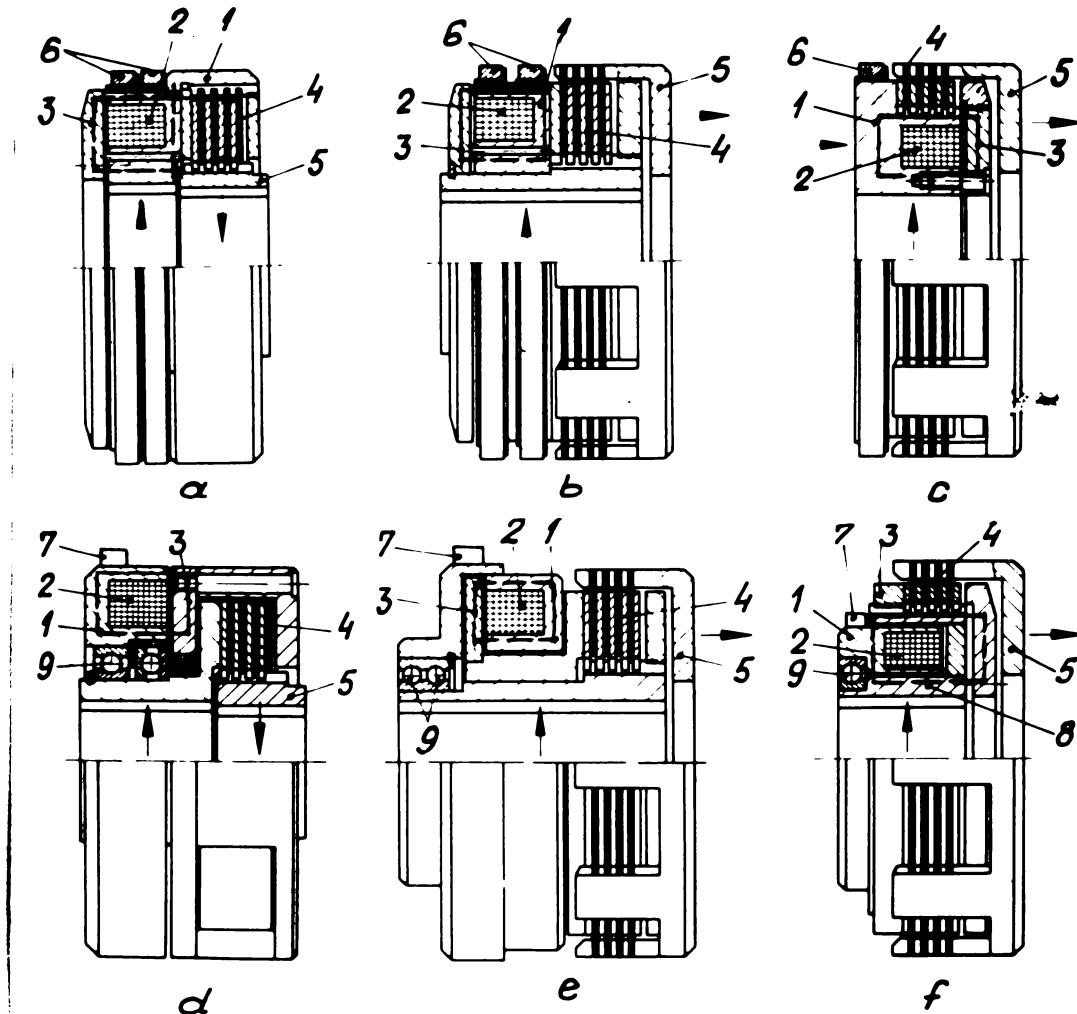


Fig.1.7

parte a electromagnetului (fig.1.7 a,b,d și e respectiv fig. 1.8 a,b,d și e).

La cuplajele cu fricțiune cu suprafețele neștrăbătute de fluxul magnetic (fig.1.7) este caracteristic faptul că electromagnetul funcționează cu întrefier activ în stare atrasă.

Prezența acestui întrefier - care conduce la o induc-tanță mai mică a circuitului de comandă - are ca efect realiza-rea unor timpi de anclanșare/declanșare mai scurți și cu o dis-persie mai mică decît la funcționarea practic fără întrefier a cuplajelor cu lamelele ștrăbătute de fluxul magnetic (fig.1.8).

Existența întrefierului aduce și unele dezavantaje în privința gabaritului electromagnetului și a faptului că uzarea

suprafețelor de frecare trebuie periodic verificată pentru read  
cerea întrefierului la valoarea nominală.

Acest dezavantaj este compensat prin faptul că supra-  
fețele de frecare pot fi constituite din orice perechi de fric-  
țiune, alese astfel încât să se asigure calități tribologice op-  
tine.

La cuplajele cu lamele străbătute de fluxul magnetic,  
singura pereche de fricțiune care întrunește satisfacător cali-  
tățile tribologice cu cele feromagnetice este oțelul calit/oțel  
calit. Funcționarea acestor lamele este permisă doar în ulei cu  
ungere abundentă și continuă. Ca urmare a distribuției fluxului  
magnetic în pachetul de lamele (care poate fi odată străbătut,  
fig.1.8 c și f sau de două ori străbătut, fig.1.8 a, b, d și e) și  
a funcționării fără întrefier, se asigură o presiune uniformă dis-  
tribuită și de valori mari între suprafețele de frecare. Astfel

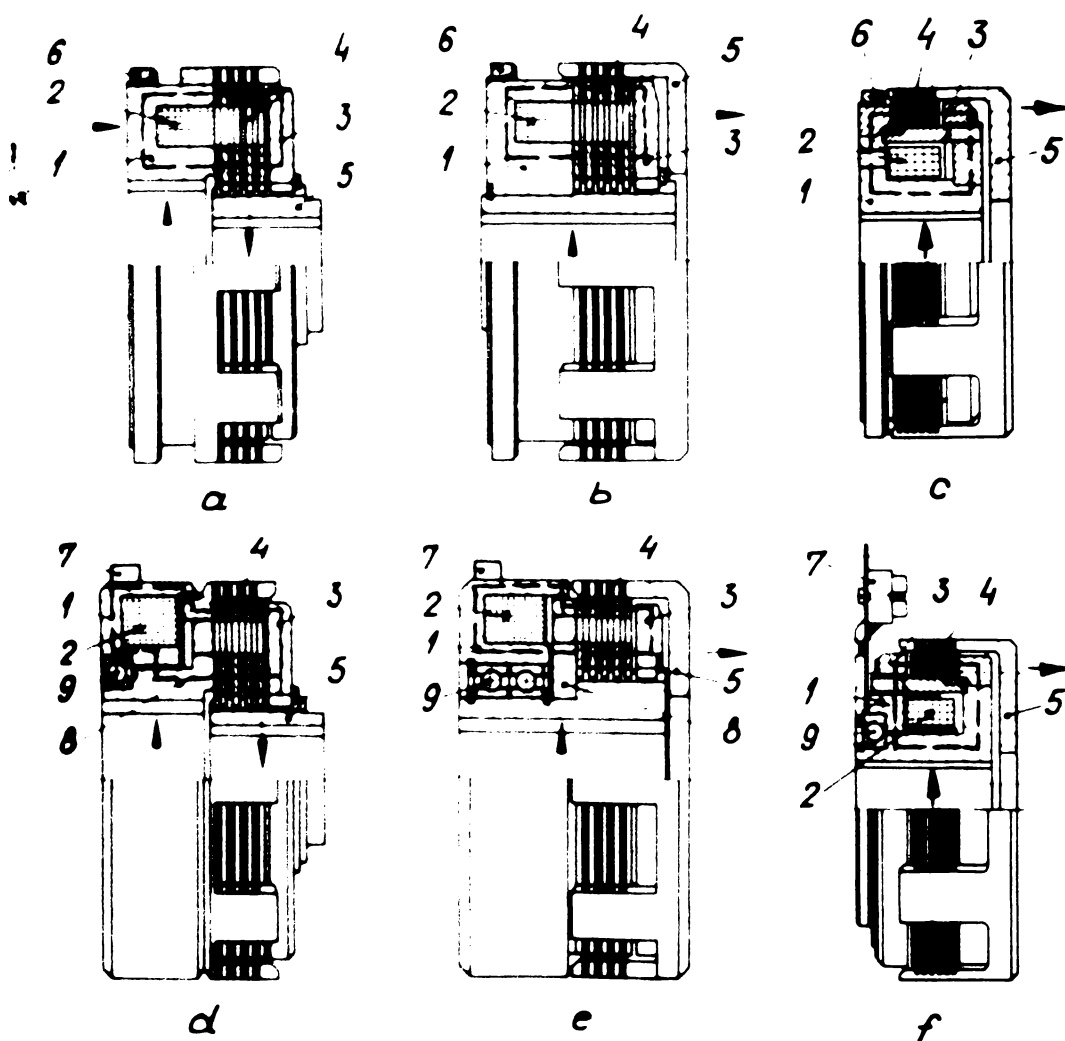


Fig.1.8

se realizează  
transmiterea un  
cupluri mari la  
gabarite relativ  
mici ale cuplaja-  
lor. Cuplajele cu  
suprafețele de  
frecare dublu  
străbătute de fi-  
xul magnetic - pa-  
chetul de lamele  
fiind dispus în-  
totdeana de o  
parte a armaturii  
fixe a electro-  
magnetului - la  
care numărul la-  
melelor este li-  
mitat de reluc-  
tanța de disper-  
sivitate transversală

a acestora, asigură în raport cu celelalte tipuri de cuplaje elec-  
tromagnetice cu fricțiune, cel mai mare cuplu transmisibil pe un  
tateea de volum. Întrucât uzura lamelelor nu modifică condițiile

funcționare, aceste cuplaje nu implică dispozitive speciale de reglare și compensare. În raport cu lamălele nestrăbătute de fluxul magnetic, magnetismul rezmanent și adeziunea acestora provocată de filmul de ulei constituie cauzele ce conduc la creșterea și împrăștierea mare a valorii timpilor de anclanșare/declanșare și mărirea cuplului rezidual (îndeosebi la viteze unghiulare ridicate).

În privința stării cuplajului (frinei) în raport cu existența sau inexistența semnalului de comandă (curent de excitație) se disting cuplaje normal deschise sau normal închise. La prima categorie, forța electromagnetică ce se exercită direct sau indirect asupra elementelor de fricțiune, asigură cuplarea. La cuplaje normal închise, prin acțiunea forței electromagnetice, se anulează efectul forței de apăsare a suprafețelor de fricțiune - creată prin reacțiunea elastică a unor arcuri - producându-se pe această cale decuplarea.

În privința alimentării înfășurării de excitație se apelează la două soluții și anume : prin perii și inele colectoare (când bobina se află în mișcare de rotație împreună cu corpul cuplajului) sau prin clemene de conexiuni (pentru bobine staționare).

Cuplele alimentate prin inele colectoare sînt avantajoase sub aspectul gabaritului și a masei totale. Gabaritul și masa suplimentară la cuplajele cu clemene se datoresc creșterii dimensiunilor electromagneților (linia mijlocie de cîmp devine mai lungă iar înțrefierurile suplimentare determină solenaii și puteri de comandă sporite), precum și lagărelor suplimentare (rulmenți) impuse de centrarea armăturii fixe (vezi fig. 1.7 d, e și f și fig. 1.8 d, e și f).

La cuplajele alimentate prin inele colectoare, gabaritul axial minim se obține la variantele cu un singur inel (fig. 1.7 c și fig. 1.8 a, b și c), la care închiderea circuitului electric de alimentare se realizează prin corpul cuplajului, arbori, lagăre și batii. În unele aplicații se preferă însă cuplaje cu două inele colectoare (vezi fig. 1.7 a și b) pentru a se evita uzura căilor de rulare a rulmenților produsă de procesele electrochimice ce apar la nivelul lor. Efectul de eroziune electrochimică se agravează odată cu creșterea curentului de excitație și a vitezei unghiulare relative.

În ultimul timp se folosesc preferențial cuplajele ali-

suntate prin clemă de conexiune, privitye [27] ce e importantă perfecționare ce a contribuit substanțial [14] la lărgirea domeniului de aplicații al CEF. La această concluzie se ajunge în mod firesc dacă se analizează dezavantajele alimentării prin contact alunecător:

- la viteze periferice mari, de ordinul 15...20 m/s, microgeometria inelelor precum și bătaia lor radială induce vibrații ale periiilor colectoare cu efecte negative asupra rezistenței de contact și a durabilității perechii ansamblului inel-perie (la cuplajele alimentate prin clemă de conexiune, viteză periferică axială admisă este mult mai mare fiind linia-tată superior de rulaenți) ;

- la funcționarea în mediu umed, cu viteze periferice cuprinse în domeniul 6...8 m/s, spre tendința de ridicare a periei de pe inel, se urmare a emersării sustentației hidrodinamice (pans pertantă de ulei) ;

- momentul de inerție al părții cuplajului care poartă rigoarea este relativ mare deoarece în componența acestui ansamblu intră și bobina fixă a electromagnetului ;

- canalele necesare conexiunilor de la bobină la inele praduă dezechilibrarea corpului cuplajului ;

- contactul alunecător necesită întreținere.

Maree majoritate a electromagneților de acționare sînt prevăzuți cu două întrefieruri active. Construcțiile cu un singur întrefier sînt foarte rare și se întîlness la variantele de cuplaje la care suprafețele de frecare sînt dispuse de obicei în interiorul electromagnetului [151] .

În scopul utilizării eficiente a cîmpului magnetic, s-au imaginat și realizat în ultimul timp, decamistă, cuplaje menodisc cu patru întrefieruri active, soluții la care se pot asigura presiuni sporite la nivelul suprafețelor de frecare cu creșteri relativ mici ale gabariturii radial.

Pentru ușurarea analizei comparative a domeniilor de existență și a performanțelor funcționale ale CEF, s-au lăst în considerare tipurile reprezentative de soluții distincte (fig. 1.9) ce derivă din reunirea celor mai importante criterii de clasificare.

La cuplajele menodisc, se lucrează uscat și fără cupla residual, criteriul privitor la dispunerea suprafețelor de frecare-



re în raport cu închiderea fluxului magnetic are un rol secundar și nu a fost luat în considerare.

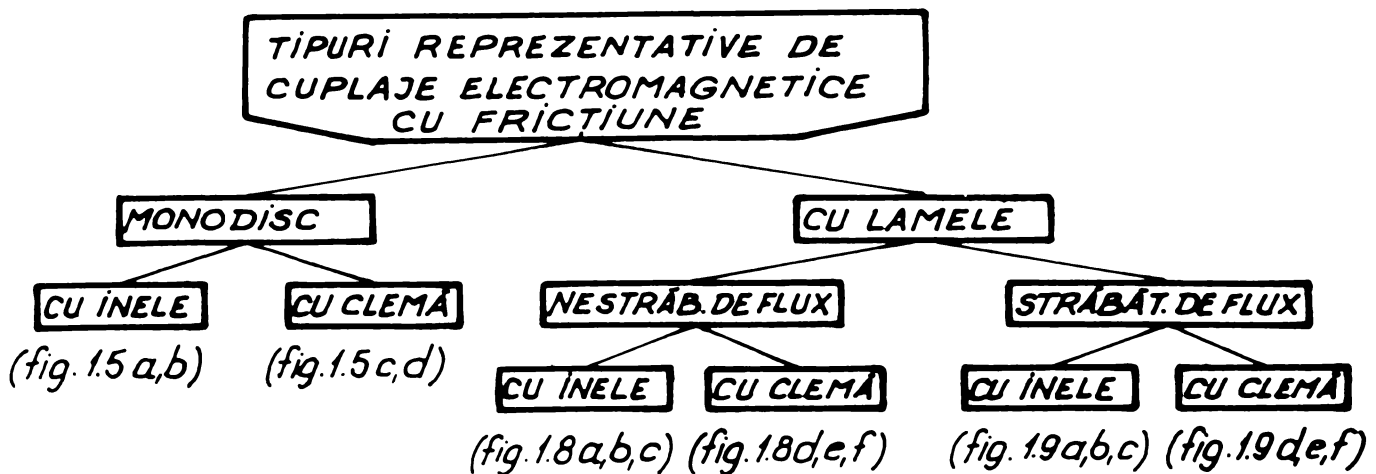


Fig.1.9

Pe baza unui studiu <sup>x)</sup>, extins asupra unui număr de peste 1000 tipodimensiuni de CEF [148...167], au rezultat concluzii interesante privitoare la domeniile de fabricație și de utilizare curentă (caracterizate prin densitate foarte mare de produse la o anumită treaptă a cuplului comutabil), vezi fig.1.10, și asupra performanțelor realizate pe domeniul de existență al cuplului comutabil nominal.

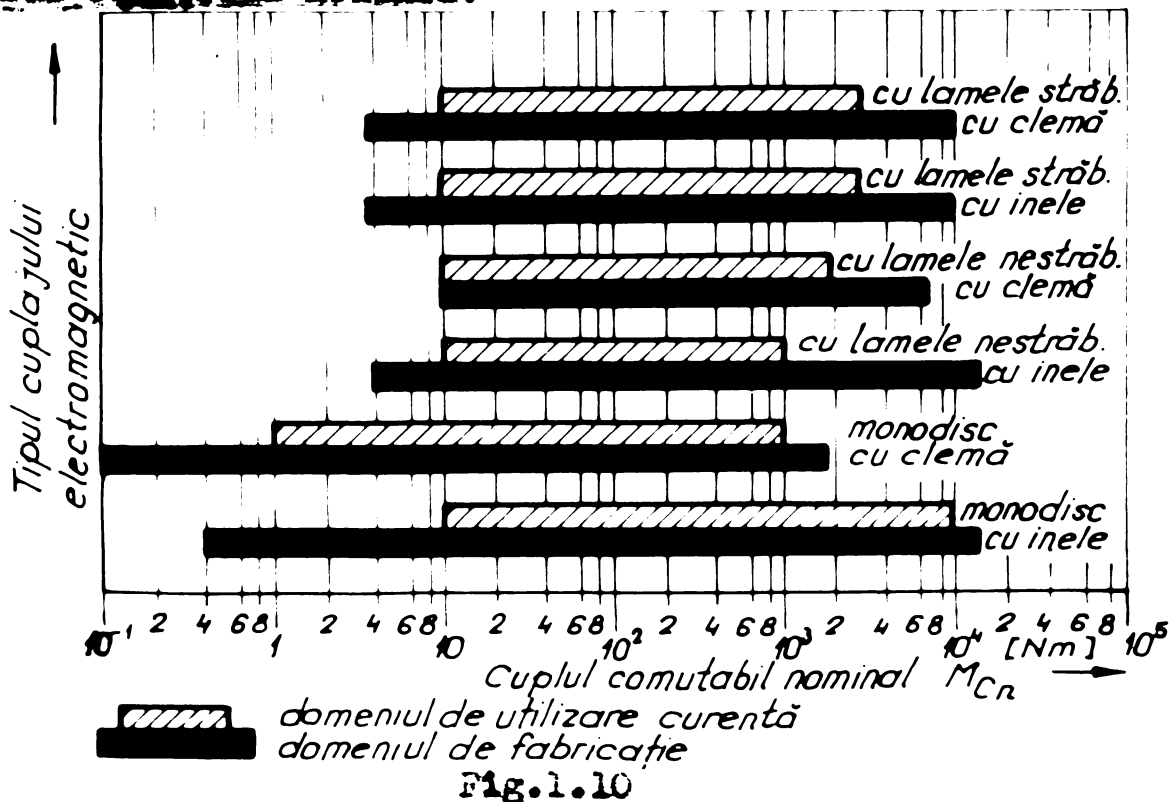


Fig.1.10

În fig.1.11 sînt evidențiate valorile de funcționare limită ale vitezelor unghiulare relative sau absolute.

<sup>x)</sup> Peză din contractul IPTVT/OHII- I.M.Cugir nr.4731/71

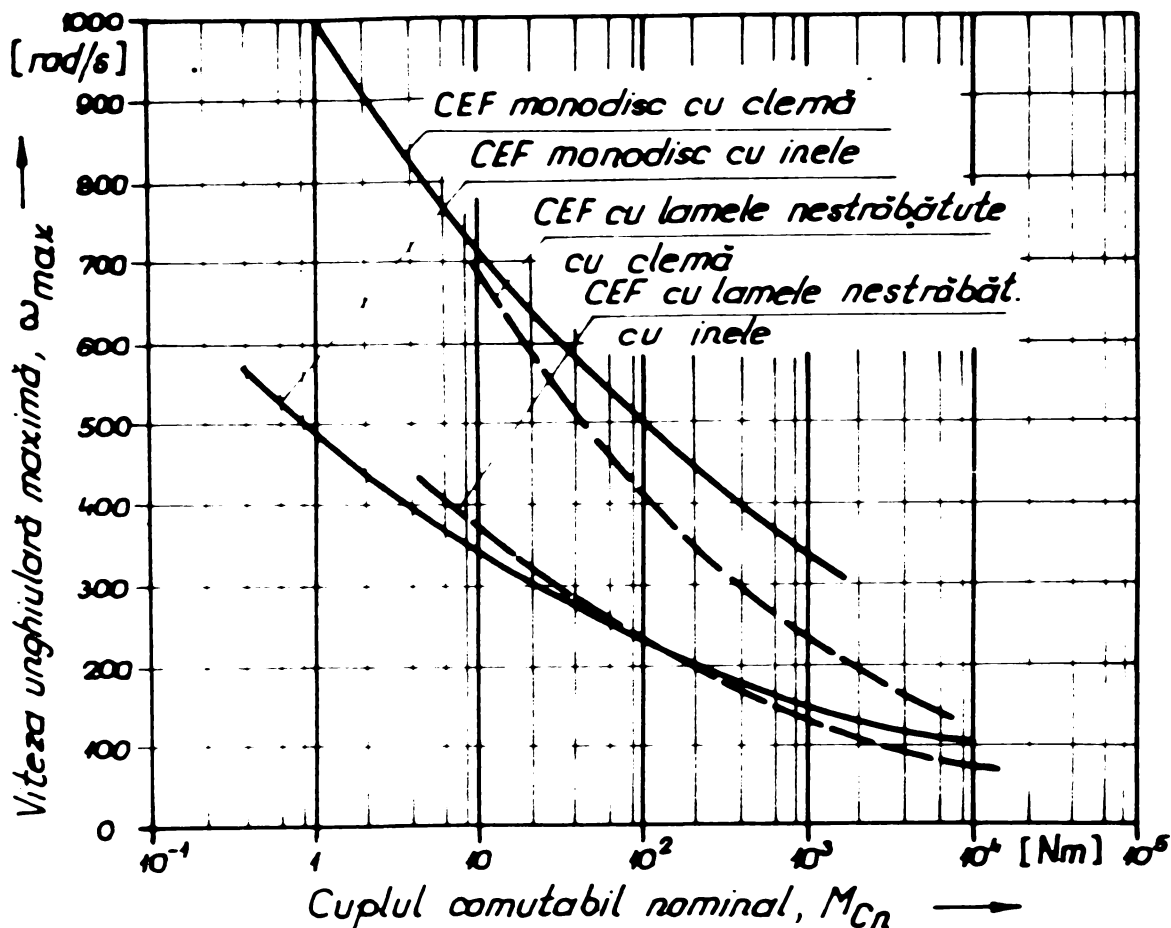


Fig.1.11

Alimentarea prin clemă a CEF permite funcționarea la viteze unghiulare mult mai mari decât alimentarea prin inele colectoare. Totuși, în acest cadru, performanțele cele mai bune sînt obținute de cuplajele monodisc la care, cuplul residual este practic nul. Pe de altă parte, cuplajele cu lamelele nestrăbătute de fluxul magnetic sînt superioare omologilor lor străbătute de flux, în special în domeniul cuplurilor comutabile mici.

Din analiza informațiilor conținute în diagramele din fig.1.10 și 1.11, se pot determina la tipurile reprezentative de cuplaje, puterile mecanice maxime ce pot fi comutate ( $P_{max} = M_{Cn} \cdot \omega_{max}$ ).

În privința puterii de comandă (fig.1.12) se constată că raportul relativ mare  $\frac{P_{20^\circ max}}{P_{20^\circ min}} \in [1,8 ; 5]$  se datorește pe de o parte, particularităților constructive și funcționale ale CEF (valori mai mari rezultă în general la cuplajele alimentate prin clemă), iar pe de altă parte, proiectării neoptionale a electromagnetului. Pe baza acestei observații, se apreciază că există rezerve importante în direcția reducerii puterilor de comandă <sup>x)</sup>. Optimizarea

<sup>x)</sup> Situație constatată și la CEF fabricate în țară sub licență și confirmată printr-o re-proiectare a circuitului magnetic.

dimensionării electromagnetului conduce implicit la reducerea masei întregului dispozitiv (comparându-se analogia  $P_{20} (M_{Cn}) \sim m_{CEF} (M_{Cn})$  din fig.1.13).

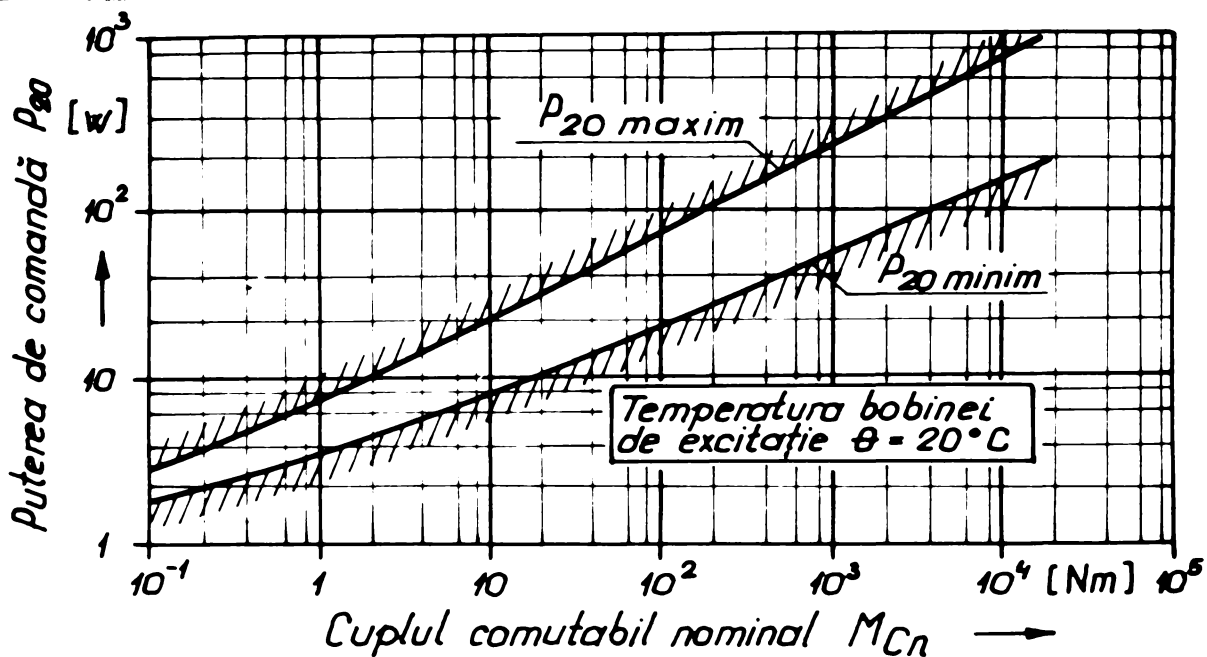


Fig.1.12

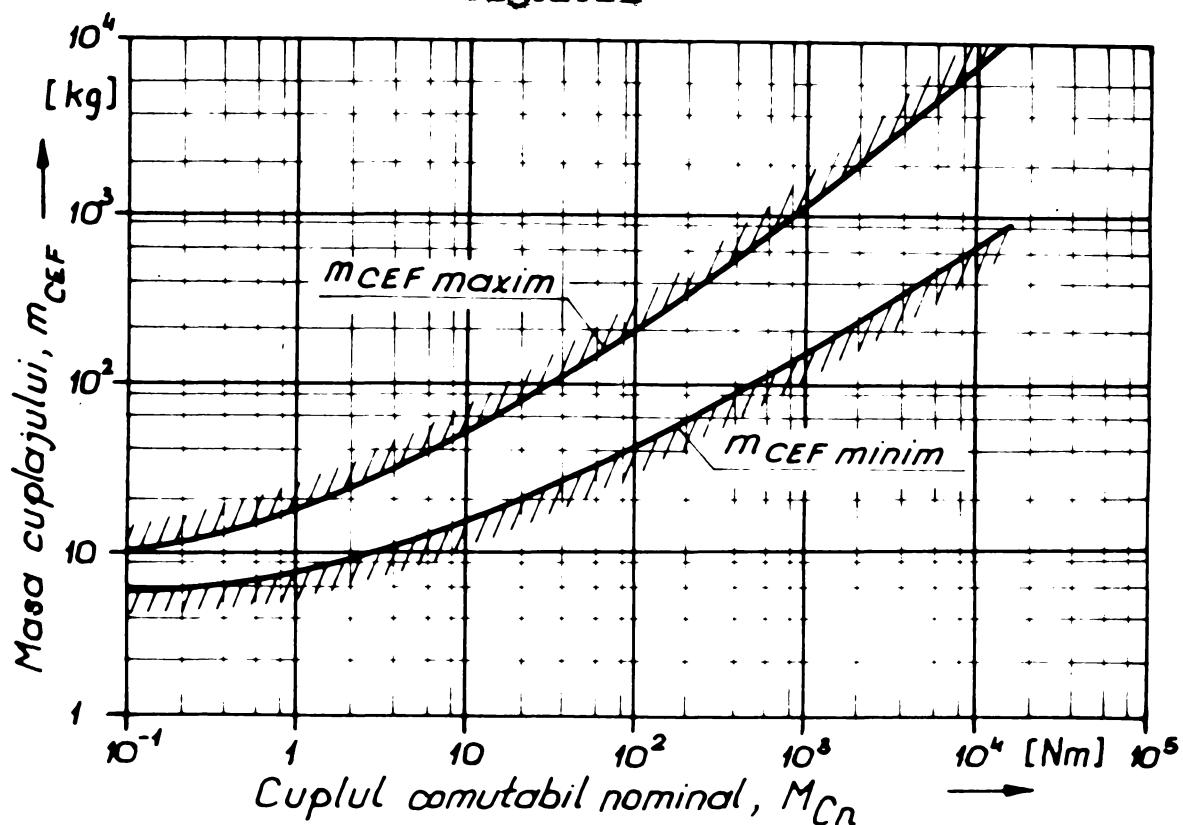
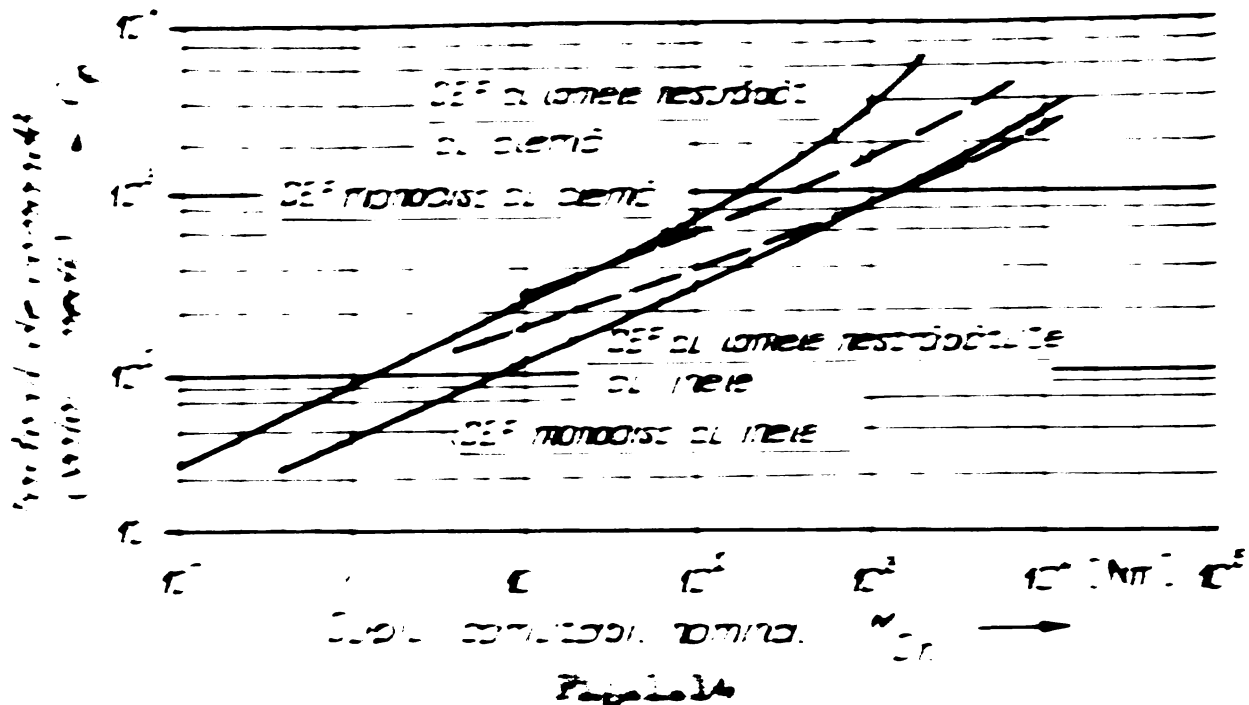


Fig.1.13

Din analiza factorului de comandă  $C_p$  (fig.1.14) definit ca raport între puterea mecanică maximă ce poate fi comutată și puterea electrică necesară comenzii și menținerii anclanșate a cuplajului:

$$C_p = \frac{M_{Cn} \omega_{max}}{U_n \cdot I_n} \quad (1.1)$$



se constată, în urma a observațiilor anterioare referitoare la  
 și schimbarea prin clase de consumare realizată cele mai  
 bune performanțe.

Interesant între cuplul caracteristici luminoase și zona cupla-  
 jului există o interdependență (conf. fig. 1.15) se observă că din  
 acest punct de vedere, performanțele optime se realizează cupla-  
 jale cu lămpi cu mai surzătoare de fluxul magnetic și alimentate  
 prin lămpi.

În urma de analiza comparativă din fig. 1.15 se referă  
 la zona ocupată a luminării cu frecvența medie de utilizare,  
 caracteristicile de se caracterizează și conservă valabilitatea pentru  
 întreaga gamă de fabricație.

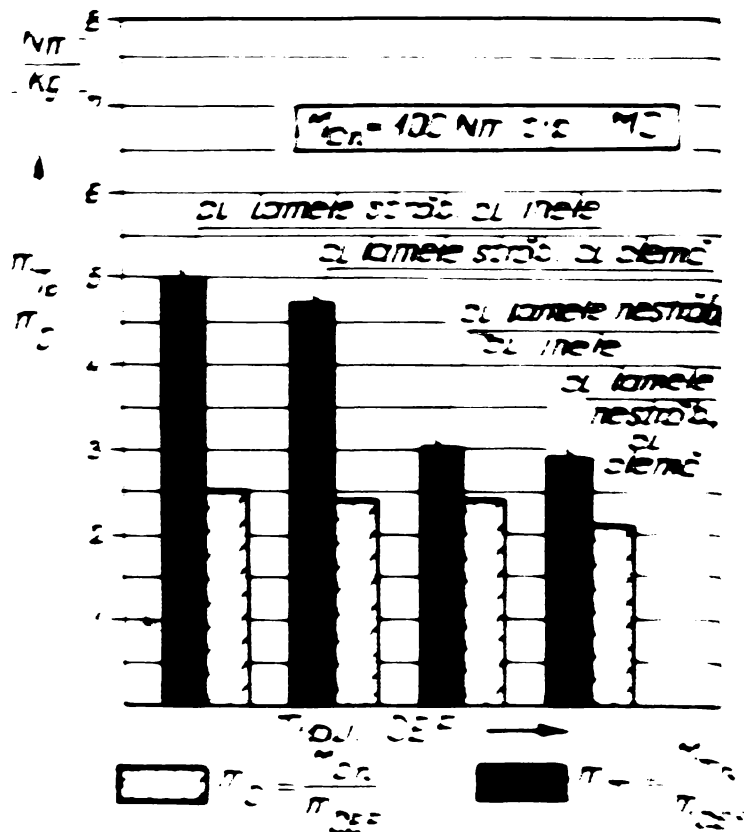


Fig. 1.15

Prin controlul funcțiilor elementare ale CEF :  
cuplarea-decuplarea respectiv frinarea, în acord cu observațiile anterioare, se pot rezolva, în concluzie, următoarele categorii de probleme :

- comanda unor sisteme de acționare în regimuri tranzitorii ;
- selectarea și comanda treptelor de viteze în mecanismele de transmisie ;
- comanda și reglajul pozițional ;
- realizarea unor sisteme de urmărire.

Limitarea timpilor de cuplare/decuplare urmărește crearea unor condiții ușoare de pornire sau realizarea în decursul fenomenelor tranzitorii, a unor caracteristici dinamice impuse de procesul tehnologic. Pe de altă parte, frinarea promptă asigură mărirea preciziei cinematice și implicit scurtarea timpilor auxiliari.

În rețelele electrice subdimensionate, este posibilă înlocuirea motoarelor asincrone cu rotorul bobinat prin motoare de același tip cu rotorul în scurtcircuit chiar în cazul pompi- rilor grele ale agregatelor (deoarece motoarele de acționare pot fi aduse la viteze unghiulare de regim, în gol). În aceleași regimuri, utilizarea cuplajului ca element limitativ de cuplu ușurează condițiile puse elementului motor. În consecință, devine posibilă mărirea randamentului acționării, realizarea unor factori de putere îmbunătățiți la un preț de cost scăzut (pentru investiție și exploatare).

Prin comanda viteselor în mecanisme (vezi § 4.2.3) se urmărește selectarea unei anumite trepte dintr-un șir posibil, excluzându-se încrucișarea comenzilor sau oprirea acționării.

Cuțiile de viteze prevăzute cu CEF - folosite cu precizie în structura (componente) mecanismelor principale și de avans ale mașinilor unelte - au permis trecerea de la comanda manuală la comanda de la distanță, condiție primordială a automatizării.

Comanda sau reglarea pozițională care constă din aducerea și menținerea unui obiect (sarcină) într-o poziție determinată, își găsește aplicabilitatea la servomecanismele pentru orientarea antenelor de emisie și recepție în radiocomunicații,

servomecanisme instrumentale, mijloace de poziționare în construcția mașinilor unelte cu comandă numerică și a aparatelor de ridicat și transportat precum și în alte domenii.

Sistemele de urmărire, ce aparțin sistemelor de acțiune reglate, se folosesc cu precădere la mașinile unelte cu comandă numerică și la cele de copiat, precum și la sistemele de urmărire ale dispozitivelor telecomandate.

Prin utilizarea C&F se obțin soluții ieftine și robuste cu performanțe comparabile în raport cu soluțiile ce utilizează elemente de acționare hidrostatice sau motoare electrice speciale. Se observă că pentru mărirea preciziei cinematice sînt preferate C&F monodizoc.

Datorită caracteristicilor neliniare (vezi § 2.2) cuplajele electromagnetice cu fricțiune par nepotrivite pentru realizarea unor sisteme de acționare reglate de calitate. În realitate însă, dacă sistemul de comandă al C&F este prevăzut cu o puternică reacție negativă, atunci acesta se va apropia prin comportament de un sistem cu reglare continuă prezentînd în plus unele avantaje [45 și 101]. Astfel, deoarece orice abatere de reglare este corectată întotdeauna cu un semnal maxim - datorită caracteristicii de tip releu - aceste sisteme au un timp de răspuns foarte scurt.

### 1.3. Alimentarea, comanda și protecția cuplajelor electromagnetice cu fricțiune.

Sistemele de acționare în a căror componență intră C&F implică rezolvarea corectă a problemelor referitoare la circuitele de alimentare, comandă și protecție.

Caracterul inductiv al circuitelor de excitație și utilizarea în exclusivitate pentru alimentare a curentului continuu determină în fazele de anclanșare și declanșare variații exponențiale ale curentului (vezi § 2.2).

Principial, schemele de alimentare, comandă și protecție sînt analoge cu cele utilizate la dispozitivele electromagnetice alimentate în curent continuu: excitații ale unor mașini electrice, cuplaje electromagnetice cu inducție, platouri magnetice, electromagneți de acționare cu armătură, contactoare, releu etc. În cazul C&F dispozitivele respective sînt tipizate și au cunos

cut o mai largă diversificare [8,13,53,74,89,159 și 162] .

Pentru majoritatea aplicațiilor, alimentarea CEF se asigură din rețelele electrice de distribuție monofazate sau trifazate, prin redresoare în punte, întrucât este necesară obținerea unui curent redresat cu o componentă alternativă redusă (pentru a se atenua vibrațiile armăturii și a se reduce pierderile în fier). Transformatoarele de rețea din structura unităților de alimentare, separă galvanic rețeaua electrică de circuitul de alimentare al CEF și permit corectarea în trepte discrete a tensiunii redresate cu  $\pm$  (5...10) %.

Alimentarea directă din rețea a CEF prin elemente semiconductoare este utilizată foarte rar. Unitățile de alimentare, îndeosebi cele echipate cu elemente semiconductoare cu germaniu sau siliciu, se protejează cu siguranțe cu acțiune rapidă pe partea de sarcină a transformatorului de rețea. Un mijloc suplimentar de protecție la suprasarcinile de scurtă durată sau oscilațiile de înaltă frecvență, constă în șuntarea punții redresoare -pe partea de curent continuu- prin condensatoare neinductive.

Cu toate că tensiunea de alimentare în curent continuu de 24 V tinde să se generalizeze, se mai întâlnesc la cuplajele monodisc de dimensiuni mari alimentate prin contacte alunecătoare, tensiuni nominale de 60, 110 sau 220 V. La instalațiile mobile (autocamioane, betoniere, mașini de construcții, mijloace de transport navale și feroviare) alimentate din baterii de acumulatori se preferă, în afara valorii de 24 V, tensiuni de 6 sau 12 V, iar în aplicațiile din domeniul aeronauticii 28 V [102].

Ca elemente de comandă se folosesc contactoarele, întrucât releele dau satisfacție numai pentru puteri de comandă reduse. În ultimul timp s-a trecut la înlocuirea contactoarelor prin comutatoare statice cu semiconductoare (tranzistoare pentru  $P_c < 100$  W și tiristoare) care, pe lângă reducerea substanțială a timpilor de comutație, au o fiabilitate foarte ridicată. Odată cu creșterea vitezelor de lucru ale utilajelor și mașinilor, atât în sistemele de acționare comandate și mai ales în cele reglate, s-a impus necesitatea reducerii duratei fenomenelor tranzitorii (ambreiere/debreiere). În acest scop, paralel cu realizarea unor cuplaje având construcția mecanică adecvată acțiunii rapide (momente de inerție mici ale armăturii mobile și a părții antrenate, folosirea unui număr redus de lamele de lățime îngustă, din mate-

riale cu calități tribologice superioare și de preferință cu funcționare în mediu uscat) s-au perfecționat și diversificat dispozitive electrice și electronice de alimentare și comandă cu posibilități multiple de reglare.

Dispozitivele folosite pentru micșorarea timpilor de anclanșare, se bazează pe două metode de comandă, principial diferite :

- micșorarea constantei de timp a circuitului de alimentare ;

- forțarea excitației.

Ecuațiile care descriu variația curentului de excitație, implicit cuplul comutabil la folosirea acestor metode de comandă, sînt prezentate în § 2.2.

Prima metodă, deși simplă (sub aspectul numărului elementelor de comutație), are o sferă de aplicații relativ limitată, datorită pierderilor în rezistența adițională ( $R_g$ ). Această metodă - cunoscută și sub denumirea de "anclanșare rapidă" [8, 57, 73, 78, 102] - conduce la micșorarea timpilor de anclanșare, deci și a celor de ambreiere, ca o consecință a creșterii pantei la origine a funcției  $i^e(t)$  (vezi fig. 2.11). Ca un avantaj se menționează faptul că la o alimentare corectă, curentul de excitație nu poate depăși valoarea nominală și în consecință, chiar atunci cînd frecvența anclanșărilor este foarte mare, nu se produc supraîncălziri ale bobinei de excitație.

Metoda forțării excitației - cunoscută sub denumirea de "excitație ultrarapidă" sau "supraexcitație" [89, 102, 137 și 159] constă în aplicarea pe o durată determinată a unei tensiuni continue (constantă sau variabilă) la bornele înfășurării de excitație și a cărei valoare este un multiplu al tensiunii nominale de alimentare. Pentru a se înlătura pericolul supraîncălzirii înfășurării de excitație, cu deosebire cînd frecvența anclanșărilor este mare, procesul de forțare se întrerupe automat la depășirea cu 20...50 % a valorii nominale a curentului [74, 102 și 162]. Controlul procesului de anclanșare, care se execută în acest caz "în domeniul curent", necesită inserierea unor elemente traductoare în circuitele de alimentare ale cuplajelor. Blocurile de comandă (BC) aferente care includ și traductoarele menționate, prin comutare rapidă realizată cu elemente semiconductoare schimbă structura schemei de alimentare conform procesului de forțare acceptat.



Pentru forțarea excitației se utilizează și dispozitive cu reglare "în domeniul timp". În astfel de cazuri, blocurile de comandă au incluse în structură relee de timp (circuite RC) la care se folosesc cu precădere contactoarele ca mijloace de comutație.

În aplicații, la care procesul tehnologic reclamă porniri sau frînări lente, sau accelerări și decelerări ale unor sarcini inerțiale mari, se folosesc CCF comandate printr-o altă categorie de dispozitive, adecvate acestui scop. Dispozitivele pentru anclanșare lentă - comandate manual sau automat [102, 159 și 162] - furnizează la intrarea în acțiune un impuls necesar atragerii armaturii electromagnetului. Apoi, pe o durată predeterminată, se menține funcționarea cuplajului în stare subexcitată. În această situație, cuplajul sau frâna dezvoltă un cuplu comutabil relativ mic, care prin mărirea timpului de ambreiere, satisface condițiile dorite de accelerare sau decelerare. După încheierea procesului de ambreiere, curentul de excitație se readuce la valoarea nominală, cuplajul sau frâna devenind capabile să preia în continuare, prin aderență, cuplul transmisibil nominal.

În cazul regimurilor de cuplare lentă, este necesar să se acorde o atenție deosebită calculului de verificare la încălzire al CCF, deoarece menținerea în alunecare îndelungată conduce la încălzirea intensă și uzura rapidă a elementelor de fricțiune.

Dispozitivele electrice destinate declanșării rapide [102 și 159] se bazează pe principiul contrasexcitației. Importanța practică a acestora este însă diminuată de faptul că durata procesului de declanșare este întotdeauna mult mai mică decât a celui de anclanșare și poate fi influențată în sensul dorit prin alegerea convenabilă a valorilor elementelor și structurii schemei de protecție electrică a cuplajului.

În prezent s-a ajuns la o mare diversificare a mijloacelor de comandă bazate pe principiile menționate. Se subliniază însă lipsa preocupărilor în direcția sistematizării informației, precum și analizei eficienței ce decurge din utilizarea lor.

Admițând unele criterii (fig. 1.16) considerate de autor ca esențiale, pe baza compatibilității, s-a propus clasificarea rațională a mijloacelor de alimentare și comandă ce se prezintă în fig. 1.17.

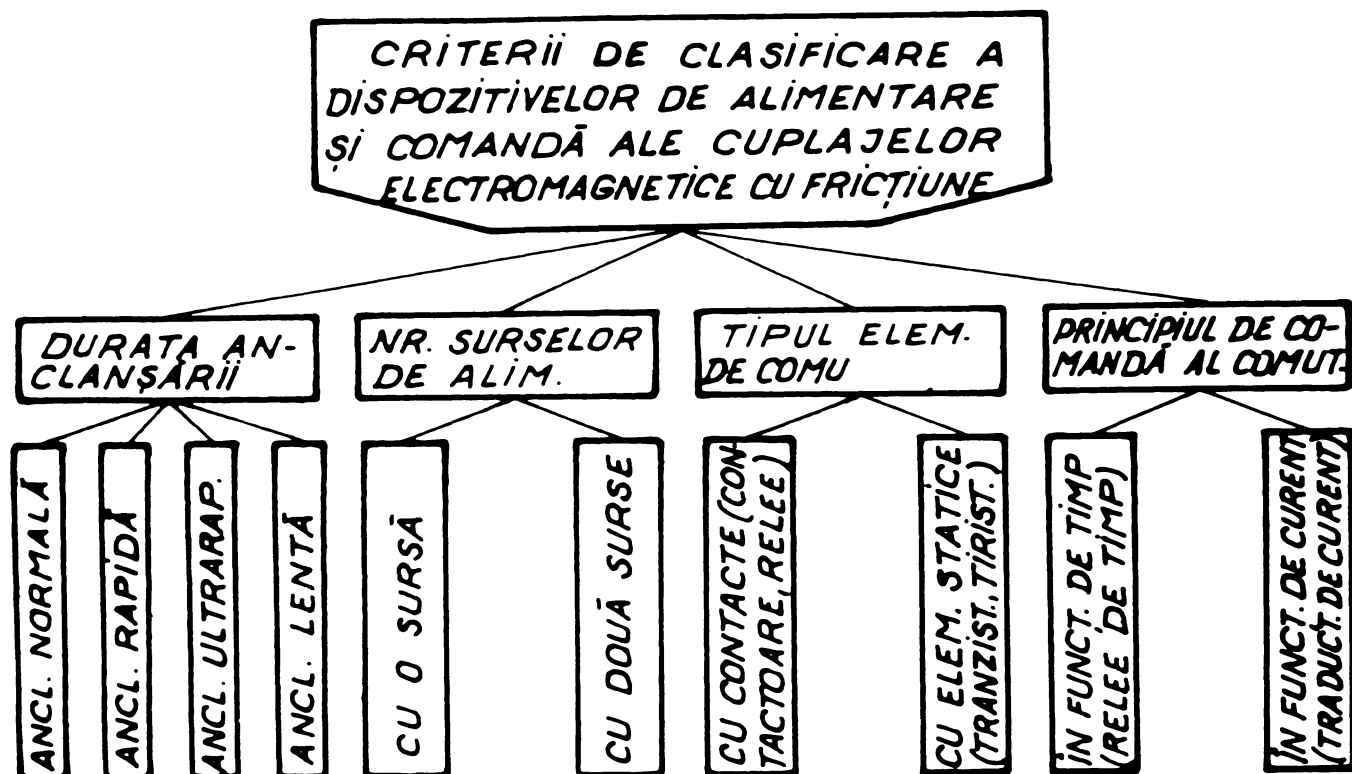


Fig.1.16

Schemele de principiu posibile - grupate pe familii - stau la baza construcției dispozitivelor de alimentare și comandă din domeniu <sup>x)</sup>.

În concepția echipamentului de alimentare, comandă și protecție, cu care a fost dotată instalația experimentală (vezi § 4.1.4) s-a avut în vedere - prin construcție de tip modular - posibilitatea realizării tuturor schemelor de comandă și protecție ce intervin în aplicațiile practice, putându-se verifica eficiența modului de comandă al cuplajului asupra comportării sistemului de acționare în regim tranzitoriu (vezi § 5.1).

Preocupările autorului în această direcție [47] s-au concretizat de asemenea printr-un dispozitiv original de comandă "în domeniul timp" - propunere de invenție [52]. Spre deosebire de dispozitivele existente specializate, cel conceput de autor, prin caracterul său universal se adaptează cu ușurință în vederea realizării oricărui regim de anclanșare.

După cum se știe, cuplajele se comportă în schemele electrice de alimentare ca sarcini de tip inductiv. În consecință, la întreruperea curentului de excitație pot apărea la bornele de alimentare tensiuni inverse mari care, în unele cazuri, pot depăși chiar de (25...30) ori tensiunea nominală.

<sup>x)</sup> Tratarea unor probleme teoretice și practice, analiza soluțiilor de dispozitive de comandă [151, 159, 162 și 167] s-a efectuat în contractul IPTVT/OMI-IE Cugir nr. 4731/72.

POZ.	DURATA ANCLANSĂRII	PARTICULARITĂȚI STRUCTURALE ALE SCHEMEI	DOMENII DE UTILIZARE	SCHEMA DE PRINCIPIU
1	NORMALĂ	Comanda prin contactor sau întrerupător (K). Necesită o singură sursă - redresorul R - (cuplajul cu protecție P)	Utilizare curentă pentru cuplare normală.	
2	RAPIDĂ (prin micșorarea constantelor de timp electrice a circuitului)	a) Necesită o singură sursă. Rezistență $R_a \in [1; 4] R_b$ b) Necesită două surse. Blocul de comandă (BC) cu releu de timp. Rezistență adițională $R_a \in [1; 10] R_b$	Cuplare rapidă. Schema de mare fiabilitate. Aplicații limitate (de disipare pe $R_a$ ) la puteri de comandă $P_{20} < 100 W$  Cuplare rapidă. Schema reduce substanțial puterea disipată în $R_a$ . Aplicații în întreaga gamă a puterilor de comandă. Ca și schema 2a nu provoacă supraîncălzirea bobinei de excitație.	
3	ULTRA-RAPIDĂ (fortarea excitației - supra-excitație)	a) Necesită o singură sursă. Blocul de comandă cu releu de timp. Rezistența pentru fortare $R_f \in [1; 4] R_b$ b) Alimentație cu o singură sursă. Comanda „în funcție de curent” cu element sesizor (traductorul T) $R_f \in [1; 4] R_b$ c) Necesită o singură sursă și baterie de condensatoare $C_f \in [200; 1000] \mu F$ $R_f \in [1; 4] R_b$ d) Alimentație cu două surse și baterie de condensatoare $C_f \in [200; 1000] \mu F$ Nu necesită bloc de comandă e) Alimentație cu două surse în serie $U_f \in [1; 20] U_n$ Comutările în schemă comandate prin releu de timp. f) Alimentație cu două surse în serie $U_f \in [1; 20] U_n$ Comanda comutărilor „în funcție de curent” cu element sesizor serie (traductorul T) $i_{max} \in (1,2 - 1,5) I_n$	Cuplare ultrarapidă. Aplicațiile se limitează la cuplaje cu puterea de comandă $P_{20} < 100 W$ La frecvențe mari de anclansării poate provoca supraîncălzirea bobinei de excitație.  Cuplare ultrarapidă. Elimină inconvenientul supraîncălzirii bobinei de excitație. Datorită pierderilor în $R_f$ aplicații limitate la $P_{20} < 100 W$  Cuplare ultrarapidă. Număr redus de contacte, în consecință fiabilitate ridicată. Frecvența anclansării $f_{max} < 1 Hz$ $P_{20} < 100 W$  Cuplare ultrarapidă. Schema utilizabilă în întregul domeniu al puterilor de comandă $f_{max} < 1 Hz$  Cuplare ultrarapidă de maximă eficiență. Schema utilizabilă în întreaga gamă de puteri de comandă ce intervin în aplicațiile cu CEF. La frecvențe mari de anclansare apare pericolul supraîncălzirii bobinei de excitație.  Cuplare ultrarapidă de maximă eficiență. Schema utilizabilă în întreaga gamă a puterilor de comandă. Chiar și la frecvențe mari de anclansării $f_{max} \in [25; 50] Hz$ nu apare pericolul supraîncălzirii bobinei de excitație.	
4	LENTĂ (subexcitație)	a) Necesită o singură sursă. Comutările se execută normal. Rezistență adițională $R_{a max} < 3 R_b$ b) Alimentație cu o singură sursă. Comanda automată a comutării prin releu de timp. $R_{a max} < 3 R_b$	Cuplări lente, puțin pretențioase. Regimul de cuplare se poate modifica prin reglarea rezistenței $R_a$  Cuplări lente automate cu o bună reproducibilitate.	

Observație: Contactele din scheme pot fi înlocuite prin elemente de comutație statice

Fig. 1.17

Aceste virfuri de tensiune pun în pericol izolația înfășurării de excitație, componentele sursei de alimentare și elementele de comutație. Deși practic, problema protecției din punctul de vedere al izolației bobinei se pune numai la CNF cu o putere necesară cosenului mai mare de  $(40...50) \cdot [102]$ , în cazul folosirii elementelor semiconductoare ca mijloace de comutație, protecția trebuie asigurată în toate cazurile.

În fig.1.18 sînt prezentate schemele uzuale de protecție și se fac unele precizări, privind utilizarea lor.

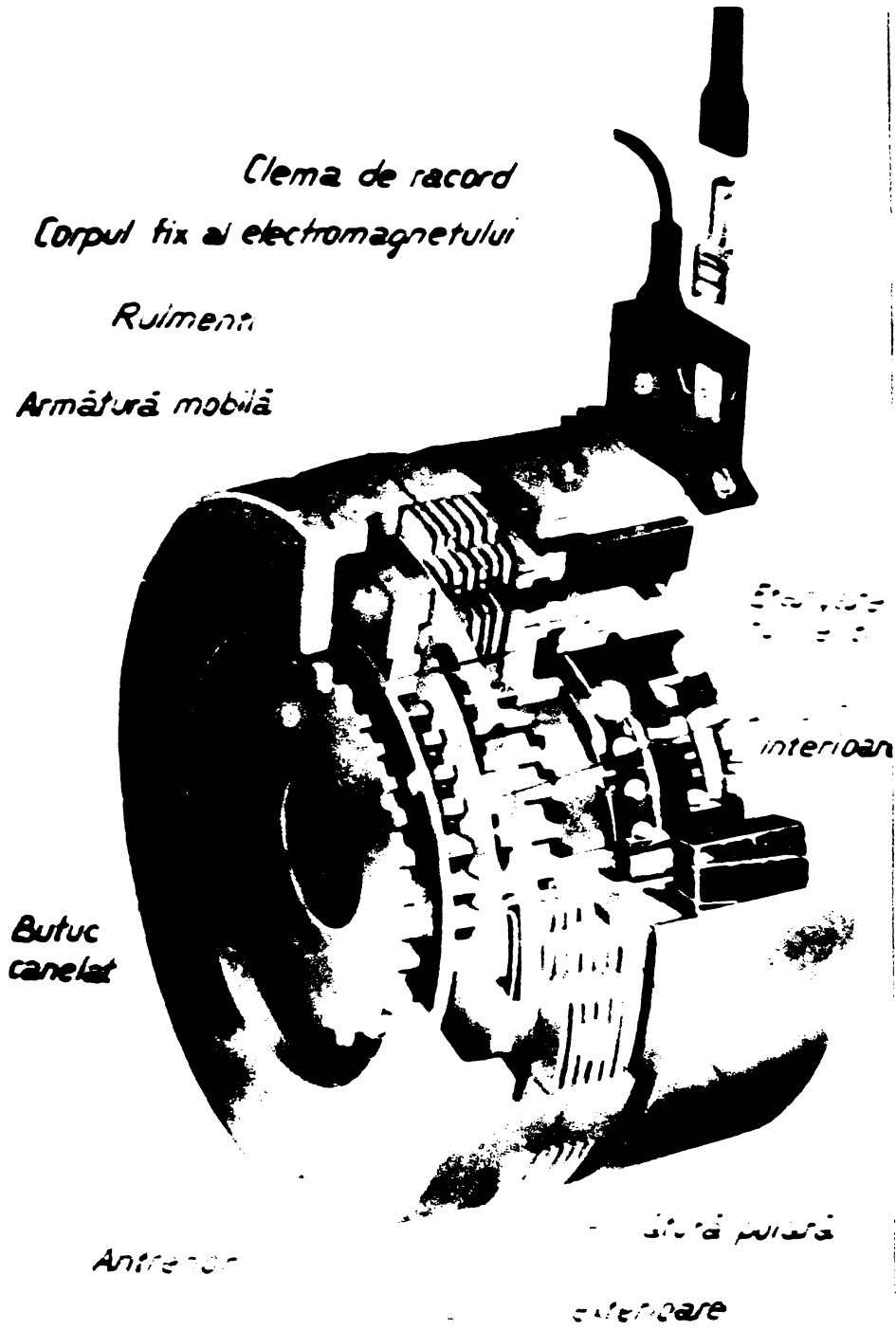


Fig.1.18

Protecția prin varistoare tinde în ultimul timp să se generalizeze, ca urmare a faptului că acest element de protecție, prin caracteristica sa (rezistență-tensiune) asigură în cele mai bune condiții, pe de o parte, limitarea convenabilă a tensiunii inverse, iar pe de altă parte, timpilor de declanșare relativ reduși. În § 5.1 sînt prezentate unele rezultate privitoare la influența elementelor schemei de protecție asupra timpilor de declanșare.

**CAP. 2. BAZELE TEORETICE ALE PROCESULUI TRANSMITERII PUFERII PRIN CUPLAJE ELECTROMAGNETICE CU FRICTIUNE.**

**2.1. Considerații asupra procesului de ambreiere.**

Examinarea teoretică a funcționării acționărilor prin cuplaje electromagnetice cu fricțiune, întîmpină reale dificultăți metodice. Ele sînt cauzate de procesele proprii acționărilor electromecanice [23, 24, 26, 122 și 123], cărora li se asociază influențele suplimentare de natură electromagnetică [11, 15, 27, 30, 51, 88, 124, 126 și 130] tribologică și termică [43, 46, 56, 62, 64 și 67] introduse în sistem de cuplaj.

Pentru sistematizarea și aprofundarea proceselor menționate, autorul a adoptat o schematizare cît mai generală, care, fără a denatura realitatea, permite o tratare riguroasă.

Se știe că structura cea mai generală a unui agregat mecanic cuprinde trei părți distincte (fig. 2.1) : mașina motoare, transmisia mecanică și mașina de lucru.

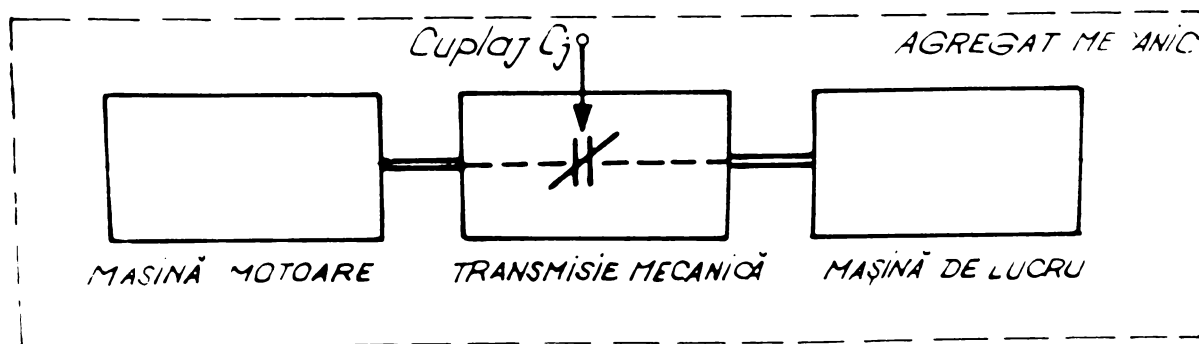


Fig. 2.1

INSTITUTUL DE RECHIZIȚE  
TEHNOLOGICE

Indiferent de natura ei, în componența transmisiei pot exista unul sau mai multe cuplaje care sînt analoge funcțional elementelor bistabile și au rolul de a întrerupe sau restabili, la o comandă dată, fluxul energetic.

Pe baza acestui model funcțional, se poate întocmi modelul mecanic echivalent (fig.2.2), detașînd un subansamblu cuplaj-arbori aferenți la care se reduc momentele de inerție  $J_{1,2}$  și cuplurile motor respectiv rezistent  $M_{1,2}$ .

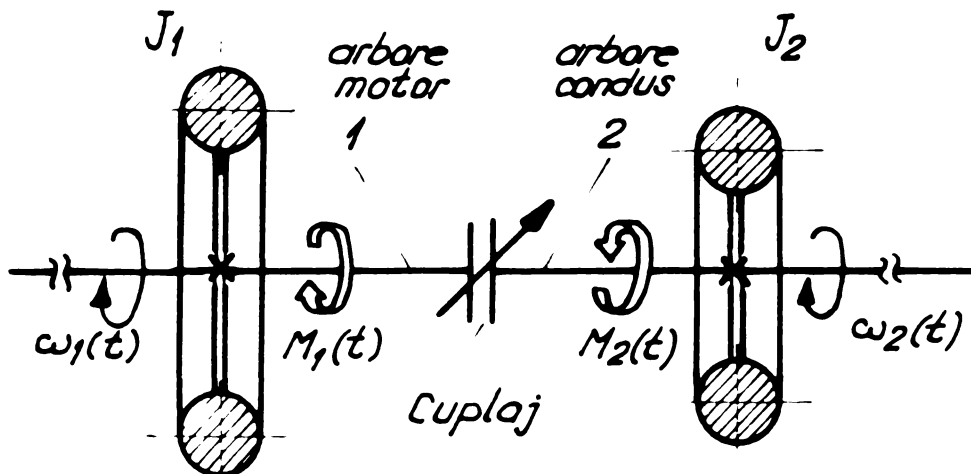


Fig.2.2

Modelul funcțional și modelul mecanic echivalent astfel concepute, răspund dezideratului formulat anterior.

Din punctul de vedere al funcționării cuplajului, se disting două regimuri de lucru :

- regimul stabilizat, corespunzător stărilor cuplat sau decuplat și
- regimul tranzitoriu, ce se manifestă la trecerea din starea decuplată în cea cuplată sau invers.

### 2.1.1. Regimul stabilizat.

a). Starea decuplată, se caracterizează prin :

- inexistența forței normale  $N(t)$  de apăsare a suprafețelor de fricțiune conjugate, în lipsa semnalului de comandă  $f_c(t)$ , adică :

$$\forall f_c(t) = 0 \Rightarrow N(t) = 0 \quad (2.1 a)$$

exceptie fac cuplajele dezașionate electrodinamice la care :

$$\forall 0 < f_c(t) = \text{const.} \exists \dot{M}(t) = 0 \quad (2.1 \text{ b})$$

- mișcare permanentă de alunecare între suprafețele active, definită prin viteza unghiulară relativă maximă ( $\omega_{ro}$ ):

$$\forall \omega_1(t) \in Z; \omega_2(t) \in Z \exists \omega_r(t) = \omega_{ro} = \omega_1(t) - \omega_2(t) \neq 0 \quad (2.2)$$

- manifestarea unui cuplu rezidual  $M_r$  (numai la cuplajele cu pachet de lamele), consecință a contactelor întâmplătoare ce se stabilesc între suprafețele active direct sau prin intermediul lubrifiantului.

Așadar, la cuplajele cu lamele :

$$\forall \omega_r(t) \neq 0 \cup \dot{M}(t) = 0 \exists M_r = M_r(\omega_r, \eta, Q \dots) \quad (2.3)$$

apar fenomene disipative cauzate de procesele de frecare-uzare în condițiile menționate.

Prin expresia (2.4) se evidențiază energia disipată corespunzătoare timpului de alunecare în stare decuplată :

$$(W_d)_0 = \int_0^{t_{ad}} M_r(\omega_r) \omega_r dt \quad (2.4)$$

- posibilitate de apariție a unor antrenări false, dacă mărimea cuplului rezidual la un moment dat depășește cuplul rezistent aplicat arborelui condus.

Așadar :

$$\forall M_r > M_2 \cup \omega_r \neq 0 \exists \omega_2(t) \neq 0 \quad (2.5)$$

În sistemul de acționare se produce antrenarea falsă a arborelui condus, fenomen cu multiple implicații asupra preciziei cinematice și chiar a fiabilității acționării.

Abordarea teoretică a funcționării în stare decuplată, întâmpină mari dificultăți ce derivă din caracterul aleator și labil al legăturilor de fricțiune. Expresia analitică a cuplului rezidual în condițiile funcționării umede a pachetului de lamele devine practic greu abordabilă, deoarece numărul variabilelor independente este foarte mare. Influențele introduse numai de natura, temperatura și debitul lubrifiantului, de modalitatea lubrificării-răcirii, poziția de funcționare a dispozitivului, de numărul respectiv geometria suprafețelor și natura materialelor

de fricțiune a lamelilor, sînt greu de stăpînit chiar în pu

De aici se poate trage concluzia că, pentru menținerea  
mijlocul cel mai eficient și rațional de studiere a funcțio  
rii cuplajelor în stare decuplată este cercetarea experimen  
tală.

În contradicție cu realitatea, în literatura de m  
calitate, cu rare excepții [67, 102 și 155], se consideră  
independent de factorii enumerați, cuplul residual ar avea  
learea constantă.

Consecințele acestei opinii simpliste și nefondat  
au condus adeseori la proiectarea și realizarea unor trans  
mecanice cu pierderi mari, întrucît nu s-au stăpînit particu  
ritățile funcționale ale cuplajelor în acest regim.

Mai ales atunci cînd funcționarea în stare decupl  
este de lungă durată și acest regim este imperfect cunoscut  
delimitat, procesele disipative pot deveni determinante pent  
fiabilitatea întregului sistem de acționare.

În cele consideratii teoretice, date experimentale și  
concluzii referitoare la variația cuplului residual sînt co  
ținute în § 3.2.

b). STAREA CUPLATĂ se caracterizează prin :

- inexistența mișcării relative între suprafețele  
frecare ( $\omega_1 = \omega_2$ ) sau :

$$\omega_1(t) = \omega_2(t) = \omega_{12}(t) \quad (2)$$

- apăsare permanentă a suprafețelor conjugate, ce  
conduce la dezvoltarea unui cuplu transmisibil  $M_T$  - de frec  
de diferență - .

Așadar :

$$\forall \omega_1 \equiv \omega_2 \in \mathbb{R} ; \quad n \in \mathbb{N} \exists M_T = M_T(\mu_s, j, R_m, h, \dots) \quad (3)$$

unde :

$\mu_s$  este coeficientul de frecare static ;

$j$  - numărul total al lamelilor ;

$R_m$  - raza medie a suprafețelor de frecare.

- lipsa proceselor disipative la nivelul suprafețe  
de frecare.

Se menționează că în circuitele de comandă sau în  
montele auxiliare ale dispozitivului, pot să apară procese d



pative de obicei neglijabile ca efect.

- limitarea cuplului transmis  $M_t$  la nivelul cuplului transmisibil  $M_F$ .

$$\forall M_{t_{1,2}}(t) \exists M_{t_{1,2}}(t) \leq M_F \rightarrow \omega_r = 0 \quad (2.8)$$

Patinarea necentrolată a cuplajelor la suprasarcină, cas în care acestea ar lucra ca limitatoare de cuplu, trebuie evitată. Deși în această situație, cuplajul îndeplinește simultan și funcția limitativă de siguranță, procesul disipativ se agravează și are drept consecință reducerea fiabilității prin distrugerea rapidă a suprafețelor active ale pachetului de lamele.

Se subliniază faptul că îndeosebi la cuplajele cu fricțiune comandate electromagnetic sau hidrostatic, modificarea parametrului de comandă atrage după sine modificarea cuplului transmisibil. Prin aceasta, nivelul sarcinii limită se reglează și se menține la valoarea dorită cu o precizie ridicată.

Pentru a proteja sistemul de acționare, s-au imaginat cuplaje cu fricțiune [107, 120 și 127] care, la apariția unor alunecări relative datorită suprasarcinilor accidentale, comandă oprirea mașinii motoare.

Regimul de funcționare în stare cuplată este bine stabilit, iar teoria aferentă lui este relativ simplă. Cercetările experimentale privitoare la acest regim nu ridică probleme dificile de natură metodică, iar rezultatele ce se obțin sînt precise și reproductibile.

### 2.1.2. Regimul tranzitoriu.

Regimul tranzitoriu la cuplare și decuplare prin consecințele sale asupra sistemului de acționare și asupra dispozitivului însuși, este cel mai semnificativ regim sub aspectul caracterizării funcționale.

În raport cu natura constructivă a cuplajului și a sistemelor de comandă, apar în limite relativ largi, posibilități multiple de modificare a duratei fenomenelor tranzitorii.

Din punctul de vedere al cuplajului, acest regim se caracterizează prin (fig. 2.3) :

- creșterea sau descreșterea în timp finit a forței de

apăsare, aplicată suprafețelor de frecare, după cum are loc cuplarea sau decuplarea.

Forța de apăsare se modifică în acest regim dependent de variația semnalului de comandă :

$$\nabla \left[ \frac{d f_c(t)}{dt} \neq 0 \right] M(t) > 0, \quad (2.9)$$

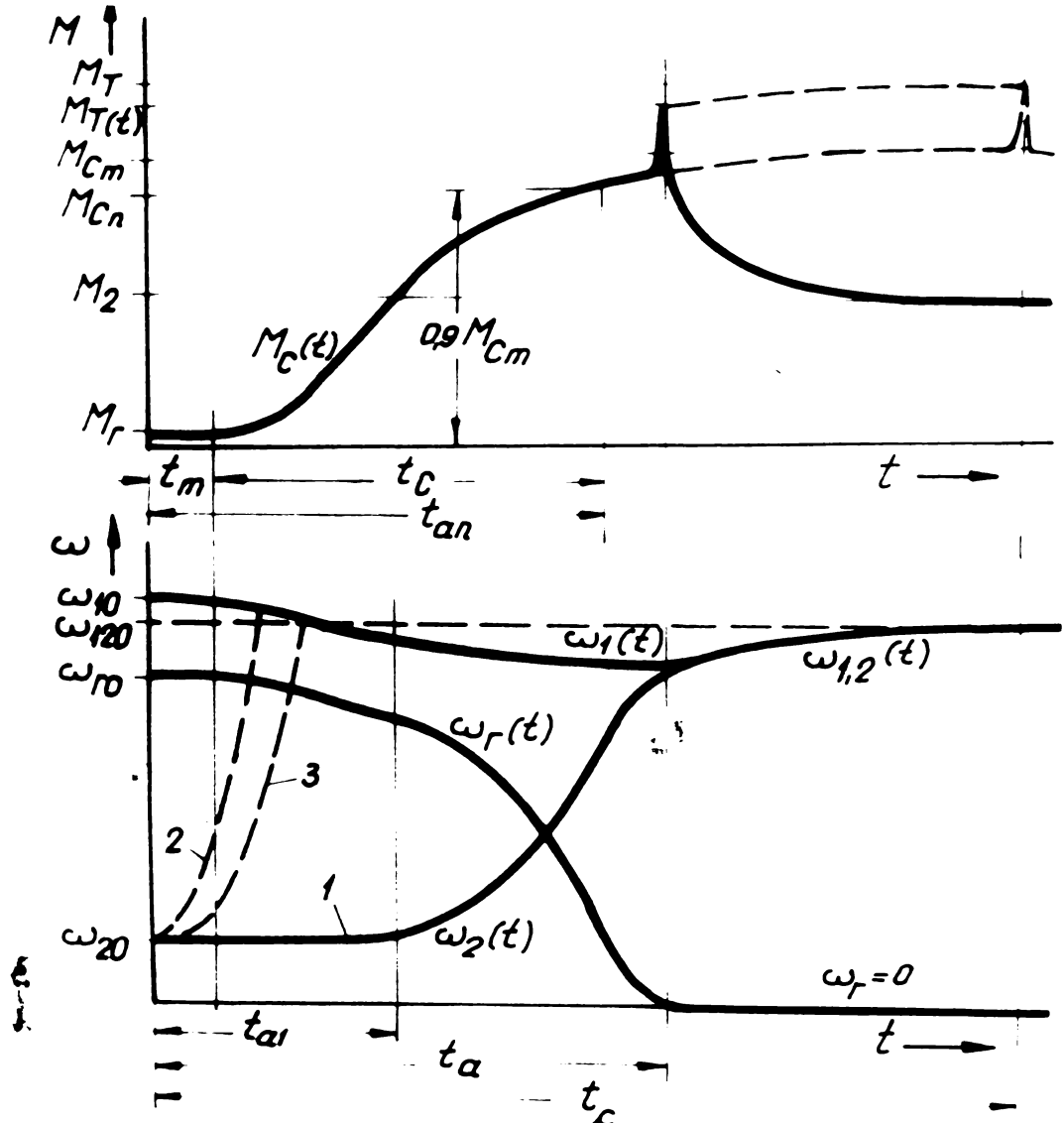


Fig. 2.3

- existența vitezei relative între suprafețele de frecare pe întreaga durată sau pe o durată parțială a timpului în care are loc procesul tranzitoriu. In consecință, indiferent de natura sarcinii, în intervalul de timp  $t \in [t_{a1} ; t_c]$  sau  $t \in [t_{d1} ; t_{op}]$  are loc o mișcare accelerată respectiv decelerată a arborelui condus, adică :

$$\frac{d}{dt} [\omega_2(t)] \neq 0$$

- realizarea cuplului comutabil  $M_c(t)$  ca o consecință

a legăturilor de fricțiune ce se stabilesc între lamelele conjugate sub acțiunea forței normale de apăsare.

Așadar, pentru intervalul de timp  $t \in [t_m ; t_a]$  cît durează procesul de ambreiere, este satisfăcută condiția :

$$\forall N(t) > 0 ; \omega_r \in [\omega_{ro} ; 0] \Rightarrow M_C(t) = M_C [\mu_c, j, R_m, N(t)] \quad (2.10)$$

sau pentru intervalul de timp  $t \in [t_a ; t_c]$  în care se termină faza de accelerare :

$$\forall N(t) > 0 ; \omega_r = 0 ; \frac{d}{dt} [\omega_2(t)] \neq 0 \Rightarrow M_T(t) = M_T [\mu_s, j, R_m, N(t)] \quad (2.11)$$

unde :

$\omega_{ro} = \omega_{10} - \omega_{20}$ , reprezintă viteza unghiulară maximă în raport cu condițiile inițiale ale mișcării.

Se face mențiunea că valoarea cuplului transmisibil  $M_T(t)$  din relația (2.11) poate fi egală cu valoarea sa maximă  $M_T$  conform relației (2.6), sau mai mică, dacă  $\frac{d}{dt} [N(t)] \neq 0$ , ceea ce se întâmplă cînd semnalul de comandă variază lent.

- procese disipative intense într-un interval de timp relativ scurt  $t \in [t_m ; t_a]$  cît există mișcare relativă între suprafețele de fricțiune conjugate și care se soldează cu încălzirea cuplajului, respectiv uzarea lamelor.

Astfel energia disipată va fi (fig. 2.3) :

$$\forall \omega_r \neq 0 \cup N(t) \neq 0 \Rightarrow W_d = \omega_{ro} \left[ M_T t_m + \int_{t_m}^{t_{al}} M_C(t) dt \right] + \int_{t_{al}}^{t_a} M_C(t) \omega_r(t) dt \simeq \omega_{ro} \left[ \int_{t_m}^{t_{al}} M_C(t) dt + \int_{t_{al}}^{t_a} M_C(t) \omega_r(t) dt \right] \quad (2.12)$$

în care :

$(t_{al} - t_m)$  este cota-parte a timpului de ambreiere în care suprafețele active se află în alunecare la viteza relativă maximă ;

$(t_a - t_{al})$  - cota-parte a timpului de ambreiere, în care suprafețele active se află în alunecare la o viteză unghiulară relativă  $\omega_r(t) \in [0 ; \omega_{ro}]$ .

Procesele disipative din cuplaj la debreiere sînt ne-

semnificative, întrucît intervalul de timp ( $t_d - t_{d1}$ ) propriu acestei faze ce rezultă din fig.2.4, este de obicei foarte mic în raport cu timpul de ambreiere.

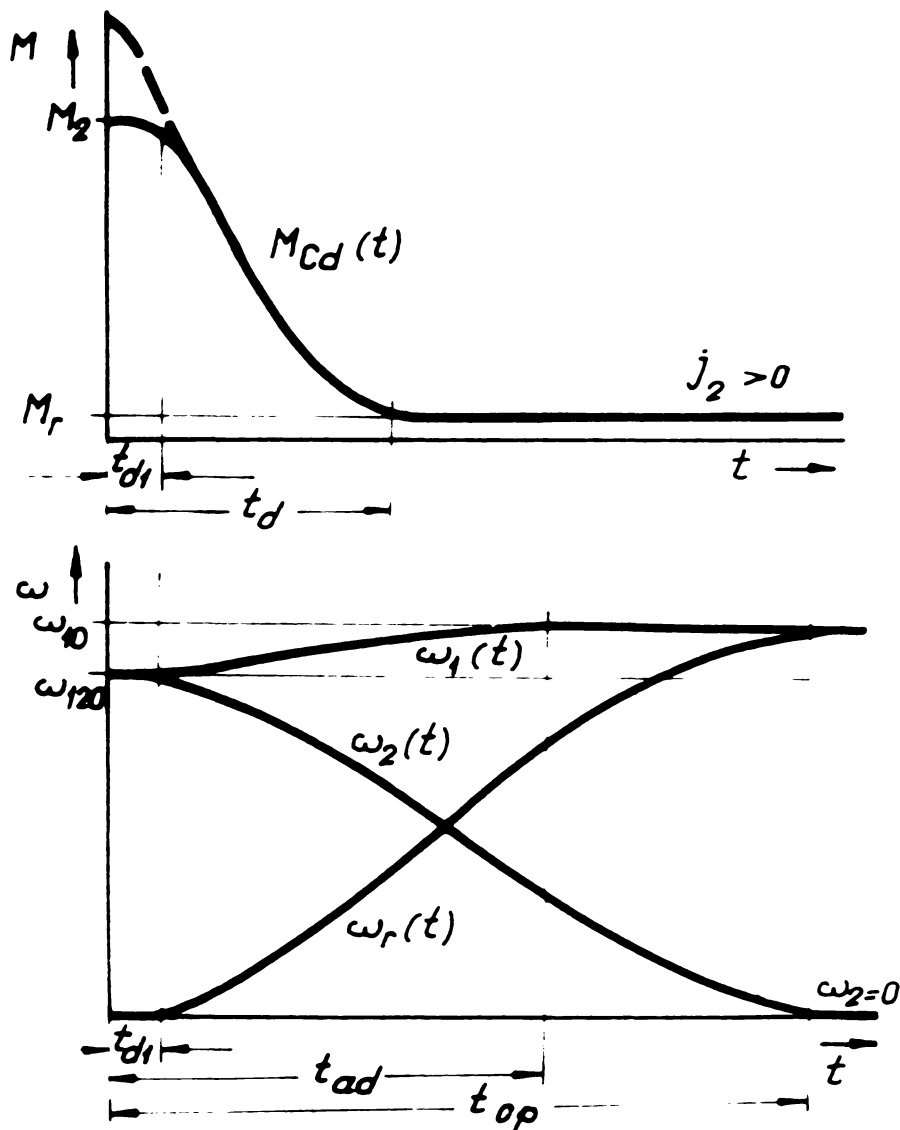


Fig.2.4

După cum rezultă din relația (2.11) și fig.2.3, procesul tranzitoriu are loc și după terminarea ambreierii, cînd cei doi arbori au aceeași viteză unghiulară :

$$\omega_1(t) = \omega_2(t) = \omega_{1,2}(t)$$

Acest proces se consideră încheiat cînd cei doi arbori cuplați, au atins, prin accelerare, viteza unghiulară finală :

$$\omega_{1,2}(t) = \omega_{120},$$

corespunzătoare punctului de funcționare în sarcină de pe caracteristica mecanică a motorului.

Pentru analiza fenomenelor tranzitorii cu ajutorul mede-

lului mecanic din fig.2.2, s-a acceptat că arborele motor (1) are inițial o viteză unghiulară  $\omega_{10}$  și este capabil să transmită cuplul motor  $M_1$ . Corelația  $M_1(\omega_1)$  derivă din caracteristica mecanică a mașinii motoare și particularitățile transferului energetic pînă la arborele considerat.

Asupra arborelui condus, cu viteza inițială  $\omega_{20}$ , acționează cuplul rezistent  $M_2$ . Corelația  $M_2(\omega_2)$  derivă din caracteristica mecanică a mașinii de lucru și particularitățile transferului energetic de la arborele considerat, la elementul de execuție.

Analiza proceselor de ambreiere urmărește rezolvarea a două situații distincte.

La un sistem de acționare definit integral prin :

$$\left\{ M_{1,2}(\omega) ; J_{1,2}, M_{cm} \right\}$$

se cere :

- determinarea timpilor caracteristici ai procesului tranzitoriu și implicit, energia disipată ; sau

- impunându-se timpii caracteristici procesului tranzitoriu, se cere să se aleagă cuplajul care îi realizează.

În ambele cazuri, soluția se obține prin integrarea ecuațiilor mișcării celor doi arbori - considerați rigizi - caz în care :

$$M_C(t) = M_1 - J_1 \frac{d\omega_1}{dt} \quad (2.13)$$

$$M_C(t) = M_2 + J_2 \frac{d\omega_2}{dt}$$

Acste ecuații diferențiale își păstrează valabilitatea, atît timp cît cuplajul se află în alunecare. După încheierea procesului ambreierii, are loc accelerarea celor doi arbori cuplați rigid descriși prin ecuația diferențială :

$$M_1 = M_2 + (J_1 + J_2) \frac{d\omega_{1,2}}{dt} \quad (2.14)$$

Generalizarea ecuațiilor (2.13) pentru cazul unor momente de inerție masice variabile, conduce la :

$$M_C(t) = M_1 - \left( J_1 \frac{d\omega_1}{dt} + \frac{1}{2} \omega_1 \frac{dJ_1}{dt} \right) \quad (2.15)$$

$$M_C(t) = M_2 + \left( J_2 \frac{d\omega_2}{dt} + \frac{1}{2} \omega_2 \frac{dJ_2}{dt} \right)$$

de fricțiune a lamelilor, sînt greu de stăpînit chiar în parte.

De aici se poate trage concluzia că, pentru moment, mijlocul cel mai eficient și rațional de studiere a funcționării cuplajelor în stare decuplată este cercetarea experimentală.

În contradicție cu realitatea, în literatura de specialitate, cu rare excepții [67, 102 și 155], se consideră că, independent de factorii enumerați, cuplul rezidual ar avea valoarea constantă.

Consecințele acestei opinii simpliste și nefondate au condus adeseori la proiectarea și realizarea unor transmisii mecanice cu pierderi mari, întrucît nu s-au stăpînit particularitățile funcționale ale cuplajelor în acest regim.

Mai ales atunci cînd funcționarea în stare decuplată este de lungă durată și acest regim este imperfect cunoscut și delimitat, procesele disipative pot deveni determinante pentru fiabilitatea întregului sistem de acționare.

Unele considerații teoretice, date experimentale și concluzii referitoare la variația cuplului rezidual sînt conținute în § 5.2.

b). Starea cuplată se caracterizează prin :

- inexistența mișcării relative între suprafețele de frecare ( $\omega_r = 0$ ) sau :

$$\omega_1(t) = \omega_2(t) = \omega_{120} \quad (2.6)$$

- apăsare permanentă a suprafețelor conjugate, ceea ce conduce la dezvoltarea unui cuplu transmisibil  $M_T$  - de frecare de aderență - .

Așadar :

$$\forall \omega_1 \equiv \omega_2 \in \mathbb{Z} ; \quad M \in \mathbb{R} \Rightarrow M_T = M_T(\mu_s, j, R_m, M \dots) \quad (2.7)$$

unde :

$\mu_s$  este coeficientul de frecare statică ;

$j$  - numărul total al lamelilor ;

$R_m$  - raza medie a suprafețelor de frecare.

- lipsa proceselor disipative la nivelul suprafețelor de frecare.

Se menționează că în circuitele de comandă sau în elementele auxiliare ale dispozitivului, pot să apară procese disi-

pativ de obicei neglijabile ca efect.

- limitarea cuplului transmis  $M_t$  la nivelul cuplului transmisibil  $M_T$ .

$$\forall M_{t_{1,2}}(t) \quad ] \quad M_{t_{1,2}}(t) \leq M_T \rightarrow \omega_r = 0 \quad (2.8)$$

Patinarea necontrolată a cuplajelor la suprasarcină, caz în care acestea ar lucra ca limitatoare de cuplu, trebuie evitată. Deși în această situație, cuplajul îndeplinește simultan și funcția limitativă de siguranță, procesul disipativ se agravează și are drept consecință reducerea fiabilității prin distrugerea rapidă a suprafețelor active ale pachetului de lamele.

Se subliniază faptul că îndeosebi la cuplajele cu fricțiune comandate electromagnetic sau hidrostatic, modificarea parametrului de comandă atrage după sine modificarea cuplului transmisibil. Prin aceasta, nivelul sarcinii limită se reglează și se menține la valoarea dorită cu o precizie ridicată.

Pentru a proteja sistemul de acționare, s-au imaginat cuplaje cu fricțiune [107, 120 și 127] care, la apariția unor alunecări relative datorită suprasarcinilor accidentale, comandă oprirea mașinii motoare.

Regimul de funcționare în stare cuplată este bine stabilit, iar teoria aferentă lui este relativ simplă. Cercetările experimentale privitoare la acest regim nu ridică probleme dificile de natură metodică, iar rezultatele ce se obțin sînt precise și reproductibile.

### 2.1.2. Regimul tranzitoriu.

Regimul tranzitoriu la cuplare și decuplare prin consecințele sale asupra sistemului de acționare și asupra dispozitivului însuși, este cel mai semnificativ regim sub aspectul caracterizării funcționale.

În raport cu natura constructivă a cuplajului și a sistemelor de comandă, apar în limite relativ largi, posibilități multiple de modificare a duratei fenomenelor tranzitorii.

Din punctul de vedere al cuplajului, acest regim se caracterizează prin (fig. 2.3) :

- creșterea sau descreșterea în timp finit a forței de

apăsare, aplicată suprafețelor de frecare, după cum are loc cuplarea sau decuplarea.

Forța de apăsare se modifică în acest regim dependent de variația semnalului de comandă :

$$\nabla \left[ \frac{d F_c(t)}{dt} \neq 0 \right] x(t) > 0, \quad (2.9)$$

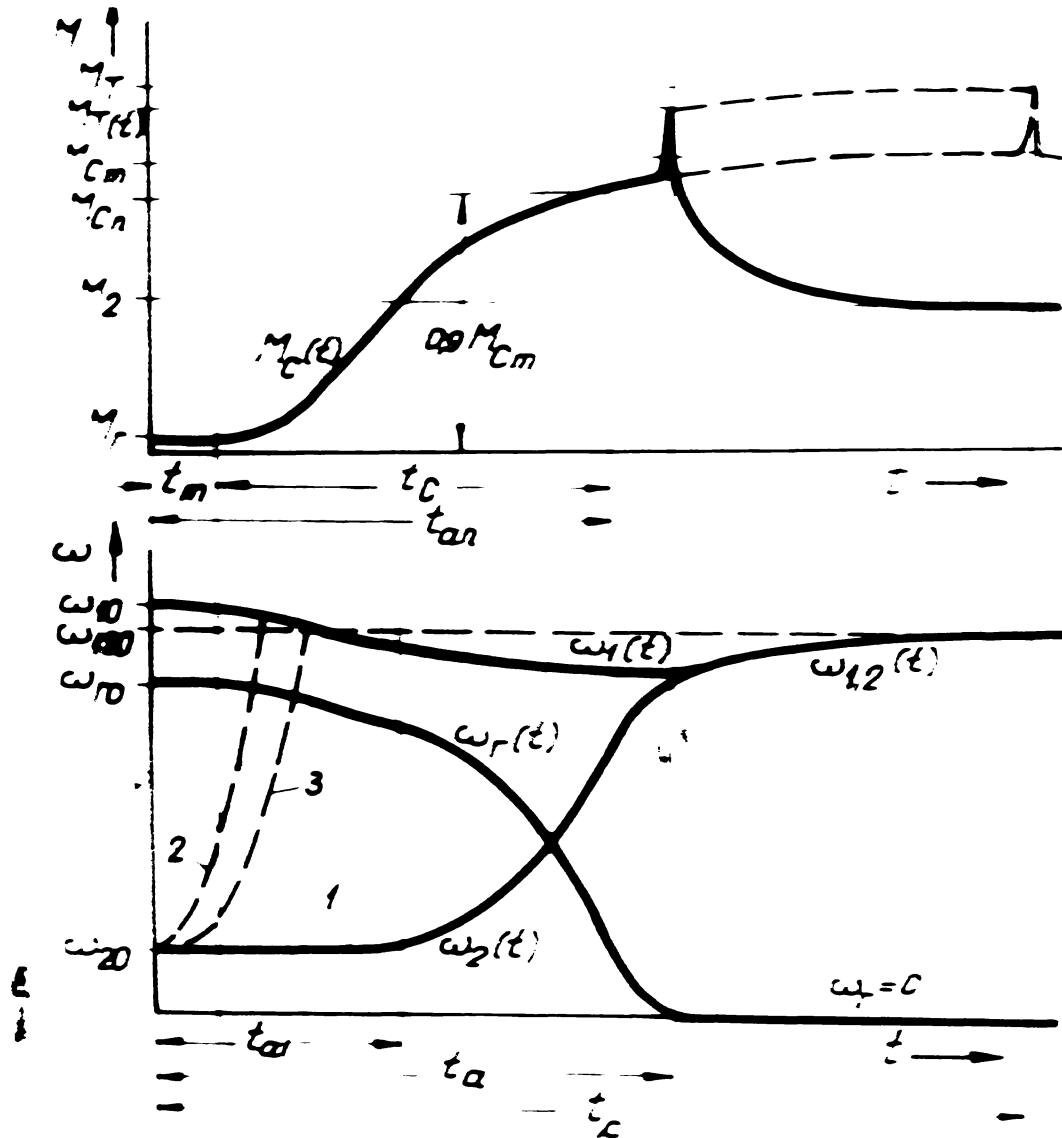


Fig. 2.3

- existența vitezei relative între suprafețele de frecare pe întreaga durată sau pe o durată parțială a timpului în care are loc procesul tranzitoriu. În consecință, indiferent de natura sarcinii, în intervalul de timp  $t \in [t_{a1}; t_c]$  sau  $t \in [t_{d1}; t_{op}]$  are loc o mișcare accelerată respectiv decelerată a arborelui comus, anică :

$$\frac{d}{dt} [\omega_2(t)] \neq 0$$

- realizarea cuplului comutabil  $M_c(t)$  ca o consecință



a legăturilor de fricțiune ce se stabilesc între lamelele conjugate sub acțiunea forței normale de apăsare.

Așadar, pentru intervalul de timp  $t \in [t_m ; t_a]$  cît durează procesul de ambreiere, este satisfăcută condiția :

$$\forall N(t) > 0 ; \omega_r \in [\omega_{ro} ; 0] \Rightarrow M_C(t) = M_C [\mu_c, j, R_m, N(t)] \quad (2.10)$$

sau pentru intervalul de timp  $t \in [t_a ; t_c]$  în care se termină faza de accelerare :

$$\forall N(t) > 0 ; \omega_r = 0 ; \frac{d}{dt} [\omega_2(t)] \neq 0 \Rightarrow M_T(t) = M_T [\mu_s, j, R_m, N(t)] \quad (2.11)$$

unde :

$\omega_{ro} = \omega_{10} - \omega_{20}$ , reprezintă viteza unghiulară maximă în raport cu condițiile inițiale ale mișcării.

Se face mențiunea că valoarea cuplului transmisibil  $M_T(t)$  din relația (2.11) poate fi egală cu valoarea sa maximă  $M_T$  conform relației (2.6), sau mai mică, dacă  $\frac{d}{dt} [N(t)] \neq 0$ , ceea ce se întâmplă cînd semnalul de comandă variază lent.

- procese disipative intense într-un interval de timp relativ scurt  $t \in [t_m ; t_a]$  cît există mișcare relativă între suprafețele de fricțiune conjugate și care se soldează cu încălzirea cuplajului, respectiv uzarea lamelor.

Astfel energia disipată va fi (fig. 2.3) :

$$\forall \omega_r \neq 0 \cup N(t) \neq 0 \Rightarrow W_d = \omega_{ro} \left[ M_r t_m + \int_{t_m}^{t_{al}} M_C(t) dt \right] + \int_{t_{al}}^{t_a} M_C(t) \omega_r(t) dt \simeq \omega_{ro} \left[ \int_{t_m}^{t_{al}} M_C(t) dt + \int_{t_{al}}^{t_a} M_C(t) \omega_r(t) dt \right] \quad (2.12)$$

în care :

$(t_{al} - t_m)$  este cota-parte a timpului de ambreiere în care suprafețele active se află în alunecare la viteza relativă maximă ;

$(t_a - t_{al})$  - cota-parte a timpului de ambreiere, în care suprafețele active se află în alunecare la o viteză unghiulară relativă  $\omega_r(t) \in [0 ; \omega_{ro}]$ .

Procesele disipative din cuplaj la debreiere sînt ne-

semnificative, întrucât intervalul de timp ( $t_d - t_{d1}$ ) propriu acestei faze ce rezultă din fig.2.4, este de obicei foarte mic în raport cu timpul de ambreiere.

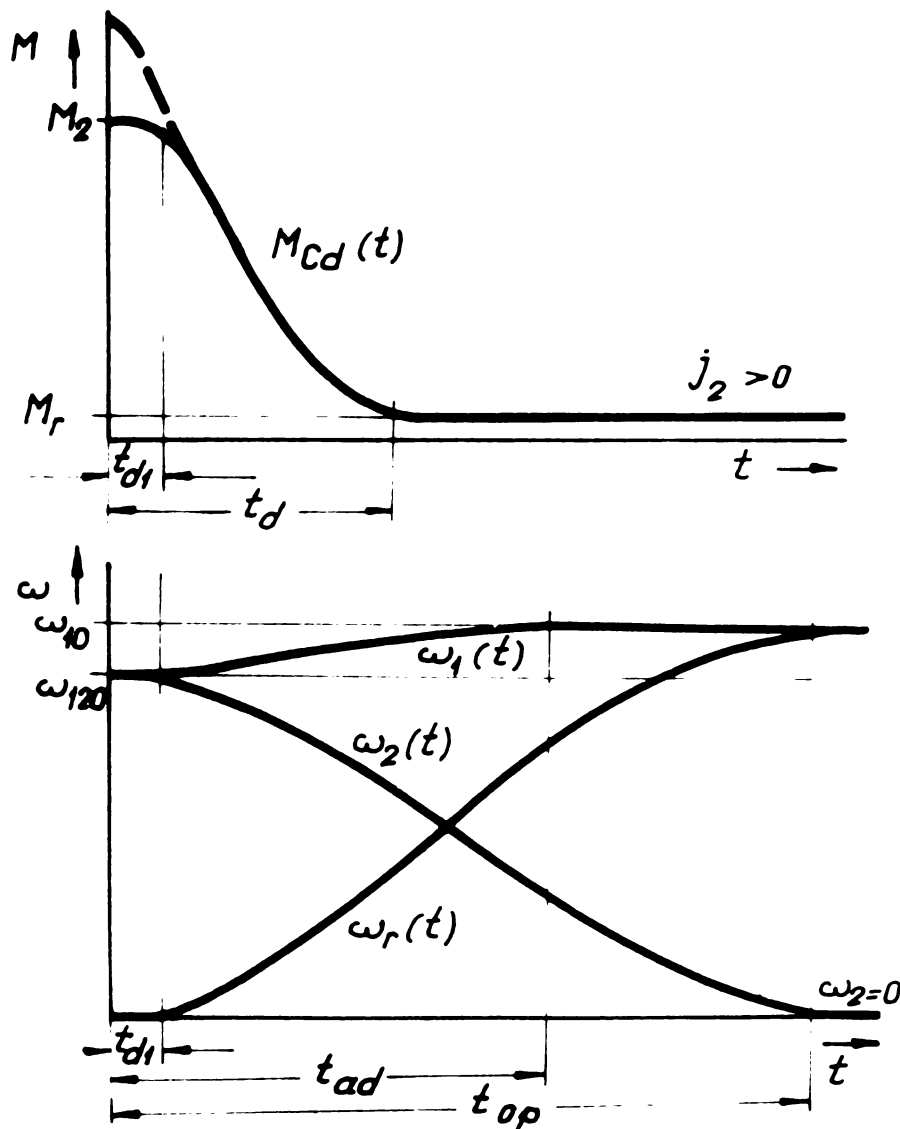


Fig.2.4

După cum rezultă din relația (2.11) și fig.2.3, procesul tranzitoriu are loc și după terminarea ambreierii, fiind cei doi arbori au aceeași viteză unghiulară :

$$\omega_1(t) = \omega_2(t) = \omega_{1,2}(t)$$

Acest proces se consideră încheiat când cei doi arbori cuplați, au atins, prin accelerare, viteza unghiulară finală :

$$\omega_{1,2}(t) = \omega_{120},$$

corespunzătoare punctului de funcționare în sarcină de pe caracteristica mecanică a motorului.

Pentru analiza fenomenelor tranzitorii cu ajutorul mede-

lului mecanic din fig.2.2, s-a acceptat că arborele motor (1) are inițial o viteză unghiulară  $\omega_{10}$  și este capabil să transmită cuplul motor  $M_1$ . Corelația  $M_1(\omega_1)$  derivă din caracteristica mecanică a mașinii motoare și particularitățile transferului energetic pînă la arborele considerat.

Asupra arborelui condus, cu viteza inițială  $\omega_{20}$ , acționează cuplul rezistent  $M_2$ . Corelația  $M_2(\omega_2)$  derivă din caracteristica mecanică a mașinii de lucru și particularitățile transferului energetic de la arborele considerat, la elementul de execuție.

Analiza proceselor de ambreiere urmărește rezolvarea a două situații distincte.

La un sistem de acționare definit integral prin :

$$\left\{ M_{1,2}(\omega) ; J_{1,2}, M_{cm} \right\}$$

se cere :

- determinarea timpilor caracteristici ai procesului tranzitoriu și implicit, energia disipată ; sau
- impunându-se timpul caracteristici procesului tranzitoriu, se cere să se aleagă cuplajul care îl realizează.

În ambele cazuri, soluția se obține prin integrarea ecuațiilor mișcării celor doi arbori - considerați rigizi - caz în care :

$$M_C(t) = M_1 - J_1 \frac{d\omega_1}{dt} \tag{2.13}$$

$$M_C(t) = M_2 + J_2 \frac{d\omega_2}{dt}$$

Aceste ecuații diferențiale își păstrează valabilitatea, atît timp cît cuplajul se află în alunecare. După încheierea procesului ambreierii, are loc accelerarea celor doi arbori cuplați rigid descrisă prin ecuația diferențială :

$$M_1 = M_2 + (J_1 + J_2) \frac{d\omega_{1,2}}{dt} \tag{2.14}$$

Generalizarea ecuațiilor (2.13) pentru cazul unor momente de inerție masice variabile, conduce la :

$$M_C(t) = M_1 - \left( J_1 \frac{d\omega_1}{dt} + \frac{1}{2} \omega_1 \frac{dJ_1}{dt} \right) \tag{2.15}$$

$$M_C(t) = M_2 + \left( J_2 \frac{d\omega_2}{dt} + \frac{1}{2} \omega_2 \frac{dJ_2}{dt} \right)$$

Intrucît ecuațiile diferențiale (2.13) constituie un sistem cuplat, prin transformări elementare se obține forma unitară:

$$\forall M_0, J_0 = \text{const.} \quad M_C(t) = M_0 - J_0 \frac{d\omega_r}{dt} \quad (2.16)$$

în care s-a notat sintetic :

$$M_0 = \frac{M_1 J_2 + M_2 J_1}{J_1 + J_2} \quad ; \quad J_0 = \frac{J_1 J_2}{J_1 + J_2}$$

Intrucît  $M_C(t)$  este greu de definit, la determinarea timpilor caracteristici ai procesului de ambreiere ( $t_a$ ), se acceptă în mod forțat anumite legi de variație pentru  $\omega_r(t)$ , valabilitatea lor verificându-se ulterior experimental

- La variația liniară - frecvent folosită - :

$$\omega_r(t) = \omega_{r0} \left(1 - \frac{t}{t_a}\right) \rightarrow \frac{t}{t_a} \leq 1 \quad (2.17)$$

rezultă timpul de ambreiere :

$$t_a = \frac{\omega_{r0} J_1 J_2}{(M_C - M_1) J_2 + (M_C - M_2) J_1} \quad (2.18)$$

- La variația parabolică - mai apropiată de realitate - :

$$\omega_r(t) = \omega_{r0} \left(1 - \frac{t}{t_a}\right) \left(1 + K_p \frac{t}{t_a}\right) \rightarrow K_p \in (-1 ; 1] \quad (2.19)$$

timpul de ambreiere are expresia :

$$t_a = \frac{\omega_{r0} J_1 J_2 (K_p + 1)}{(M_C - M_1) J_2 + (M_C - M_2) J_1} \quad (2.20)$$

Din relațiile (2.18) și (2.20) se observă că dacă  $M_2 < M_1$ , cuplarea devine posibilă numai cînd  $M_C > M_{1,2}$ .

În cazul cuplajelor electromagnetice cu fricțiune, legea de creștere a cuplului comutabil este de formă exponențială ; implicit  $\omega_2(t)$  și  $\omega_r(t)$  vor prezenta variații cu caracter exponențial.

Din fig.2.3 se observă că operația de cuplare poate decurge lent - curba 1 - cînd după terminarea procesului de ambreiere se continuă accelerarea celor doi arbori cuplați rigid. Cuplarea se consideră rapidă - curba 2 - cînd accelerarea se termină înaintea încheierii procesului de ambreiere. Cazul cunoscut sub denumirea de ambreiere ideală - curba 3 - prezintă particularita-

tea rar întâlnită, că procesele de ambreiere și accelerare se încheie simultan.

Timpul de decuplare prezintă interes de regulă numai în aplicațiile la care reglarea vitezelor, prin comutarea cuplajelor, trebuie să se realizeze practic continuu, precum și la sistemele de urmărire sau de poziționare la care, pentru a realiza oprirea rapidă și exactă, se asociază uneori cuplajului o frână.

## 2.2. Particularități ale fenomenelor tranzitorii determinate de funcționarea cuplajelor electromagnetice cu fricțiune.

Funcția de creștere  $M_C(t)$  sau descreștere  $M_{Cd}(t)$  în timp a cuplului comutabil - denumită în lucrare caracteristica mecanică dinamică a cuplajului - definește și diferențiază comportarea unui anumit tip de cuplaj în regim tranzitoriu de funcționare.

De pildă, la cuplajele comandate mecanic această caracteristică nu este reproductibilă, datorită naturii subiective a comenzii și a execuției.

La cuplajele comandate hidrostatic sau pneumostatic, caracteristica mecanică dinamică este reproductibilă și depinde implicit de variația în timp a presiunii fluidului din circuitul de comandă, variație a cărei legitate poate fi modificată între anumite limite.

Spre deosebire de cazurile precedente, la cuplajele electromagnetice - care realizează cele mai mari viteze de execuție - caracteristica respectivă depinde implicit de variația în timp a curentului din circuitul de comandă și în consecință, are o formă unică - exponențială. Acesta este aspectul semnificativ care diferențiază funcționarea cuplajelor cu fricțiune comandate electromagnetic, de cele la care comanda are la bază alte principii.

Explicarea teoretică a funcționării cuplajelor analizate, este strâns legată de evoluția teoriei electromagneților de curent continuu și a cuplurilor cinematice cu frecare.

Natura acțiunii reciproce electromagnet-suprafețe de fricțiune, își găsește o interpretare simplificată cu valabilitate aproximativă, în majoritatea lucrărilor din domeniu [6,83,84,124

și 137]. În aceste lucrări se acceptă în principiu existența proporționalității directe între variația cuplului comutabil și a curentului - ipoteză nefundamentată teoretic, bazată pe interpretarea eronată a rezultatelor experimentale. Cu toate acestea, la studiul fenomenelor tranzitorii se operează cu valori medii constante pentru cuplul comutabil, motor și rezistent, chiar dacă caracteristicile mecanice ale mașinilor motoare și de lucru sînt cunoscute. Se obțin astfel, forme liniare simple pentru variația vitezei unghiulare a arborelui condus, care prezintă doar avantajul de necontestat al simplității. Erorile ce afectează rezultatele calculului, se pot considera neesențiale la acționările de mică răspundere, sau în unele cazuri, cînd cuplarea are loc la mersul în gol.

Relațiile dezvoltate de W. Baumann [11 și 14] bazate pe creșterea exponențială a cuplului comutabil  $M_C(t)$  asemănătoare cu cea a curentului de excitație ce rezultă din înlocuirea curbei experimentale printr-o exponențială echivalentă cu constanta de timp  $\tau_0$  de forma :

$$M_C(t) = M_C \max \left[ 1 - \exp \left( - \frac{t}{\tau_0} \right) \right] \quad (2.21)$$

constituie o perfecționare indiscutabilă a teoriei. Pe această cale, integrarea ecuațiilor mișcării conduce la soluții exponențiale pentru variația vitezei unghiulare a arborelui condus, descriind cu o mai bună aproximație fenomenul real.

G.M. Tatur și G.M. Flidlider [130] dovedesc teoretic și verifică experimental existența proporționalității dintre cuplul comutabil și patratul fluxului magnetic util. Cu toate acestea folosesc relații simplificate ce descriu caracteristica mecanică dinamică a cuplajelor, formal analoge cu cele stabilite de W. Baumann, relații ce nu permit generalizarea.

La acționările moderne care solicită realizarea unor cuplări rapide sau ultrarapide - caz în care cuplurile ce se transmit în sistem înregistrează salturi ce pot afecta fiabilitatea elementelor din lanțul cinematic - se impune să se stăpînească procesul ambreierii cu o precizie cît mai ridicată. Actualele ipoteze de lucru pentru definirea fenomenelor tranzitorii devin inoperante, iar folosirea lor conduce la rezultate eronate. Cu toate acestea, comanda cuplajelor prin dispozitive specializate cunoaște o permanentă dezvoltare ; soluționarea fiecărui caz

in parte, necesită cercetări experimentale laborioase asupra prototipului, în absența unei teorii cuprinzătoare.

Bazat pe observația că modelul matematic (relația 2.21) nu este riguros, autorul a stabilit o nouă formă de creștere a cuplului comutabil, ce poate fi fundamentată teoretic pe baza ecuațiilor diferențiale ce descriu :

- variația curentului în circuitul de comandă (vezi fig. 2.5),

$$U_C = R_b i + \frac{d\phi_c}{dt} = R_b i + L_b \frac{di}{dt} + i \frac{dL_b}{dt} ; \quad (2.22)$$

- mișcarea armăturii

$$m_a \frac{d^2\delta}{dt^2} = F_o(\delta) - F_F(\delta) ; \quad (2.23)$$

- și forțele generalizate în câmpul magnetic

$$F_o(\delta) = - \left( \frac{\partial W_m}{\partial \xi} \right)_{\phi=ct} = - \frac{d}{d\xi} \left( \frac{B \cdot H}{2} A \delta \right). \quad (2.24)$$

căroră li se asociază condiția de funcționare proprie cuplajelor cu fricțiune :

$$M_C(t) = \mu_C(t) D_m P_{ef}(t) A_F (j-1) \quad (2.25)$$

în care, pentru coeficientul de frecare cinetic, se acceptă o dependență generală de forma :

$$\mu_C(t) = \mu_C(p, \omega_F, q, \theta, \eta \dots) \quad (2.26)$$

În relațiile (2.22)...(2.26) apar următoarele notații noi :

$U_C$  și  $i$  - sînt tensiunea de comandă respectiv intensitatea curentului de excitație ;

$R_b$  și  $L_b$  - rezistența, respectiv inductivitatea înfășurării de excitație ;

$m_a$  - masa armăturii electromagnetului cu rolul de placă de presiune ;

$F_o(\delta)$ ,  $F_F(\delta)$  - forța electromagnetică, respectiv forța rezistentă ;

$\xi$  - coordonata de deplasare a armăturii identică cu întrefierul (fig.2.7) ,deplasarea avînd loc pe direcția variației întrefierului ;

$\eta, Q, \theta$  - viscozitatea, debitul și temperatura lubrifiantului.

S-au creat astfel premisele de a se exprima teoretic legea de variație în timp a cuplului comutabil, pe baza ecuațiilor (2.22)...(2.26), admitîndu-se totodată ipoteze simplificatoare care să nu introducă erori prea mari.

Creșterea reală a curentului din circuitul de comandă descrisă prin ecuația (2.22), este reprezentată prin curba 1 din fig.2.5.

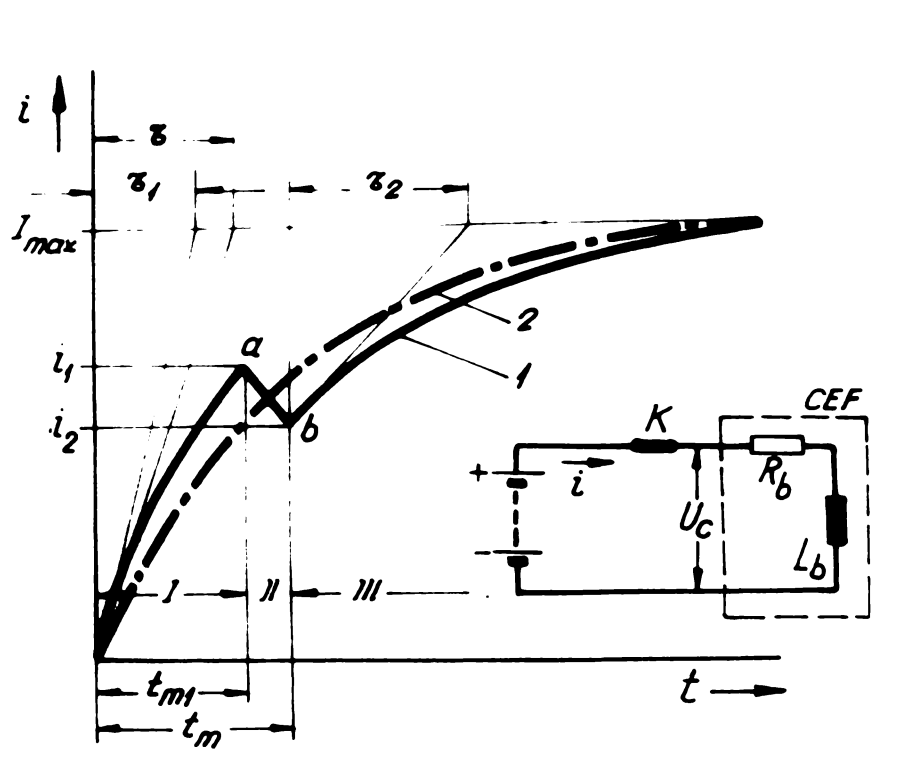


Fig.2.5

Se remarcă în fază I-a, o creștere exponențială :

$$i = \frac{U_C}{R_b} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{t}{\tau_1} \right) \right] \text{ pt. } t \in [0 ; t_{m1}] \quad (2.27)$$

În această perioadă, în care armătura se află în repaus, forța de atracție dezvoltată de electromagnet este mai mică decît forța elastică rezistentă dezvoltată de arcurile ce îndepărtează armătura la decuplare.

În momentul inițierii deplasării armăturii, cele două forțe devin egale :



$$\left| F_o(\delta) \right|_{t=t_{ml}} = C_F i_1^2 = \left| F_r(\delta) \right|_{\delta = \delta_{max}} \quad (2.28)$$

de unde :

$$i_1 = \sqrt{\frac{\left| F_r(\delta) \right|_{\delta = \delta_{max}}}{C_F}} \quad (2.29)$$

Introducînd condiția (2.29) în relația (2.27), rezultă:

$$t_{ml} = \frac{L_{bo}}{R_b} \ln \frac{U_c}{U_c - R \sqrt{\frac{\left| F_r(\delta) \right|_{\delta = \delta_{max}}}{C_F}}} \quad (2.30)$$

Intrucît s-a neglijat efectul pătrunderii cîmpului electromagnetic în piesele masive ale circuitului magnetic, timpul real de pornire a armăturii  $t_{ml}$  este mai mare decît cel rezultat din relația (2.30). Pentru întrefierul din această poziție ( $\delta_{max}$ ), dacă se neglijează reluctanța magnetică a fierului și cîmpul magnetic de dispersie, valoarea inductivității proprii se calculează într-o primă aproximație cu :

$$L_{oo} = \frac{N^2 A \mu_o}{\delta_{max}} \quad (2.31)$$

Dacă forța electromagnetică depășește forța rezistență, armătura mobilă atrasă de corp se mișcă accelerat, conform relației (2.23). Intervalul de timp relativ scurt ( $t_m - t_{ml}$ ), cît are loc deplasarea armăturii în faza a II-a a procesului, se poate calcula cu o nouă aproximație, pornind de la observația că lucrul mecanic efectuat, produce variația energiei cinetice a armăturii. Dacă se neglijează frecările din ghidaje, rezultă :

$$\left[ F_o(\delta) - F_r(\delta) \right] \Delta \delta = \Delta \left( \frac{m_a v^2}{2} \right) \quad (2.32)$$

unde :

$$\Delta \delta = \delta_{max} - \delta_o \text{ este variația întrefierului ;}$$

$$\Delta \left( \frac{m_a v^2}{2} \right) - \text{variația energiei cinetice a armăturii.}$$

Se acceptă simplificat că mișcarea armăturii este uniform accelerată, ceea ce presupune că :

$$F_o(\delta) - F_r(\delta) = \text{const.}$$

Pentru condițiile limită ale mișcării :

$$|v|_{t_{m1}} = 0 ; \quad |v|_{t_m} = v_1$$

rezultă :

$$[F_0(\delta) - F_r(\delta)] (\delta_{max} - \delta_0) = \frac{m_a v_1^2}{2}$$

de unde se explicitază viteza maximă a armăturii :

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 [F_0(\delta) - F_r(\delta)] (\delta_{max} - \delta_0)}{m_a}}$$

și durata parcurgerii spațiului  $(\delta_{max} - \delta_0)$  :

$$t_m - t_{m1} = \frac{2 (\delta_{max} - \delta_0)}{v_1}$$

unde :

$$v_m = \frac{1}{2} v_1 \text{ este viteza medie,}$$

În acest interval de timp, are loc o variație a inductivității. Dacă armătura s-a deplasat cu :

$$\Delta \delta_x = \int_0^t v_m dt$$

relația inductivității devine :

$$L_b(\delta) = \frac{N^2 A \mu_0}{\delta_{max} - \int_0^t v_m dt} = \frac{N^2 A \mu_0}{\delta_{max} - \Delta \delta_x} \quad (2.33)$$

Prin derivarea relației (2.33) în raport cu timpul, rezultă variația inductivității :

$$\frac{d L_b}{dt} = N^2 A \mu_0 \frac{v_m}{(\delta_{max} - \int_0^t v_m dt)^2} \quad (2.34)$$

Pe baza relațiilor (2.33) și 2.34), ecuația diferențială (2.22) devine :

$$U_C = R_p \cdot i + \frac{N^2 A \mu_0}{\delta_{\max} - \int_0^t v_m dt} \frac{di}{dt} + N^2 A \mu_0 \frac{v_m i}{\left(\delta_{\max} - \int_0^t v_m dt\right)^2} \quad (2.35)$$

Integrala generală a ecuației diferențiale (2.35) descrie legea de variație în timp a curentului de excitație în procesul anclanșării, luînd ca parametru viteza de deplasare a armăturii. Trebuie menționat însă, că  $v_m$  este o funcție implicită de curent și în consecință, rezolvarea ecuației diferențiale (2.35) întîmpină mari dificultăți.

Oscilogramele creșterii curentului la anclanșare analoge curbei 1 din fig. 2.5, evidențiază că în întreg intervalul de timp în care are loc deplasarea armăturii, se produce o scădere a curentului. Această scădere nu este prea mare, dacă viteza liniară și cursa armăturii sînt relativ reduse și, caz în care se încadrează și electromagneții în manta cu alezaj.

Pentru simplificare, în literatura de specialitate, variația reală a curentului este înlocuită printr-o variație exponențială unică de forma :

$$i(t) = \frac{U_p}{R_p} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right] \quad (2.36)$$

reprezentată prin curba punctată 2 din fig. 2.5.

Pe baza observațiilor anterioare și a unor verificări experimentale minuțioase, autorul apreciază că soluția simplificată (2.36) nu denaturează analiza funcționării cuplajului.

În consecință, ținînd seama de ecuația forțelor generalizate în cîmpul magnetic și de particularitățile constructive și funcționale ale electromagneților analizați, dependența forță dezvoltată-curent de excitație, analogă relației (2.28) poate fi scrisă în forma :

$$F_0 = C_p i^2(t) = F_{0 \max} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]^2 \quad (2.37)$$

În acest scop, s-a avut în vedere că procesele tranzitorii din circuitul de comandă se desfășoară cu viteze relativ reduse, fapt confirmat prin domeniul de existență al constantelor electromagnetice de timp, proprii cuplajelor :

$$\forall M_{Cn} \in [10 ; 5000] \text{ Nm} \quad \zeta \in [0,003 ; 2] \text{ s}$$

Pe acest considerent s-au putut neglija influențele fenomenelor conexe : de histereză, curenți turbionari și de pătrundere a câmpului în piese masive. S-a omis de asemenea efectul variației fluxului de dispersie, ca urmare a trecerii armăturii din poziția de repaus în poziția de lucru (influență analizată la § 3.2.2).

Acestor argumente, care susțin simplificarea adoptată, li se adaugă observația că la construcția circuitelor feromagnetice ale cuplajelor cu fricțiune, se utilizează exclusiv fierul tehnic pur (cu un conținut de carbon mai mic de 0,06 %), care în domeniul de funcționare usual prezintă o curbă de magnetizare cu un caracter net linear. S-a constatat de asemenea la aceste materiale, că valorile la care se fac rezințite efectele saturației, se plasează în domeniul inducțiilor de saturație la (1,6...2,0) T, adică la inducții magnetice de (2...2,5) x mai mari decât cele obișnuite. La deplasarea punctului de funcționare pe curba de magnetizare în domeniul saturat, relația (2.37) își pierde valabilitatea.

S-a constatat (vezi § 5.1) că pentru o creștere a curentului de excitație de (2...2,5) x curentul nominal, forța portantă s-a mărit de (4...6) x ; creșterea curentului peste aceste valori a avut ca efect creșterea neînsemnată a forței dezvoltate de către electromagnet.

Pentru o construcție dată și un regim funcțional definit, forța maximă  $F_{0 \text{ max}}$  depinde de mărimea întrefierului. Familia de exponențiale  $F_{0 \text{ max}}(\delta)$  cu parametrul tensiunea magnetomotoare (a cărei expresie analitică este stabilită în § 3.2.1), reprezintă caracteristica statică a electromagnetului.

Caracteristica rezistență  $F_r(\delta)$ , este liniară pe porțiuni și are două domenii de rigiditate constantă. Primul domeniu cu rigiditate minimă corespunde zonei din cursă în care acționează numai elementele elastice ce servesc la îndepărtarea armăturii. Cel de al doilea, cu rigiditate foarte mare, corespunde tasării elementelor de fricțiune după epuizarea practică a cursei armăturii.

Caracteristica rezistență poate fi descrisă prin două modele reologice simplificate, care simulează : deformarea arcu-

rilor de readucere, tasarea elementelor de fricțiune precum și rezistențele datorate frecărilor din ghidaje și expulzării uleiului dintre lamele.

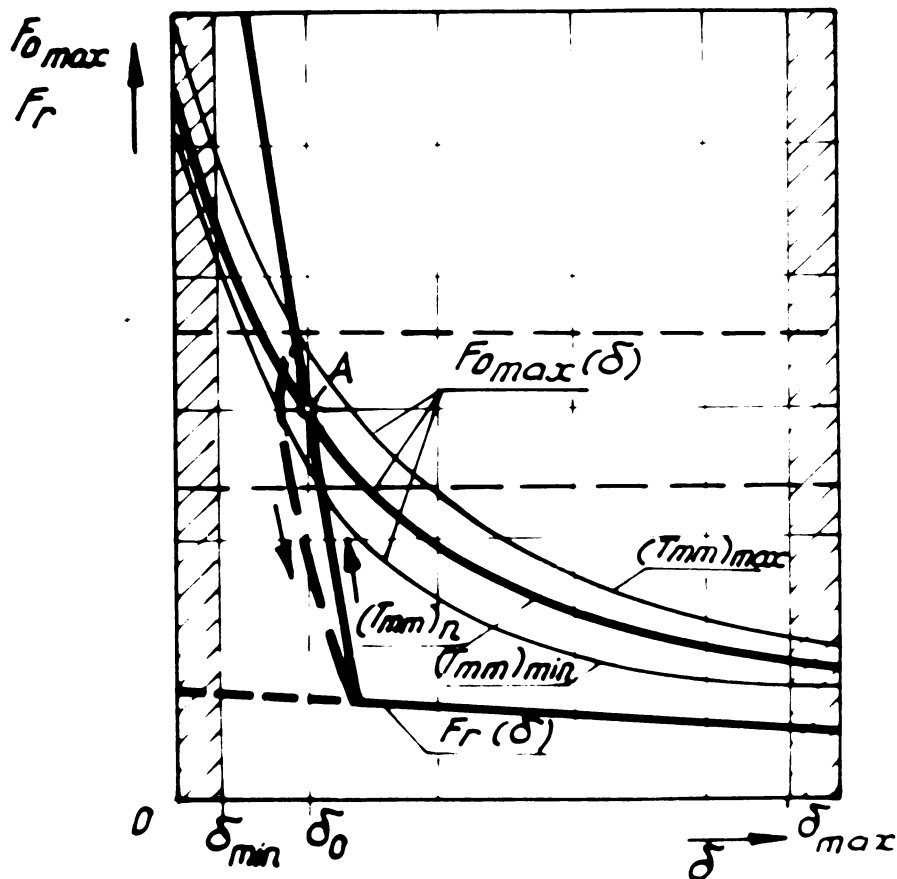


Fig.2.6

Modelele reologice sînt alcătuite prin legarea consecutivă în paralel a unor corpuri reologice elementare de tip Hooke, cu altele de tip Coulomb (fig.2.7 a) sau Newton (fig.2.7 b), după cum funcționarea este uscată sau în ulei.

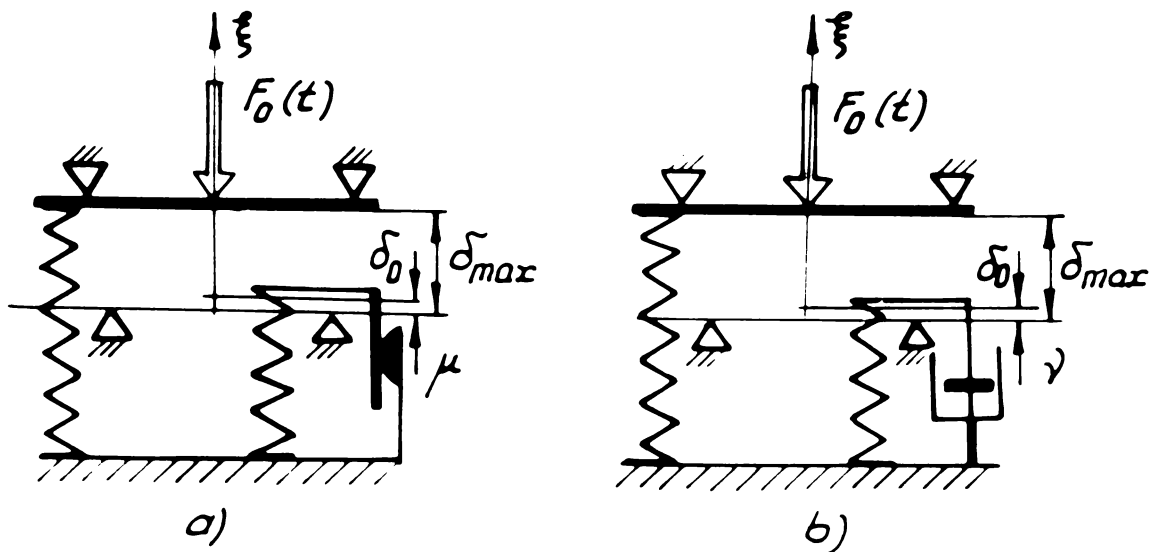


Fig.2.7

Punctul de funcționare (A) pentru  $F_0 \text{ max}$  se obține la intersecția caracteristicii statice cu cea rezistentă (fig. 2.6).

Domeniul de existență al acestui punct de funcționare este determinat de modificările tensiunii magnetomotoare, ca urmare a variațiilor aleatoare ale tensiunii de rețea și a încălzirii înfășurării de excitație.

În concordanță cu particularitățile funcționale ale electromagnetului evidențiate anterior, se poate descrie comportarea cuplajului electromagnetic cu fricțiune în regim nestaționar.

Astfel se observă că la anclanșare, în intervalul de timp  $t_m$  (fig. 2.5) cunoscut sub denumirea de timp mort, suprafețele de fricțiune nu se află în contact forțat, ca atare dispozitivul nu este capabil de a transmite cuplul comutabil. În acest interval de timp relativ scurt în care are loc și deplasarea armăturii, suprafețele active sînt aduse în contact. În consecință, semnalului electric de comandă aplicat înfășurării de excitație sub formă de impuls treaptă de tensiune, îi corespunde întotdeauna un răspuns întârziat pe partea mecanică a cuplajului, sub formă de cuplu comutabil.

În continuarea procesului de anclanșare, sub acțiunea forței electromagnetice, între suprafețele de fricțiune apăsate se formează legături elementare de fricțiune.

Cuplul comutabil, care reprezintă integrala (suma) acestor legături, prezintă o lege de variație determinată preponderent de legea de variație a forței electromagnetice și implicit de aceea a curentului de excitație.

Avîndu-se în vedere relația (2.25) care exprimă ecuația funcțională (de natură mecanică) a cuplajelor cu fricțiune, căreia i se asociază particularitățile de variație ale forței normale de apăsare (de natură electromagnetică), se obține în primă analiză expresia cuplului comutabil :

$$M_c(t) = (j-1) \frac{D_M}{2} \mu_c(t) F_0 \text{ max} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t-t_m}{\tau}\right) \right]^2 =$$

$$= C_M \mu_c(t) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t-t_m}{\tau}\right) \right]^2$$

(2.38)

Se observă că un alt factor determinant pentru exprimarea cuplului comutabil este reprezentat de coeficientul de frecare cinetic.

Funcția generală  $\mu_C(t)$  este greu de stăpinit, deoarece coeficientul de frecare depinde de un mare număr de variabile independente, dintre care cele mai importante sînt : natura materialelor de fricțiune și a lubrifiantului, mediul de funcționare, variația în timp a presiunii efective, a vitezei relative și a temperaturii, precum și micro, respectiv macrogeometria suprafețelor conjugate.

Se știe că există perechi de fricțiune care realizează practic invariabilitatea coeficientului de frecare, atât la contactul uscat cît și la cel fluid, chiar dacă celelalte condiții determinante variază în limite foarte largi (ex : oțelul pe bronz sinterizat, cuplu de materiale cu o largă utilizare în situațiile analizate [1, 2, 88 și 102] ).

Pentru celelalte perechi de fricțiune, se acceptă în mod forțat  $\mu_C(t) = \mu_{med} = const.$  [29, 32, 36, 62, 86, 98 și 109]. Relația (2.38) în formă simplificată devine :

$$\mu_C(t) = \mu_{C\ max} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{t - t_m}{\tau} \right) \right]^2 \quad (2.39)$$

Conform datelor experimentale proprii (vezi § 5.1) cît și pe baza prelucrării și interpretării informațiilor prezentate sub formă de oscilogramme în literatura de specialitate [4, 8, 11, 14, 15, 27, 30 și 137], rezultă că relația (2.39) descrie procesul cu o precizie ridicată, îndeosebi în cazul funcționării dispozitivelor în mediu uscat, cînd suprafețele de frecare sînt netede.

La funcționarea în ulei, formal, relația (2.39) se conservă. Totuși, constanta de timp are valori mai mari, datorită faptului că la apropierea lamelor, expulsarea uleiului conținut în interstiții provoacă o întîrziere suplimentară și, pe de altă parte, legăturile elementare de fricțiune se stabilesc mai greu.

În acord cu observația anterioară, se va înlocui în relația (2.39) valoarea reală a constantei electromagnetice de timp  $\tau_0$ , printr-o valoare convențională :

$$\tau_0 = K \eta \tau \quad ; \quad K \eta \tau \quad | 1,2 \text{ ; } 1,6 | \quad ,$$

astfel că relația (2.39) devine :

$$M_C(t) = M_C \max \left[ 1 - \exp \left( - \frac{t - t_{n1}}{\tau_0} \right) \right]^2, \quad (2.40)$$

menținându-se valabilitatea și la funcționarea uscată a lamelor, dacă se acceptă  $K\eta = 1$ .

Cercetările sistematice întreprinse de Hille [57] și Nitsche [68] asupra particularităților constructive ale lamelor ce funcționează în ulei, au evidențiat că renurile superficiale au o importanță deosebită asupra creșterii în timp a cuplului comutabil. Cele mai rapide creșteri - deci  $K\eta$  minim - s-au obținut în cazul lamelor prevăzute cu renuri spirale și cele mai lente -  $K\eta$  maxim - pentru renurile radiale. O comportare intermediară a timpilor de creștere au prezentat lamellele prevăzute cu renuri tangențiale.

Ca o consecință firească a acestor constatări, soluțiile constructive consacrate folosesc o combinație de renuri spirale - pentru reducerea timpilor de comutare - cu renuri radiale sau tangențiale - care asigură pătrunderea ușoară a uleiului în pachetul de lamele, deci o răcire eficientă.

Pentru aceste soluții, corecția  $K\eta$  se situează în mijlocul domeniului menționat anterior.

La comanda prin supraexcitație a cuplajului, caz în care curentul prezintă o variație simplificată de forma :

$$i_S(t) = \frac{\alpha U_n}{R_b} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{t}{\tau} \right) \right] \quad (2.41)$$

expresia cuplului comutabil rezultă :

$$M_{CS}(t) = \alpha^2 M_C \max \left[ 1 - \exp \left( - \frac{t - t_{nS}}{\tau_0} \right) \right]^2 \quad (2.42)$$

unde :

$$\alpha = \frac{U_S}{U_n} \in [2 ; 8] \text{ reprezintă coeficientul de supraexcitație,}$$

iar

$U_S$  - tensiunea aplicată la bornele cuplajului în perioada de supraexcitație.

În cazuri excepționale, cînd se urmărește realizarea unor timpuri de comutare extrem de scurți, coeficientul de supraexcitație poate lua valorile extreme  $\alpha_{\max} \in [10 ; 20]$ .

Intrucît relația (2.42) derivă din (2.37), restricția



referitoare la funcționarea nusei în domeniul nesaturat al circuitului feromagnetic se conservă.

S-a constatat experimental că timpul mort la comanda prin supraexcitație ( $t_{mS}$ ) scade în raport cu acel corespunzător comenzii normale aproximativ în raportul  $\alpha$  adică :

$$\frac{t_m}{t_{mS}} \approx \alpha$$

La comanda cuplajului prin procedeul modificării constantei de timp a circuitului de excitație, întrucît legea de variație a curentului este :

$$i_{\zeta}(t) = \frac{U_B}{R_b} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{t}{\beta \zeta} \right) \right], \quad (2.43)$$

se obține în baza aceluiași raționament legea de variație a cuplului comutabil :

$$M_C \zeta(t) = M_C \max \left[ 1 - \exp \left( - \frac{t - t_m}{\beta K \eta \zeta} \right) \right]^2 \quad (2.44)$$

unde :

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{R_a}{R_b}}$$

$R_a$  fiind rezistența adițională introdusă în circuitul de comandă.

Deci, forma generală de creștere a cuplului comutabil valabilă prin particularizări pentru toate regimurile funcționale va fi :

$$\begin{aligned} M_C(t) &= \alpha^2 M_C \max \left\{ 1 - \exp \left[ - \frac{t - t_m(\zeta, S)}{\beta \zeta_0} \right] \right\}^2 = \\ &= \alpha^2 M_C \max \left\{ 1 - \exp \left[ - \frac{t - t_m(\zeta, S)}{\beta K \eta \zeta} \right] \right\}^2 \end{aligned} \quad (2.45)$$

Analiza comportamentului cuplajului în regim nestaționar obține noi valențe în sens generalizator dacă se recurge la exprimarea adimensională a dependențelor anterioare.

Prin această metodologie, în locul funcțiilor dimensionale  $i(t)$  și  $M_C(t)$ , se vor folosi caracteristicile universale adimensionale (de model) :

$$i^* = i^*(t^*) = \frac{i(t)}{I_{\max}} = \alpha \left[ 1 - \exp \left( - \frac{t^*}{\beta} \right) \right] \quad (2.46)$$

INSTITUTUL DE  
CERCETARE ȘTIINȚIFICĂ

$$M_C^* = M_C^*(t^*) = \frac{M_C(t)}{M_{C \max}} = \alpha^2 \left[ 1 - \exp \left( - \frac{t^* - t_m^*(\zeta, S)}{\beta K \eta} \right) \right]^2 \quad (2.47)$$

unde variabila independentă  $t^*$ , exprimată în raport de constanta electromagnetică de timp  $\zeta$ , este de asemenea adimensională :

$$t^* = \frac{t}{\zeta} \quad ;$$

(pentru unificarea notațiilor, timpii morți devin :

$$t_m^* = \frac{t_m}{\zeta} \quad ; \quad t_{m\zeta}^* = \frac{t_m \zeta}{\zeta} \quad \text{și} \quad t_{mS}^* = \frac{t_{mS}}{\zeta} \quad ).$$

Procesele tranzitorii (de ambreiere) prezintă diferențieri importante în funcție de particularitățile comenzi electrice pentru cuplare.

Astfel, folosindu-se expresiile adimensionale  $i^*$  și  $M_C^*$ , la comanda :

a). normală - fig.2.8 - caracterizată prin  $\alpha = 1$  ;  $\beta = 1$  și  $K\eta = 1$  pentru funcționare în mediu uscat ; respectiv  $K\eta = 1,5$  la funcționarea în ulei (lamellele fiind prevăzute cu renuri combinate spirale și radiale), se remarcă o întârziere a creșterii cuplului la funcționarea în ulei în raport cu funcționarea uscată.

b). prin supraexcitație (cuplare ultrarapidă) - fig.2.9 și 2.10 - caz în care  $\alpha > 1$  ;  $\beta = 1$  ; din reprezentarea grafică a mărimilor  $i^*$  și  $M_C^*$  (pentru  $K\eta = 1$ ) avînd ca parametru coeficientul de supraexcitație, se desprind următoarele observații :

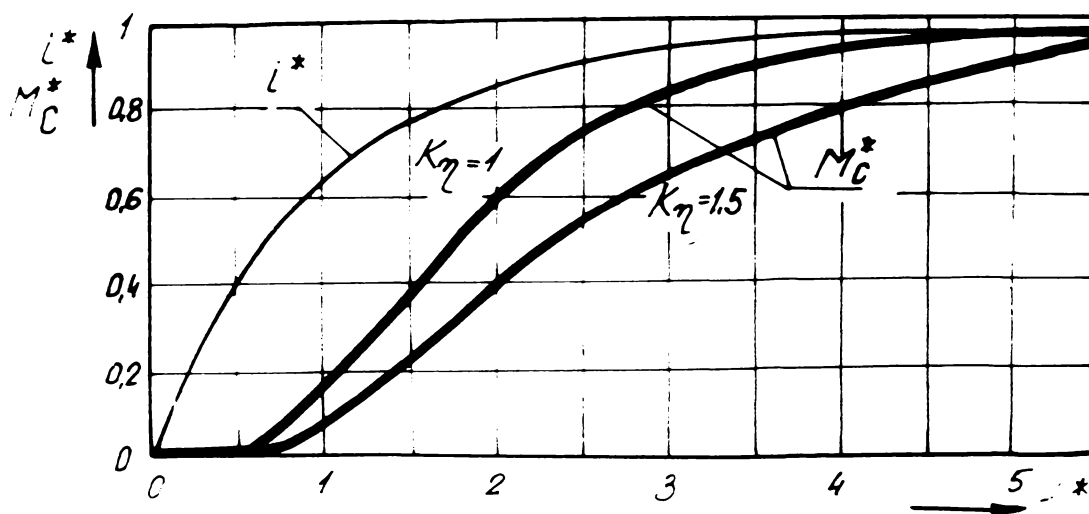


Fig.2.8

- zona hașurată din fig.2.9 delimitează domeniul în care se manifestă tendința de limitare a mărimii cuplului comutabil

ca urmare a saturației magnetice ;

- comanda prin supraexcitație își dovedește eficacitatea prin creșterea foarte rapidă a pantei curbelor  $i_C^*$  și a valorilor maxime ale cuplului comutabil (efecte cu implicații deosebit de favorabile în ceea ce privește reducerea timpilor caracteristici procesului de ambreiere) ;

- pentru a se evita supraîncălzirea înfășurării de excitație, independent de mărimea coeficientului de supraexcitație, se poate limita valoarea maximă a curentului de comandă

- prin dispozitive electronice adecvate - la un nivel :

$$i_{lim}^* = \frac{I_{lim}}{I_n} \in [1,2 ; 2,5]$$

Astfel, se obține simultan cu reducerea timpului de ambreiere, evitarea saturării circuitului feromagnetic precum și protecția împotriva suprasarcinilor în lanțul cinematic ce se cuplează.

În figura 2.10 s-a reprezentat variația parametrilor

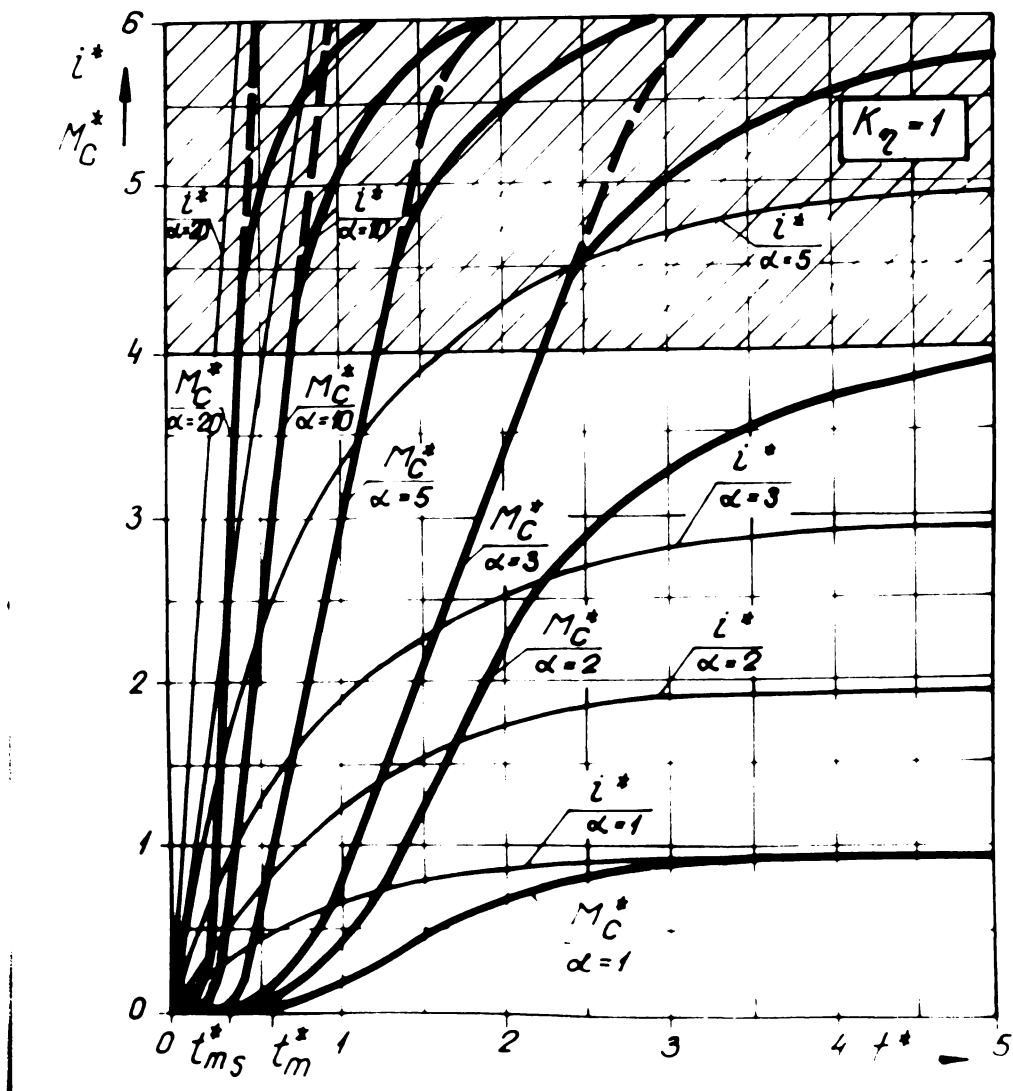


Fig. 2.9

$i^*$  și  $M_C^*$  la comanda prin supraexcitație cu dispozitive care limitează curentul de comandă ( $i_{lim}^* = 1,5$ ).

c). prin modificarea constantei de timp a circuitului de excitație (cuplare rapidă) - fig.2.11 - pentru  $\alpha = 1$  ;  $\beta < 1$  ; rezultă, spre deosebire de situația precedentă, o scădere a timpilor de ambreiere datorită numai creșterii pantei curbelor  $M_C^*$ , ca urmare a micșorării parametrului  $\beta$ .

Prin acest procedeu de comandă, funcționarea cuplajului nu este însoțită de apariția saturației magnetice.

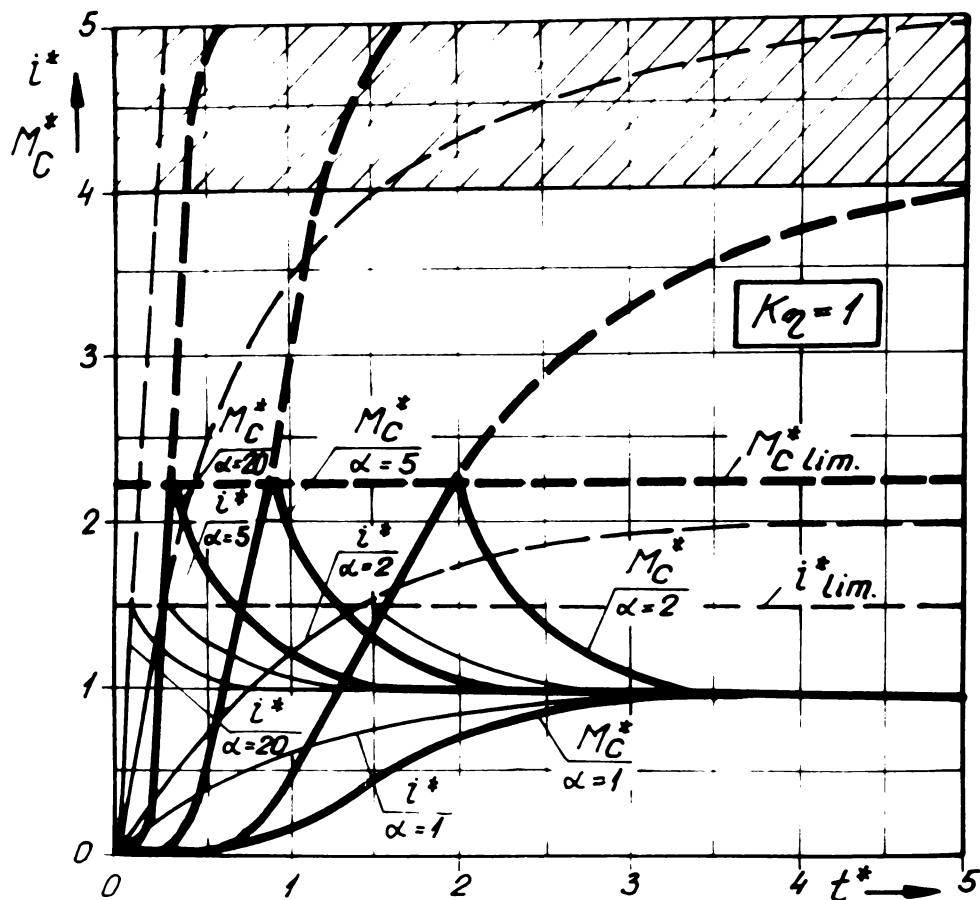


Fig.2.10

d). prin subexcitație (cuplare lentă) - fig.2.12 - care se realizează prin reducerea tensiunii de alimentare la bornele cuplajului sau prin intercalarea în circuitul de excitație a unei rezistențe adiționale, rezultând  $\alpha < 1$  și  $\beta \leq 1$ .

În ambele cazuri micșorarea curentului de comandă implicit a cuplului comutabil sub valorile lor nominale, conduce la mărirea duratei proceselor tranzitorii de ambreiere.

În fig.2.12 sînt reprezentate funcțiile  $i^*$  și  $M_C^*$  cîm care se observă că odată cu scăderea curentului de excitație scade atît panta cît și valoarea maximă a cuplului comutabil.

Concluziile desprinse la punctele b, c și d își conservă valabilitatea și pentru cazul  $K\eta > 1$ .

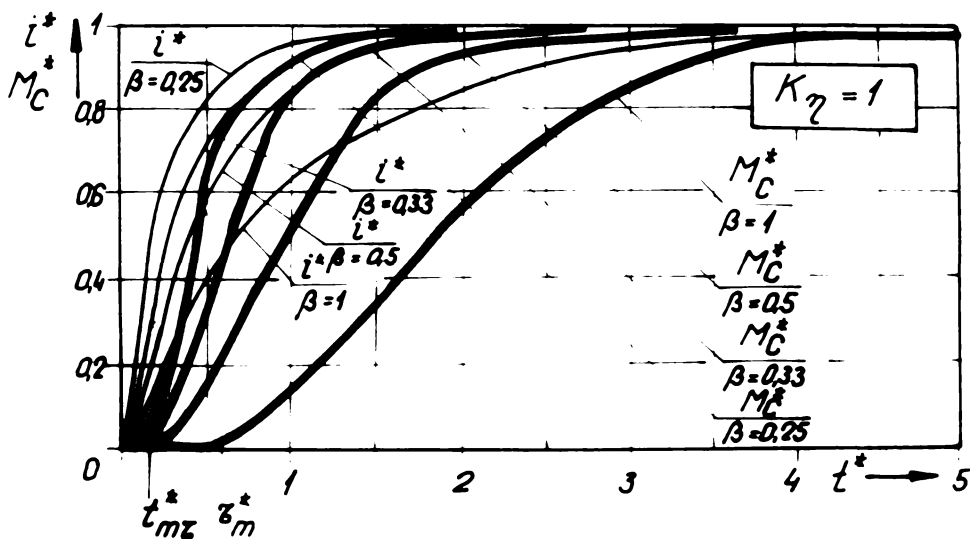


Fig. 2.11

Pentru toate situațiile analizate, se menționează că, dacă în intervalul de timp  $t \leq t_g$  cuplul comutabil crește continuu conform relației (2.45), la ieșirea din alunecare se înregistrează întotdeauna un salt al cuplului transmis, determinat de trecerea de la frecarea de alunecare, la frecarea de aderență. Mă-

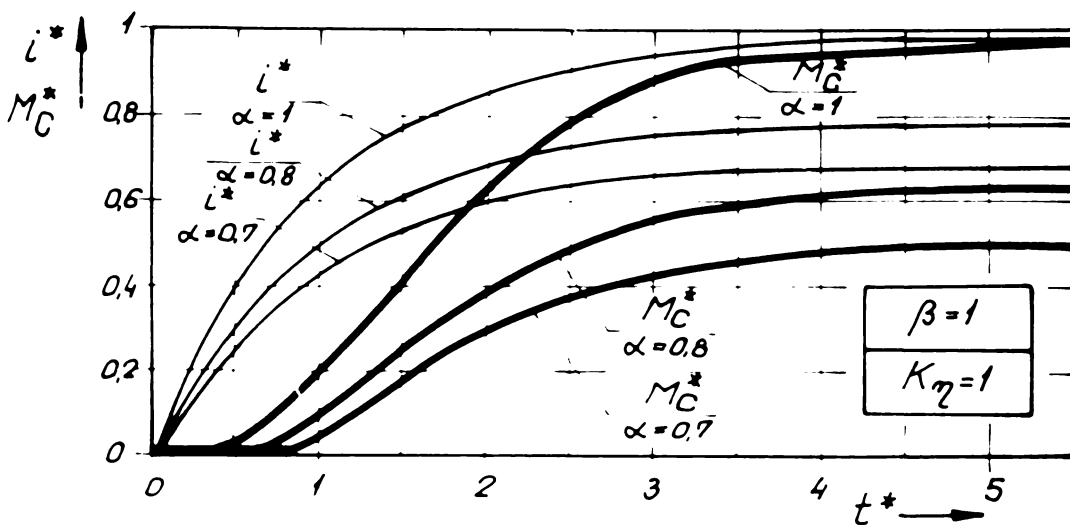


Fig. 2.12

rimea acestui salt descrisă de raportul  $\frac{\mu_s}{\mu} > 1$ , depinde de particularitățile tribologice ale perechii de frecare (lamelilor).

În programul experimental s-a acordat o atenție deosebită corelației existente între curentul de excitație, forța portantă și cuplul comutabil, verificându-se valabilitatea ipotezelor de

lucru adăugat anterior. Prin compararea rezultatelor experimentale cu cele teoretice s-a confirmat valabilitatea modelului matematic acceptat în cadrul tezei, fapt ce deschide noi perspective analizei proceselor tranzitorii a sistemelor de acționare în a căror structură sînt încorporate cuplaje electromagnetice cu fricțiune.

### 2.3. Metode de analiză ale fenomenelor tranzitorii la acționările prin cuplaje electromagnetice cu fricțiune.

#### 2.3.1. Considerații generale.

Descrierea cu fidelitate a proceselor tranzitorii are o importanță deosebită pentru cunoașterea funcționării mașinilor și utilajelor, întrucît acestea sînt determinante, pe de o parte, pentru productivitatea și calitatea produselor, pe de altă parte, pentru solicitarea electromecanică și termică, implicit pentru fiabilitatea acționării.

Cercetarea proceselor tranzitorii în sistemelor de acționare ce folosesc cuplaje electromagnetice cu fricțiune, are la bază fie ecuațiile de mișcare (2.13), fie simularea funcționării pe model. Tratarea analitică rezultată din adoptarea calculului de proiectare a acționărilor prin cuplaje cu fricțiune comandate mecanic [20, 29, 65, 86 și 98], oferă soluții puțin precise, dar simple ca formă, atît pentru legea de mișcare a arborelui condus cît și pentru timpul caracteristicii procesului de ambreiere.

Se constată un interes crescînd [11, 15, 56, 66, 102, 130 și 132] pentru extinderea valabilității metodelor generale de cercetare a proceselor tranzitorii din acționările electrice și la domeniul acționărilor prin cuplaje.

Considerațiile și concluziile desprinse din § 2.2 asupra funcției  $M_C(t)$ , au permis scrierea ecuațiilor mișcării într-o formă mai apropiată de realitate :

$$\begin{aligned} \propto M_C^2 \max \left\{ 1 - \exp \left[ - \frac{t - t_n(\zeta, S)}{\beta \Sigma \eta \zeta} \right] \right\}^2 &= M_1 - J_1 \frac{d\omega_1}{dt} \\ \propto M_C^2 \max \left\{ 1 - \exp \left[ - \frac{t - t_n(\zeta, S)}{\beta \Sigma \eta \zeta} \right] \right\}^2 &= M_2 + J_2 \frac{d\omega_2}{dt} \end{aligned} \quad (2.48)$$

Astfel, dependent de structura și particularitățile sis-

temului de acționare, se deschid noi perspective analizei funcționării în regim nestabilizat. În consecință, soluțiile noi ce se obțin - calitativ superioare - descriu cu o mare fidelitate legile de mișcare, timpii caracteristici ambreierii, implicit solicitările mecanice și procesele disipative ce le însoțesc. A devenit astfel posibilă trecerea de la faza enunțării unor idei de principiu (calitative), la faza rezolvării concrete (cuantificabile) a majorității problemelor esențiale din acest domeniu pe cale analitică, grafo-analitică și de modelare analogică sau fizică. În același context, se subliniază că studiul experimental la scara 1 : 1 - cu toate dezavantajele sale de natură economică - constituie calea cea mai frecvent utilizată în cercetarea și verificarea rezultatelor oferite de celelalte căi de investigație [8,9,11,14,15,27,30,132,137].

În cele ce urmează, se prezintă câteva soluționări originale prin metodele citate anterior - bazate pe creșterea cuplului comutabil descrisă prin relația generală (2.45) - privind analiza acționărilor prin intermediul cuplajelor cu fricțiune în regim tranzitoriu de funcționare.

### 2.3.2. Metoda analitică.

Soluționarea analitică a problemelor de acționări este posibilă atunci când ecuațiile diferențiale ce le descriu, au coeficienți constanți (caracteristica mecanică a motorului este "absolut rigidă" sau proporțională cu viteza unghiulară, momentele de inerție masice sînt constante, iar cuplul rezistent este constant sau de tipul frecării viscoase - proporțional cu viteza unghiulară).

Apelîndu-se în acest caz la calculul operațional, dificultățile pe care le implică rezolvarea ecuațiilor mișcării pot fi considerabil reduse. Prin respectarea condițiilor anterior precizate, criteriile de aplicabilitate ale metodei - referitoare la caracterul desinativ al proceselor - sînt integral îndeplinite.

Se menționează că analiza prin această metodă este justificată numai la soluționarea acelor aplicații la care legea de mișcare a sarcinii trebuie stăpînită cu un grad de precizie relativ înalt, iar soluțiile nu pot fi obținute prin integrare directă.

Investigațiile pe această cale [94 și 110] constau în atribuirea unor mărimi de intrare, de ieșire, și a unor funcții indiciale, elementelor din structura sistemului analizat - prin func-

ție indicială înțelegându-se variația mărimii de ieșire pentru saltul în treaptă a mărimii de intrare - .

Pentru a caracteriza comportarea fiecărui element, se face apel la funcția de transfer definită ca raport între transformatele Carson sau Laplace <sup>x)</sup> ale funcției indiciale și ale mărimii de intrare, care la variația în treaptă dreptunghiulară este o constantă.

În cele ce urmează, se vor face referiri la un sistem de acționare de tip agregat mecanic, din care se detașează modelul mecanic echivalent (vezi § 2.2 ; fig.2.13 a).

Intrucât natura ecuațiilor diferențiale (2.48) nu este condiționată de lubrificare ( $K\eta$ ) sau de sistemul de comandă ( $\alpha, \beta$ ), se va considera situația cea mai generală de funcționare a cuplajului electromagnetic cu fricțiune (conform § 2.2).

Problema ce se pune în acest caz constă în determinarea expresiei vitezei unghiulare a arborelui condus, la un impuls de comandă treaptă, pentru tensiunea ce la bornele înfășurării de excitație a cuplajului (fig.2.13 b).

Intr-o primă etapă, se atașează modelului mecanic echivalent o schemă bloc (fig.2.13 c) pentru elementele căreia se definesc consecutiv mărimile de intrare și ieșire.

Primul și al doilea element corespund ansamblului arbore motor-cuplaj pentru care mărimea de intrare este tensiunea de comandă  $U(t)$ , mărimea intermediară (ieșire-intrare) curentul de excitație  $i(t)$ , iar cea de ieșire, cuplul comutabil  $M_c(t)$ . Cu primul element, se pun în evidență fenomenele tranzitorii de natură electromagnetică ce au loc în cursul anclanșării cuplajului, iar cu elementul al doilea, procesele electromecanice. Elementul al treilea, ce corespunde arborelui condus și evidențiază procesele mecanice, are ca mărime de intrare cuplul comutabil  $M_c(t)$ , iar ca mărime de ieșire, viteza unghiulară  $\omega_2(t)$ , care constituie de fapt soluția căutată.

Dacă funcția de excitație a primului element este  $U(t) = \alpha U_n$  ( $U_n$  fiind tensiunea la comanda normală) pentru  $t \geq 0$  imaginea acesteia este :

---

x)

Angot, A. Compléments de mathématiques pour l'ingénieur en électrotechnique et en télécommunications. Bucarest, Éditions techniques, 1966 (traducere din limba franceză).



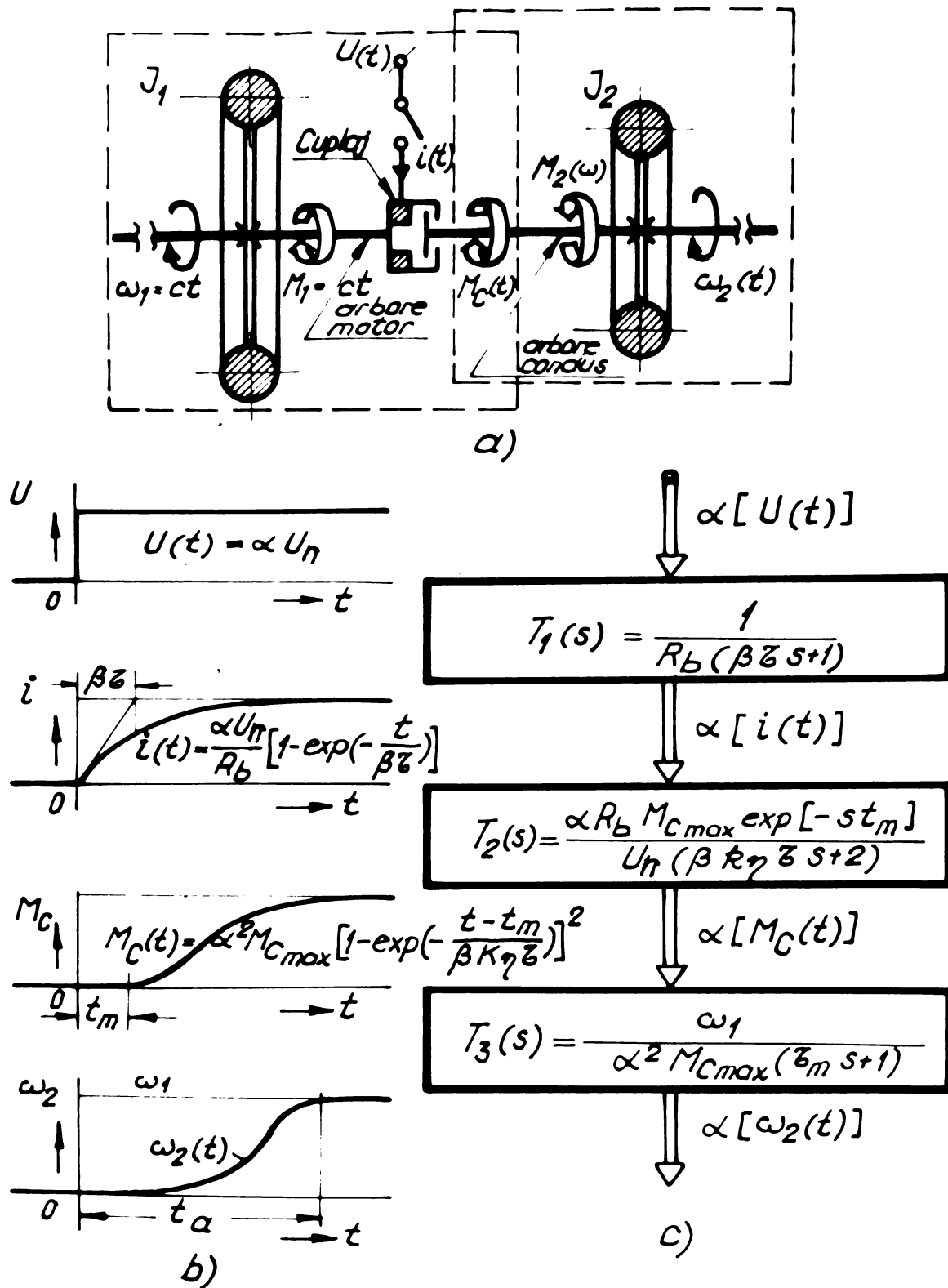


Fig. 2.13

$$\mathcal{L}[U(t)] = s \int_0^{\infty} \exp(-st) U(t) dt = \alpha U_n \mathcal{L}[1] = \alpha U_n \frac{1}{s} \quad (2.49)$$

avindu-se în vedere ecuația diferențială a curentului din înfășurarea de excitație a cuplajului (relația 2.22) în care se accepta  $\frac{dL_{11}}{dt} \approx 0$ , prin integrare rezultă funcția indicială a mărimii de ieșire a primului element :

$$i(t) = \frac{\alpha U_n}{R_b} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{\beta \zeta}\right) \right], \text{ pt. } t \geq 0 \quad (2.50)$$

Deci se presupune că sistemul pornește din repaus, cu transformata Carson a funcției  $i(t)$  :

$$\mathcal{L}[i(t)] = s \int_0^{\infty} \exp(-st) i(t) dt = \frac{\alpha U_n}{R_b (\beta \zeta s + 1)} \quad (2.51)$$

se poate calcula funcția de transfer a primului element :

$$T_1(s) = \frac{\mathcal{L}[i(t)]}{\mathcal{L}[U(t)]} = \frac{1}{R_b (\beta \zeta s + 1)} \quad (2.52)$$

Cu dependența  $M_c(t)$  precizată anterior (rel. 2.45) pentru primele două elemente înseriate în raport cu variația în treaptă dreptunghiulară a semnalului de comandă  $U(t)$  sau numai pentru al doilea element la variația în treaptă exponențială a curentului  $i(t)$  funcția indicială a cuplului comutabil este :

$$M_c(t) \begin{cases} = \alpha^2 M_{c \max} \left\{ 1 - \exp - \frac{t - t_n(\zeta, s)}{\beta K \eta \zeta} \right\} & \text{pt. } t \geq t_n(\zeta, s) \\ = 0 & t < t_n(\zeta, s) \end{cases}$$

După cum se poate observa, funcția indicială a cuplului comutabil (fig. 2.13 b) introduce o întârziere, motivată prin efectul de "timp mort" cauzat de mișcarea de transport a armăturii la anclanșare.

Transformata de bază a acestei funcții :

$$\mathcal{L}[M_c(t)] = s \int_0^{\infty} \exp(-st) M_c(t) dt = \frac{\alpha^2 M_{c \max} [\exp -s t_n(\zeta, s)]}{s (\beta \zeta s + 1) (\beta K \eta \zeta s + 2)} \quad (2.53)$$

face posibilă stabilirea expresiei funcției de transfer a celui de al doilea element al schemei bloc :

$$T_2(s) = \frac{\mathcal{L}[M_c(t)]}{\mathcal{L}[i(t)]} = \frac{\alpha R_b M_{c \max} [\exp -s t_n(\zeta, s)]}{U_n (\beta K \eta \zeta s + 2)} \quad (2.54)$$

Deci funcția de transfer corespunzătoare ansamblului arbore motor-cuplaj va fi :

$$T_{12}(s) = T_1(s) \cdot T_2(s) = \frac{\alpha M_{c \max} [\exp -s t_n(\zeta, s)]}{U_n (\beta \zeta s + 1) (\beta K \eta \zeta s + 2)} \quad (2.55)$$

Expresia vitezei unghiulare a arborelui condus se obți-

ne în urma rezolvării ecuației mișcării :

$$J_2 \frac{d\omega_2}{dt} + M_2(\omega_2) = J_2 \frac{d\omega_2}{dt} + \gamma \omega_2 =$$

$$= \alpha^2 M_C \max \left\{ 1 - \exp \left[ - \frac{t - t_M(\zeta, s)}{\beta K \eta \zeta} \right] \right\}^2$$

sau :

$$\zeta_M \frac{d\omega_2}{dt} + \omega_2 = \omega_1 \left\{ 1 - \exp \left[ - \frac{t - t_M(\zeta, s)}{\beta K \eta \zeta} \right] \right\}^2 \quad (2.56)$$

în care s-au folosit notațiile :

$$\zeta_M = \frac{J_2}{\gamma} \quad \text{pentru constanta de timp mecanică și}$$

$$\omega_1 = \frac{\alpha^2 M_C \max}{\gamma} \quad \text{pentru viteza unghiulară la încheierea procesului ambreierii, egală cu viteza unghiulară a arborelui motor.}$$

Funcția de excitație  $M_C(t)$  din ecuația (2.56) își păstrează valabilitatea doar în intervalul de timp  $t \in [0; t_a]$ , adică atît timp cît între suprafețele active apăsate există o mișcare relativă de alunecare.

Transformata Carson a ecuației diferențiale (2.56) are forma <sup>x)</sup> :

$$J_2 s \mathcal{L}[\omega_2(t)] + \gamma \mathcal{L}[\omega_2(t)] = \mathcal{L}[M_C(t)] \quad (2.57)$$

unde :

$\mathcal{L}[\omega_2(t)]$  este imaginea răspunsului necunoscut (transformata Carson a mărimii de ieșire) :

$\mathcal{L}[M_C(t)]$  - imaginea funcției de excitație cunoscută (transformata Carson a mărimii de intrare).

Rezolvînd (2.57) în raport cu  $\mathcal{L}[\omega_2(t)]$ , se obține ecuația auxiliară :

$$\mathcal{L}[\omega_2(t)] = \frac{\frac{1}{\gamma} \mathcal{L}[M_C(t)]}{\zeta_M s + 1} \quad (2.58)$$

Funcția de răspuns  $\omega_2(t)$  se deduce prin transformarea inversă a ecuației auxiliare (2.58) :

x) Harris, C. și Crede, C.

Securi și vibrații. Vol. I, București, Editura tehnică, 1968 (traducere din limba engleză).

$$\begin{aligned}
 \omega_2(t) &= \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{\gamma} \mathcal{L}[M_C(t)]}{\tau_m s + 1} \right\} = \\
 &= \frac{\alpha^2 M_{C \max}}{\gamma} \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{\exp[-s t_m(\tau, s)]}{s(\beta \tau s + 1)(\beta K \eta \tau s + 2)(\tau_m s + 1)} \right\} = \\
 &= \omega_1 \left\{ 1 - \frac{\frac{2}{\tau_m} \exp\left[-\frac{t-t_m(\tau, s)}{\beta \tau}\right]}{\frac{1}{\tau_m} - \frac{1}{\beta \tau}} + \frac{\frac{1}{\tau_m} \exp\left[-\frac{2t-2t_m(\tau, s)}{\beta K \eta \tau}\right]}{\frac{1}{\tau_m} - \frac{2}{\beta K \eta \tau}} - \right. \\
 &\quad \left. - \frac{\frac{2}{K \eta (\beta \tau)^2} \exp\left[-\frac{t-t_m(\tau, s)}{\tau_m}\right]}{\left(\frac{1}{\tau_m} - \frac{1}{\beta \tau}\right) \left(\frac{1}{\tau_m} - \frac{2}{\beta K \eta \tau}\right)} \right\} \quad (2.59)
 \end{aligned}$$

Funcția de transfer a elementului corespunzător sarcinii, devine în acest caz :

$$\omega_3(s) = \frac{\mathcal{L}[\omega_2(t)]}{\mathcal{L}[M_C(t)]} = \frac{\omega_1}{\alpha^2 M_{C \max} (\tau_m s + 1)} \quad (2.60)$$

iar funcția de transfer globală (a întregului proces) are forma :

$$T(s) = \frac{\mathcal{L}[\omega_2(t)]}{\mathcal{L}[U(t)]} = \frac{\omega_1 \exp[-s t_m(\tau, s)]}{\alpha U_n (\beta \tau s + 1)(\beta K \eta \tau s + 2)(\tau_m s + 1)} \quad (2.61)$$

Dacă în relația (2.56) se admite că  $M_2(\ ) = \text{const.}$ , ecuația mișcării ia forma simplificată :

$$J_2 \frac{d\omega_2}{dt} + M_2 = \alpha^2 M_{C \max} \left\{ 1 - \exp\left[-\frac{t-t_m(\tau, s)}{\beta K \eta \tau}\right] \right\}^2 \quad (2.62)$$

pe baza aceluiași raționament, soluția ei este (dacă la  $t = 0$  ;

$\omega_2 = \omega_{20}$ ) :

$$\begin{aligned}
 \omega_2(t) &= \frac{\alpha^2 M_{C \max} - M_2}{J_2} [t - t_m(\tau, s)] + \\
 &+ \frac{\alpha^2 \beta K \eta M_{C \max}}{J_2} \left[ 2 e^{-\frac{t-t_m(\tau, s)}{\beta K \eta \tau}} - \frac{1}{2} e^{-\frac{t-t_m(\tau, s)}{\beta K \eta \tau}} - \frac{3}{2} \right] + \omega_{20} \quad (2.63)
 \end{aligned}$$

Se remarcă faptul că soluțiile (2.59) și (2.63) își con-

servă valabilitatea și în procesul de elanșării, cu observația că trebuie introduse constantele de timp în acord cu noile condiții funcționale.

### 2.3.3. Metoda grafo-analitică

Metoda propusă de autor - ce se încadrează în categoria metodelor generale de rezolvare a fenomenelor tranzitorii - permite studierea pe cale grafo-analitică a funcționării acționărilor prin cuplaje în decursul procesului de ambreiere (indiferent de sistemul de comandă al cuplajului sau mediul de funcționare) dacă dependențele  $M_{1,2}(\omega)$  au o alură esecare dar sînt cunoscute grafic.

Principiul metodei constă în transformarea ecuațiilor diferențiale ale mișcării (2.13) (scrise pentru modelul mecano echivalent, fig.2.2) în ecuații cu diferențe finite :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta \omega_1}{\Delta t} &= \frac{M_1 - M_C}{J_1} = \frac{M_{d1}}{J_1} \\ \frac{\Delta \omega_2}{\Delta t} &= \frac{M_C - M_2}{J_2} = \frac{M_{u2}}{J_2} \end{aligned} \quad (2.64)$$

a căror rezolvare grafică, la o scară convenabil aleasă, va conduce la soluțiile căutate de forma  $\omega_1(t)$  și  $\omega_2(t)$  din fig.2.14.

Timpul de ambreiere  $t_a$ , rezultă prin măsurare directă.

Se observă că viteza unghiulară inițială a arborelui motor  $\omega_1$  (ce corespunde funcționării în gol), va rămîne nemodificată pînă în momentul inițierii creșterii cuplului comutabil, adică în intervalul de timp  $t_m$  (cunoscut din caracteristica  $M_C(t)$  a cuplajului ales). În aceeași perioadă, arborele condus se află în repaus ( $\omega_2 = 0$ ), stare ce se va menține și în continuare pînă cînd cuplul comutabil devine mai mare decît cuplul rezistent  $M_{20}$  corespunzător stării de repaus.

Pentru construirea curbelor  $\omega_1(t)$  și  $\omega_2(t)$ , se împarte axa timpului în intervale (fișii)  $\Delta t_1$  (fracțiuni din constanta electromagnetică de timp  $\tau$ ) cu începere de la timpul mort  $t_m$ .

În fiecare interval  $\Delta t_1$  se determină grafic sau analitic valoarea medie a cuplului  $M_{Ci}$ . Cu valorile acestea, acceptînd arbitrar o variație a vitezei unghiulare ( $\Delta \omega_{1i} < 0$  sau  $\Delta \omega_{2i} > 0$ ), se calculează în primă aproximație valorile cuplurilor  $M_{1i}$  respectiv  $M_{2i}$  prin explicitarea lor din relațiile (2.64).

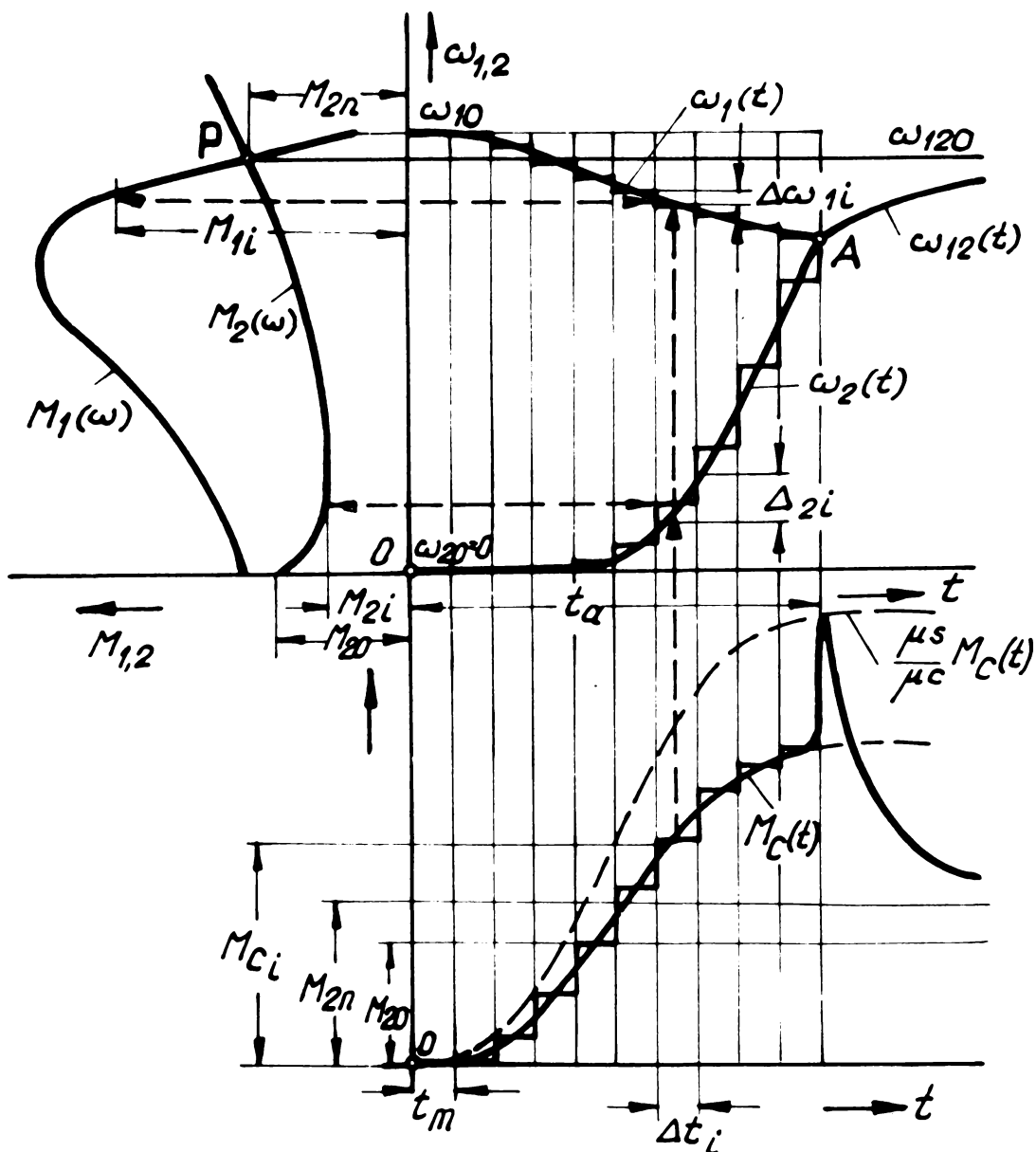


Fig. 2.14

Intrucît valorile rezultate  $M_{1i}$  și  $M_{2i}$  trebuie să satisfacă și condițiile  $M_1(\omega)$  respectiv  $M_2(\omega)$ , calculul va avea un caracter iterativ. Cu această metodologie calculul se continuă pînă ce vitezele unghiulare  $\omega_1(t)$  și  $\omega_2(t)$  devin egale (punctul de intersecție A din fig. 2.14).

Timpul  $t = t_a$  la care  $\omega_1(t) = \omega_2(t) = \left| \omega_{12} \right|_{t=t_a}$  va marca încheierea procesului ambreierii.

După încheierea acestui proces, se admite că lanțul cinematic devine cuplat rigid (lipsește oscilațiile torsionale). Desfășurarea fenomenelor tranzitorii în continuare poate fi analizată prin metode cunoscute [23, 24, 26 și 95] și aplicabile în cazul în care pentru modelul mecanic acceptat, ecuația mișcării ia forma unică (2.14).

Din analiza figurii (2.14) se constată că pentru sistemul de acționare definit integral, durata procesului de ambreiere

depinde de variația în raport cu timpul a funcției  $M_c(t)$ . În aplicațiile curente la care se folosesc motoare asincrone, cuplajul se va alege astfel încît cuplul comutabil maxim să se situeze cu puțin sub valoarea cuplului de răsturnare al motorului. În acest mod se evită patinarea necontrolată a cuplajului la apariția unor suprasarcini în sistem. Dimpotrivă, cînd se urmărește reducerea timpului de ambreiere, cuplajul se alege și se comandă astfel încît cuplul comutabil să depășească sensibil cuplul de răsturnare al motorului (§ 2.2). Trebuie subliniat însă că solicitarea mecanică din lanțul cinematic crește în acest caz, concomitent înregistrîndu-se o scădere a disipației de energie la nivelul suprafețelor active ale cuplajului.

#### 2.3.4. Metoda modelării analogice.

Modelarea analogică se bazează pe observația că grupuri de fenomene de natură fizică deosebită sînt descrise prin ecuații matematice, formal identice. Ca urmare a acestui fapt, procesele tranzitorii din sistemele de acționare cu cuplaje electromagnetice cu fricțiune pot fi analizate prin intermediul unui model analog, cu preferință electric, cu toate avantajele de natură metodică și experimentală pe care le conferă structura acestora [24, 66, 102 și 121].

Modelele electrice analogice utilizabile în acest caz pot fi directe sau structurale. La modelele electrice directe - constituite de regulă din surse și elemente pasive  $R, L, C$  - se apelează frecvent pentru rezolvarea cazurilor simple, deoarece pe măsura creșterii complexității structurii mecanice modelate, cresc și erorile sistematice. Spre deosebire de acestea, modelele electrice structurale conțin în toate cazurile elemente active (amplificatoare operaționale) pe lângă sursele și elementele pasive menționate.

Modelul structural folosit pentru analiza funcționării sistemului de acționare, constă în realizarea unei sau mai multor scheme de conexiuni a operatorilor elementari sau compuși, convenabil aleși, astfel încît tensiunile măsurate în anumite noduri ale modelului, să reprezinte soluțiile căutate.

Modelarea electrică - realizabilă în calculatoare analogice sau hibride - datorită vitezei relativ ridicate de lucru a calculatorului, permite cercetarea fenomenelor tranzitorii din ac-

ționările prin cuplaje cu fricțiune la scara naturală a timpului (în timp real).

Bazat pe principiile enunțate anterior, se propun soluții pentru cele două modalități de cercetare analogică a funcționării CEF în sistemele de acționare electrice.

a). Modelarea electrică directă se bazează, în cazul analizat, pe observația că ecuația mișcării unui sistem mecanic (2.13), adusă la forma integro-diferențială :

$$J \frac{d\omega}{dt} + \gamma_M \omega + K \int_0^t \omega dt = M(t) \quad (2.65)$$

este formal analogă cu ecuația, scrisă în baza legii a doua a lui Kirchoff, pentru un circuit electric serie R, L, C, alimentat de la sursa de tensiune  $U(t)$  :

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int_0^t i dt = U(t) \quad (2.66)$$

Prin compararea ecuațiilor (2.65) și (2.66) rezultă lista mărimilor analoge :

$$J \sim L ; \omega \sim i ; \gamma_M \sim R ; K \sim \frac{1}{C} ; M(t) \sim U(t) ;$$

$$t_{\text{real}} \sim t_{\text{model}}$$

și implicit a factorilor de scară :

$$k_J = \frac{L}{J} \left[ \frac{N}{\text{kgm}^2} \right] ; k_\omega = \frac{1}{\omega} \left[ \frac{A}{\text{rad.s}^{-1}} \right] ; k_\gamma = \frac{R}{\gamma_M} \left[ \frac{\Omega}{\text{Nm.s rad}^{-1}} \right]$$

$$k_K = \frac{C^{-1}}{K} \left[ \frac{F^{-1}}{\text{Nm rad}^{-1}} \right] ; k_M = \frac{U(t)}{M(t)} \left[ \frac{V}{\text{Nm}} \right] ; k_T = \frac{t_{\text{model}}}{t_{\text{real}}} \left[ \frac{s}{s} \right]$$

(2.67)

Înlocuind condițiile (2.67) în ecuația (2.66) și identificând cu ecuația (2.65), se observă că cei șase factori de scară nu sînt independenți :

$$k_J \frac{k_\omega}{k_T} = k_\gamma \cdot k_\omega = k_K \cdot k_\omega \cdot k_T = k_M \left[ \frac{V}{\text{Nm}} \right] \quad (2.68)$$

Conform relației (2.68), rezultă că se pot accepta arbitrar trei dintre factorii de scară menționați, restul rezultînd (în concordanță cu posibilitățile fizice de realizare a elementelor R, L, C și de precizia măsurătorilor).



In aceeași ordine de idei, se observă că energia cinetică din sistemul de acționare are expresia formal analogă cu energia magnetică din model  $\frac{1}{2} J \omega^2 \sim \frac{1}{2} L i^2$ .

Deci, factorul de scară al unei analogii energetice va fi :

$$k_w = \frac{\frac{1}{2} L i^2}{\frac{1}{2} J \omega^2} = k_j \cdot k_\omega^2 \left[ \frac{1}{j} \right] \quad (2.69)$$

Prin modelare directă se pot rezolva și ecuații integro-diferențiale cuplate ce descriu procesele tranzitorii din sistemele de acționare cu cuplaje, deoarece se știe că folosind legile lui Kirchoff pentru analiza funcționării oricărui circuit electric, se obțin în general ecuații integro-diferențiale, ale căror necunoscute sînt curenții din ramuri sau tensiunile măsurate între noduri. Invers, dîndu-se ecuațiile ce trebuiesc rezolvate, se pot imagina (concepe) unu sau mai multe circuite electrice, astfel ca relațiile care rezultă între curenții din ramuri sau tensiunile dintre noduri să fie formal identice cu integralele generale căutate.

Astfel, modelului mecanic echivalent unei acționări prin cuplaje (fig. 2.15 a), în care, spre deosebire de fig. 2.2 (§ 2.2), s-a luat în considerație suplimentar și elasticitatea arborilor, îi corespunde analogul electric direct din fig. 2.15 b).

Pentru a simula în modelul electric :

a). - funcționarea arborelui motor cu viteză unghiulară constantă ( $\omega_1 = \text{const.}$ ), sursa de alimentare  $G_1$  trebuie să fie de tipul generator de curent constant ( $i_1 = \text{const.}$ ) ;

- caracteristica mecanică a elementului motor de tipul "absolut rigidă" ( $M_1 = \text{const.}$ ), solicită ca sursa  $G_1$  să fie un generator de curent continuu de tensiune constantă ( $U_1 = \text{const.}$ ) ;

- caracteristica mecanică dreaptă cu caracter "rigid" ( $M_1 = M_0 - K \omega_1$ ) - tipică acționărilor cu motoare de curent continuu cu excitația în derivație sau asincrone în domeniul stabil de funcționare - înapune de asemenea utilizarea unui generator  $G_1$  de curent continuu de tensiune constantă ( $U_0 = \text{const.}$ ) cuplat între bornele a, b, în serie cu un rezistor  $R_K$  a cărui rezistență face posibilă simularea pantei caracteristicii mecanice ( $U_1 = U_0 - i_1 R_K$ ) ;

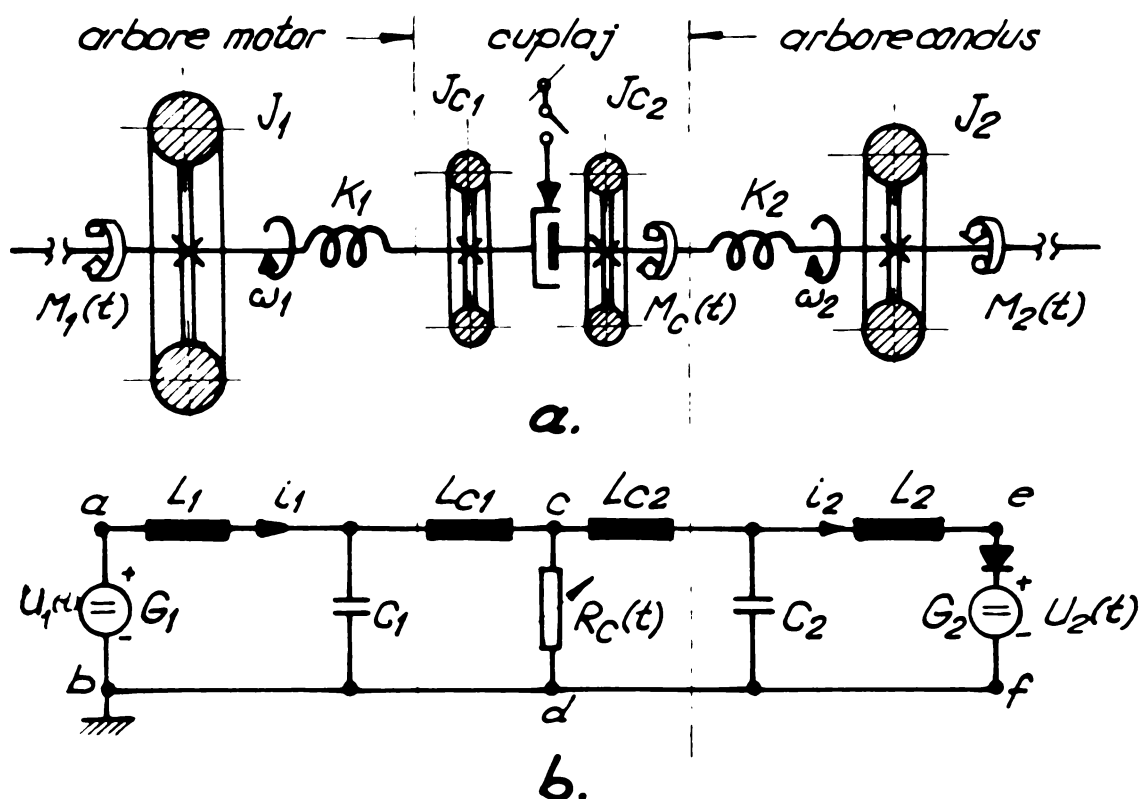


Fig. 2.15

b). -cuplul rezistent constant ( $M_2 = \text{const.}$ ), solicită ca între bornele e, f, să se conecteze un generator  $G_2$  de curent continuu de tensiune constantă ( $U_2 = \text{const.}$ ) cuplat -cu polaritatea opusă generatorului  $G_1$  - în serie cu o dipolă de blocare ;

-cuplul rezistent de natură viscoasă ( $M_2 = \gamma_M \omega_2$ ), impune ca în locul generatorului  $G_2$  să se conecteze un rezistor cu rezistența de valoare fixă  $R$  ( $U_2 = i_2 R$ ).

Intrucât căderea de tensiune la bornele rezistorului  $R_0$  - care simulează frecarea dintre suprafețele active - corespunde cuplului comutabil, stării declanșate a cuplajului ( $\omega_2 = 0$ ), îi va corespunde o valoare  $R_0 = 0$ , ceea ce constituie în schema electrică practic un scurtcircuit între punctele c, d ( $i_2 = 0$ ).

Dimpotrivă, funcționării cuplajului în stare anclanșată și legării din alunecare, caz în care  $\omega_1 \neq \omega_2$ , îi va corespunde în schema electrică valoarea teoretică  $R_0 = \infty$ , prin care condiția de analogie necesară  $i_1 = i_2$  este îndeplinită.

Pentru a modela trecerea de la o stare limită la cealaltă și invers (procesul cuplării și decuplării) trebuie modificată continuu valoarea rezistenței reostatului  $R_0$  în așa fel încît tensiunea de la bornele acestuia, să prezinte o lege de variație exponențială analogă cu legea de variație a cuplului calculabil (2.45).

Dacă modificarea valorii rezistenței respective s-ar produce după o altă lege, mai ușor de realizat (de exemplu liniară), defășurarea procesului analog ar avea loc printr-o distorsionare a timpului. În consecință, oscilogrammele ridicate pentru mărimile  $i_1 \sim \omega_1$ ,  $i_2 \sim \omega_2$  și implicit  $U_{cd} \sim M_0$  necesită o prelucrare ulterioară prin care se urmărește revenirea la scurgerea uniformă a timpului (care variază în acest caz după o scară funcțională).

Modelul electric propus pune în evidență și oscilațiile torsionale induse în sistem datorită elasticității elementelor din lanțul cinematic.

b). Modelarea electrică structurală.

Pentru a rezolva o problemă concretă din domeniul restrins al acționărilor prin cuplaje cu fricțiune, cu ajutorul unui calculator analogic, este necesară o pregătire prealabilă a ei, adică programarea. Se constată însă că scrierea ecuațiilor de mișcă pentru procesul cuplării sau/și al decuplării - ca punct de plecare pentru întocmirea schemei de calcul - prezintă unele particularități în raport cu aceeași operație în cazul tratării fenomenelor tranzitorii din acționările la care lanțul cinematic este cuplat permanent prin elemente rigide sau elastice. Deosebirile esențiale se datoresc faptului că deși procesele de cuplare și de decuplare decurg continuu, sînt descrise prin ecuații ale mișcării, care la un moment dat își schimbă forma și coeficienții, iar în fazele de ambreiere și debreiere conțin funcțiile neliniare  $M_C(t)$  și  $M_{Cd}(t)$ .

Din ecuațiile mișcării (2.13) și (2.14) scrise pentru modelul mecanic echivalent (fig. 2.2), se observă că în prima fază a cuplării, cît timp suprafețele active ale cuplajului aflate în contact forțat alunecă relativ, cei doi arbori se mișcă cu vitezele unghiulare distincte :

$$\omega_1(t) = \int_0^t \frac{M_1 - M_C(t)}{J_1} dt + \omega_{10} \text{ pt. } t \in [0; t_a]; \quad (2.70 \text{ a})$$

intrucit  $\omega_2(t) = 0$  pentru  $t \in [0; t_{a1}]$  cind  $M_C(t) \leq M_2$ , atunci:

$$\omega_2(t) = \int_{t_{a1}}^t \frac{M_C(t) - M_2}{J_2} dt \quad \text{pt. } t \in [t_{a1}; t_a] \quad (2.70 \text{ b})$$

La timpul limită  $t = t_a$ , vitezele unghiulare devin egale :

$$\omega_1(t_a) = \omega_2(t_a) = \left| \omega_{12} \right|_{t=t_a}$$

După incheierea fazei ambreierii și pînă la terminarea accelerării celor doi arbori cuplați, viteza unghiulară comună va fi :

$$\omega_{12}(t) = \int_{t_a}^t \frac{M_1 - M_2}{J_1 - J_2} dt + \left| \omega_{12} \right|_{t=t_a} \quad \text{pt. } t \in [t_a; t_a] \quad (2.71)$$

Analog, la decuplare apar două faze distincte. In prima din intervalul de timp  $t \in [t_{cd}; t_{d1}]$  de la comanda decuplării pînă la intrarea în alunecare a cuplajului, viteza unghiulară  $\omega_{120}$  se menține invariabilă, intrucit cuplul transmisibil depășește sau egalează cuplul rezistent ( $M_T(t) \geq M_2$ ).

In faza următoare, cuplajul intră în alunecare (cînd cuplul comutabil la decuplare ( $M_{Cd}(t) < M_2$ ) iar cei doi arbori se vor roti cu vitezele unghiulare distincte :

$$\omega_1(t) = \int_{t_{d1}}^t \frac{M_1 - M_{Cd}(t)}{J_1} dt + \omega_{120}, \quad \text{pt. } t \in [t_{d1}; t_{sd}] \quad (2.72 \text{ a})$$

și

$$\omega_2(t) = \int_{t_{d1}}^t \frac{M_{Cd}(t) - M_2}{J_2} dt + \omega_{120}, \quad \text{pt. } t \in [t_{d1}; t_{op}] \quad (2.72 \text{ b})$$

unde :

$t_{sd}$  este timpul de accelerare al arborelui motor la de-elanșarea cuplajului ;

$t_{op}$  - timpul de oprire al arborelui condus.

Se face mențiunea, că modelarea electrică structurală ar deveni mai simplă dacă procesul cuplării respectiv al decuplării s-ar divide în cîte două faze care rezolvă succesiv, prin scheme independente, ecuațiile mișcării (2.70 a, b) și (2.71) respectiv (2.72 a, b), în ordinea desfășurării lor naturale. Această fragmentare a procesului studiat, implică însă transferul datelor finale

de pe o schemă cu date inițiale pe a doua. Numărul sporit de operații ce trebuie să se efectueze la panoul calculatorului crește iar rezultatele definitive sînt afectate de erori mari.

Se apreciază că este mai rațional ca procesele tranzitorii de cuplare sau de decuplare să fie analizate continuu cu ajutorul unui model electric structural unic, capabil să realizeze în mod automat comutarea adică schimbarea formei ecuațiilor de mașină și a coeficienților, în concordanță cu procesul fizic.

Comanda comutării are la bază compararea vitezelor unghiulare ale celor doi arbori. Astfel sînd  $\omega_1(t) - \omega_2(t) = 0$ , conform bilanțului energetic la cuplare și la decuplare :

$$M_M(t) = \frac{\omega_1(t) - \omega_2(t)}{\omega_1(t)} M_C(t) + \frac{\omega_2(t)}{\omega_1(t)} M_S(t) \quad (2.73)$$

unde :

$$M_M(t) = M_1 + J_1 \frac{d\omega_1}{dt} ; \quad M_S(t) = M_2 + J_2 \frac{d\omega_2}{dt} ,$$

primului termen al membrului al doilea - ce reprezintă cuplul de frecare care produce disipația prin mișcarea relativă a lamelor din pachet - se anulează.

Indiferent de forma particulară a modelului mecanic, soluționarea fenomenelor tranzitorii din acționările prin cuplaje, impune cu necesitate ca modelul structural să fie alcătuit cel puțin din următoarele trei categorii de blocuri funcționale :

- pentru rezolvarea separată și cuplată a ecuațiilor mișcării celor doi arbori (2.13 ; 2.14) ;
- pentru generarea de funcțiuni exponențiale de tipul :

$$M_C(t) = \left| \alpha^2 M_C \max \left[ 1 - \exp \left( - \frac{t}{\tau_0} \right) \right]^2 \right|_{t \geq t_m} \quad (2.74 a)$$

$$M_{Cd}(t) = \left| M_C \max \exp \left( - \frac{t}{\tau_{do}} \right)^2 \right|_{t \geq t_{cd}} \quad (2.74 b)$$

unde :

$\tau_0, \tau_{do}$  reprezintă valorile convenționale ale constante-  
lor de timp la cuplare respectiv decuplare (vezi  
rel. 2.40).

- pentru elementele de comutare constituite din unul sau mai multe comparatoare sau circuite logice ( $\omega_1(t) \Leftrightarrow \omega_2(t)$ ).

În fig. 2.16 se propune un model electric structural mul-

funcțional conceput pentru studierea globală (de ansamblu) a proceselor tranzitorii din sistemele de acționare analizate atât la cuplare cât și la decuplare.

Modelul permite rezolvarea unui mare număr de aplicații dacă  $J_{1,2} = \text{const.}$ , iar  $M_1$  și/sau  $M_2$  sînt funcții de timp constante sau mărimi dependente liniar de viteza unghiulară.

Ecuațiile mișcării arborelui motor și condus se rezolvă cu blocurile alcătuite din : sumatorul și integratorul realizate cu amplificatoarele operaționale AO 3 și 4 respectiv sumatorul, integratorul și inversorul realizate AO 7, 8 și 9.

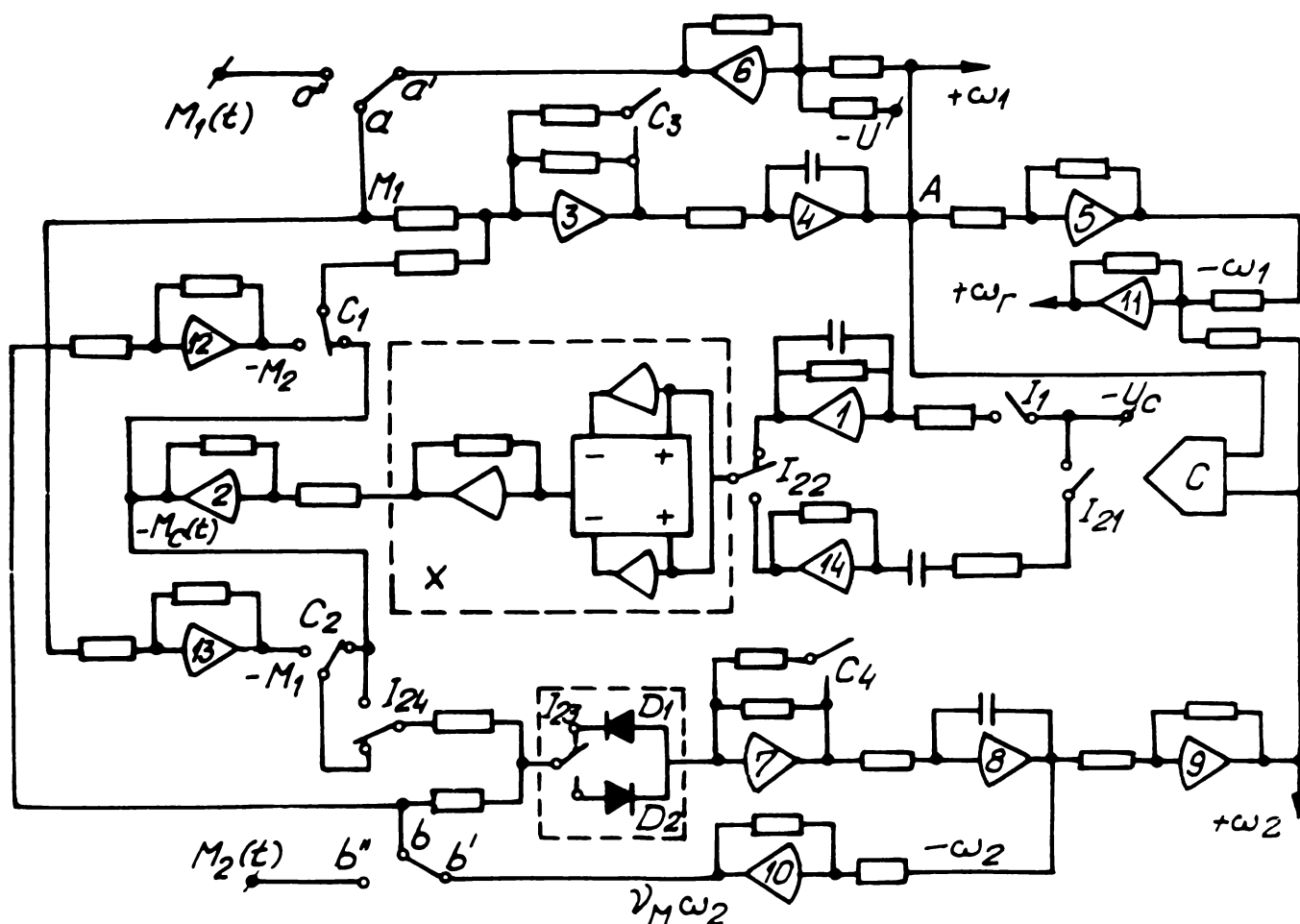


Fig. 2.16

Funcțiile de excitație  $M_c(t)$  respectiv  $M_{ca}(t)$  descrise prin relațiile (2.74 a, b) sînt modelate prin intermediul generatorului de funcție exponențială alcătuit din : un operator complex (cu AO 1 sau AO 14), cuadratorul  $\lambda$  și un inversor (cu AO 2). Adaptarea schemei ce simulează cuplarea pentru decuplare se obține prin acționarea comutatorului  $I_{21}$ .

Comparatorul  $C$ , comandat de summul ce modelază

$\omega_1(t) - \omega_2(t)$ , schimbă structura schemei modelului prin comutarea automată a contactelor ( $C_1 \dots C_4$ ). Astfel, indiferent de fază simulată (cuplare sau decuplare), sînt reproduse analogic soluțiile ecuațiilor diferențiale (2.70...2.72).

Prin legăturile inverse din schemă realizate cu sumatorul ce conține AO 6 se rezolvă ecuația :

$$U = K \phi \omega_1 + I \cdot R, \quad (2.75)$$

furnizîndu-se la ieșire un semnal analog cuplului  $M_1 = K \phi I(\omega_1)$  dependent linear de viteză unghiulară  $\omega_1$ , iar multiplicatorul, ce conține AO 10, furnizează la ieșire semnalul analog cuplului  $M_2 = \gamma_M \omega_2$ .

Diodele  $D_1$  respectiv  $D_2$  realizează pe model restricțiile :

$$\forall M_C(t) \leq M_2 \exists \omega_2 = 0 \quad (\text{la cuplare})$$

$$\forall M_T(t) \geq M_2 \exists \omega_2 = \omega_{120} \quad (\text{la decuplare})$$

Deoarece în locul conexiunilor  $aa'$  respectiv  $bb'$  se stabilesc legăturile  $aa''$  sau  $bb''$ , devine posibilă corectarea fenomenelor tranzitorii cînd :

$$M_{1,2} \begin{cases} = \text{const.} \sim U = \text{const.}, \text{ de la un divizor de tensiune;} \\ = M_{1,2}(t) \sim U = U(t), \text{ de la generatorul de funcțiuni al calculatoareului.} \end{cases}$$

Pentru înregistrarea analogică a variației vitezei unghiulare relative :

$$\omega_r(t) = \omega_1(t) - \omega_2(t),$$

se utilizează inversorul cu AO 5 și sumatorul cu AO 11.

x  
x                      x

Intrucît fenomenele tranzitorii au o importanță deosebită în caracterizarea funcționării cuplajelor electromagnetice cu fricțiune în sistemele de acționare, paragrafele precedente și-au propus să dea soluții cât mai cuprinzătoare acestor categorii de probleme.

**2.4. Bilanțul energetic al cuplajelor electromagnetice cu fricțiune.**

Transferul energetic prin cuplajele electromagnetice cu fricțiune este însoțit de procese disipative. Cauzele care produc aceste procese, în ordinea importanței, sînt următoarele :

- frecarea la nivelul pachetului de lașale ;
- curentul din înfășurarea de excitație și fenomenele conexă de histereză și curenți turbionari.

Independent de gradientul de temperatură sau de sensul fluxului termic în masa cuplajului, restricțiile disipative - determinante pentru fiabilitate - sînt impuse de temperaturile maxime admise de materialele de fricțiune, de materialele electro-izolante și de lubrifiant (dacă funcționarea are loc în mediu uscat).

Fără îndoială, procesul termic cauzat de alunecarea relativă a suprafețelor de frecare (în contact direct sau prin intermediul lubrifiantului) este cel mai intens și semnificativ. Ponderele acestuia în bilanțul energetic al subreierii sau debrării se poate evidenția printr-un artificiu beneal aplicat ecuațiilor mișcării (2.13). Acestea pot fi puse sub formă diferențială :

$$(\mathbb{M}_1 - \mathbb{M}_{a1}) \dot{\omega}_1(t) dt = (\mathbb{M}_2 + \mathbb{M}_{a2}) \dot{\omega}_2(t) + \mathbb{M}_0(t) (\omega_1(t) - \omega_2(t)) dt \quad (2.76 a)$$

sau integrală :

$$\mathbb{W}_1 = \mathbb{W}_u + \mathbb{W}_a + \mathbb{W}_d \quad (2.76 b)$$

unde s-a notat prin :

$$\mathbb{M}_{a1,2} = J_{1,2} \frac{d\omega_{1,2}}{dt} \quad \text{cuplurile dinamice (de accelerație);}$$

$\mathbb{W}$  energia-totală ( $\mathbb{W}_1$ ) ; utilă ( $\mathbb{W}_u$ ) ; necesară pentru accelerarea maselor reduse la arborele condus ( $\mathbb{W}_a$ ) și disipată prin frecare ( $\mathbb{W}_d$ ).

Evaluarea ponderii disipărilor de energie la subreiere în sarcină și în gol se realizează prin intermediul coeficientului adimensional de pierdere :

$$\alpha_{\mathbb{W}} = \frac{\mathbb{W}_d}{\mathbb{W}_u + \mathbb{W}_a + \mathbb{W}_d} \quad ; \quad \alpha_{\mathbb{W}_0} = \frac{\mathbb{W}_d}{\mathbb{W}_a + \mathbb{W}_d} \quad \mathbb{W} \quad (2.77)$$

Relația (2.77) dovedește că situația cea mai defavorabilă sub aspectul bilanțului energetic corespunde cuplării în gol



(cu unele ipoteze simplificatoare [20,64 și 95] pt.  $\omega_{1,2}(t)$  și  $M_C(t) \propto \bar{w}_0 \approx 0,5$  întrucît  $\bar{w}_d \approx \bar{w}_a = \frac{1}{2} J_2 \omega_2^2$ ).

La ambreierea în sarcină - cazul oel mîi frecvent în-  
tîlnit - se disting două faze (vezi § 2.1.2) :

$$a). \forall t \in t_m : t_{a1} \cup M_C(t) \leq M_2 \exists \omega_r(t) = \omega_1(t) \cup \omega_{20} = 0$$

cînd întreaga energie preluată de cuplaj se transformă în  
energie termică și de dislocație (uzură) :

$$\bar{w}_1 \left| \begin{array}{l} t_{a1} \\ t_m \end{array} \right. = \bar{w}_d \left| \begin{array}{l} t_{a1} \\ t_m \end{array} \right. = \int_{t_m}^{t_{a1}} M_C(t) \omega_r(t) dt \quad (2.78)$$

$$b). \forall t \in (t_{a1} : t_a) \cup M_C(t) > M_2 \exists \omega_r(t) < \omega_1(t) \cup \omega_2(t) > 0$$

corespunzătoare accelerării arborelui condus cînd din  
energia totală preluată de cuplaj, prin separarea efecte-  
lor, se disting componentele pentru :

- învingerea rezistențelor exterioare ( $M_2$ ) :

$$\bar{w}_u \left| \begin{array}{l} t_a \\ t_{a1} \end{array} \right. = \int_{t_{a1}}^{t_a} M_2 \omega_2(t) dt \quad (2.79 a)$$

- accelerarea maselor reduse la arborele condus :

$$\bar{w}_a \left| \begin{array}{l} t_a \\ t_{a1} \end{array} \right. = \int_{t_{a1}}^{t_a} M_{a2} \omega_2(t) dt = J_2 \frac{\omega_2^2}{2} \quad (2.79 b)$$

- procese disipative datorate frecării :

$$\bar{w}_d \left| \begin{array}{l} t_a \\ t_{a1} \end{array} \right. = \int_{t_{a1}}^{t_a} M_2 \omega_r(t) dt + \int_{t_{a1}}^{t_a} M_{a2} \omega_r(t) dt \quad (2.79 c)$$

Deci, pentru întregul proces al ambreierii în sarcină  
energia disipată (conf. fig. 2.17) are valoarea :

$$\bar{w}_d = \bar{w}_d \left| \begin{array}{l} t_{a1} \\ t_m \end{array} \right. + \bar{w}_d \left| \begin{array}{l} t_a \\ t_{a1} \end{array} \right. =$$

$$= \int_{t_{a1}}^{t_{a2}} M_0(t) \omega_x(t) dt + \int_{t_{a1}}^{t_a} M_2 \omega_x(t) dt + \int_{t_{a1}}^{t_a} M_{a2} \omega_x(t) dt =$$

$$= \alpha^2 M_0 \max \int_0^{t_a} \left\{ 1 - \exp \left[ - \frac{t-t_{a1}(\tau, \delta)}{\beta K \eta \tau} \right] \right\}^2 \omega_x(t) dt \quad (2.80)$$

Proceedind in mod similar, se poate determina expresia energiei disipate la decuplare :

$$(\bar{w}_d)_d = \bar{w}_d \Big|_{t_{d1}}^{t_d} = \int_{t_{d1}}^{t_d} M_{Cd}(t) \omega_x(t) dt =$$

$$= M_C \max \int_{t_{d1}}^{t_d} \left[ \exp \left( - \frac{t}{\tau_{d0}} \right) \right]^2 \omega_x(t) dt \quad (2.81)$$

Deoarece particularităților procesului ambreierii și debreierii, întotdeauna :

$$\bar{w}_d > (\bar{w}_d)_d$$

La funcționarea îndelungată în stare decuplată, poate să apară o încălzire importantă a pachetului de lamele datorită cuplului rezidual (vezi § 5.3).

Energia disipată pentru această stare poate fi exprimată cantitativ prin expresia :

$$(\bar{w}_d)_o = \bar{w}_d \Big|_0^{t_{ad}} = \int_0^{t_{ad}} M_x (\omega_x) \omega_x(t) dt \approx M_x \omega_x t_{ad} \quad (2.82)$$

În fig.2.17, se prezintă variația maximilor ce determină bilanțul energetic în regimurile funcționale posibile. Prin suprafețele hășurate s-a evidențiat energia disipată proprie fazelor în care  $\omega_x > 0$ .

Din analiza relațiilor (2.80), (2.81) și (2.82) se observă că încălzirea cuplajelor este cu atât mai intensă, cu cât funcționarea în regim de alunecare este mai îndelungată. În cazul unor dimensionări greșite, se poate ajunge în situația uzurii pre-urtare sau chiar a distrugerii prin supraîncălzire a suprafețelor de frecare. Condițiile devin mai grele atunci când frecvența comutărilor crește.

Deși fenomenul disipativ cauzat de cuplul rezidual este mai puțin intens decât cel din fazele de ambreiere, respectiv debreiere, la funcționarea timp îndelungat, cu anumite viteze unghiulare relative, cantitatea de căldură dezvoltată poate fi mai mare decât cea produsă în perioadele de accelerare sau frînare. În consecință, acestui regim funcțional trebuie să i se acorde o deosebită atenție deoarece ignorarea sa poate conduce la defecțiuni grave.

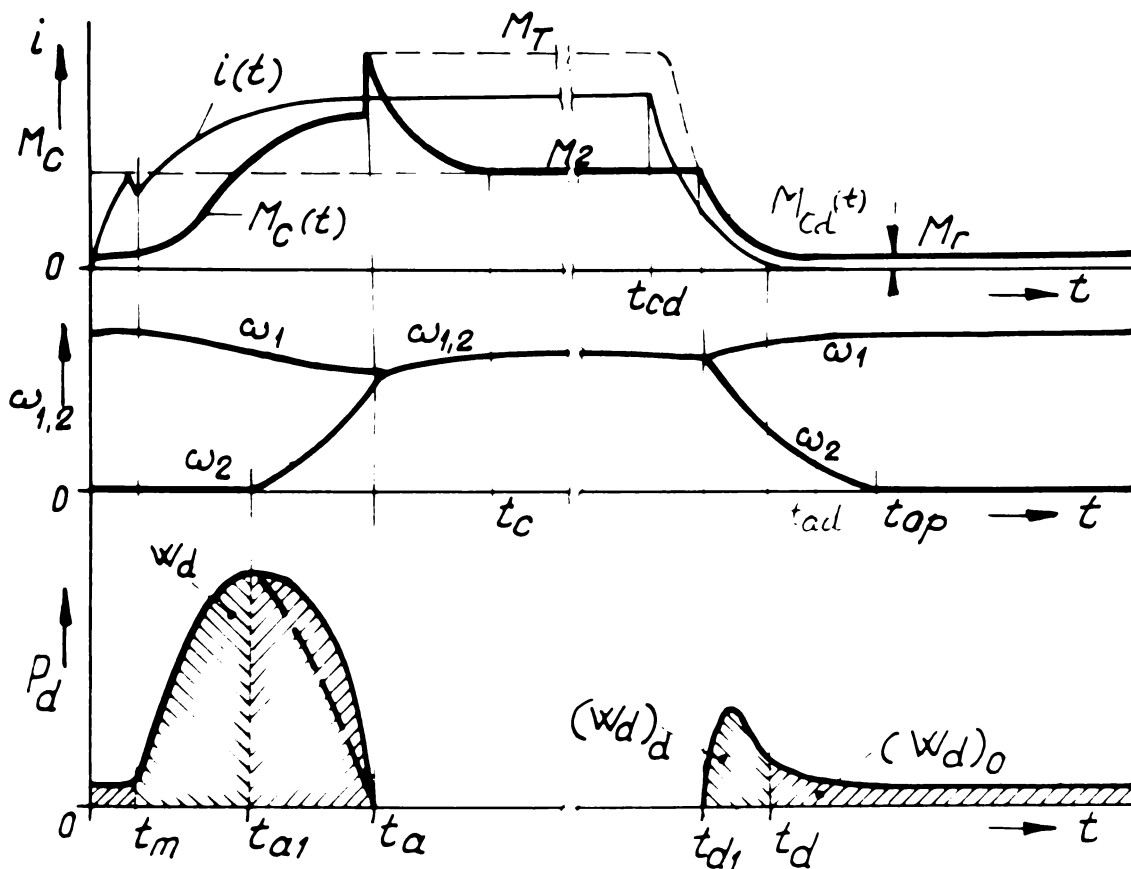


Fig. 2.17

Pentru determinarea cantitativă a proceselor disipative se impune a fi cunoscute : cinematica ambreierii ( $\omega_{1,2}(t)$ , deci  $\omega_F(t)$ ), comportarea tribologică și electromagnetică a cuplajului  $M_C(t)$ ,  $M_{Cd}(t)$  și  $M_2(\omega_F)$ .

Literatura [20, 65, 79, 86, 95, 98, 102, 125 și 138] oferă relații simplificite de calcul, deduse pentru cuplajele cu fricțiune comandate mecanic, dar se observă că extrapolarea lor în cazul analizat are o valabilitate cu totul aproximativă. Încălzirea în făgurării de excitație prin efectul termic al curentului de comandă implicit cantitatea de căldură produsă este în general

mică (sub 5 %) în raport cu cea datorată lucrului mecanic de frecare. Cu toate acestea, fenomenul respectiv nu trebuie neglijat la transmisiile mecanice ce conțin un număr mare de cuplaje și frâne în structura lor, sau atunci când condițiile de răcire sînt grele. Datorită legii de variație a curentului de comandă în perioada de anclanșare încălzirea pieselor feromagnetice ale cuplajului prin histereză și cureanți turbionari este foarte mică [138], ca atare se poate neglija.

Intrucît posibilitățile de încălzire termică depind și de condițiile de răcire, la calculul de verificare al încălzirii trebuie avut în vedere regiunea de lucru al cuplajului.

Astfel, la condiții grele de cuplare, energia totală disipată la o singură anclanșare  $\bar{W}_{dl}$ , trebuie comparată cu energia admisibilă să fi disipată  $(\bar{W}_{dl})_{adm}$  prin inegalitatea :

$$\bar{W}_{dl} \leq (\bar{W}_{dl})_{adm} \quad (2.83)$$

La condiții de cuplare ușoare și mijlocii, se va compara energia maximă disipată orară (datorată fie anclanșărilor, fie cuplului rezidual) cu cea admisibilă :

$$\bar{W}_{dh} = Z \bar{W}_{dl} \leq (\bar{W}_{dh})_{adm} \quad (2.84 a)$$

$$(\bar{W}_d)_{dh} \leq (\bar{W}_{dh})_{adm} \quad (2.84 b)$$

unde :

Z este numărul de anclanșări pe oră.

Intrucît modul de răcire al cuplajului și mediul folosit în acest scop au o influență hotărîtoare asupra echilibrului termic, în programul experimental s-a acordat atenție deosebită acestui aspect.

Rezultatele obținute au permis elucidarea unor particularități fenomenologice, sumar tratate în literatura de specialitate, oferindu-se astfel date utile pentru aplicațiile practice (v. § 5.2).

**CAP.3. O NOUA METODA PENTRU CALCULUL DE DIMENSIONARE  
ELECTROMAGNETICĂ A CUPLAJELOR, CU POSIBILITĂȚI  
DE OPTIMIZARE.**

**3.1. Considerații asupra metodelor de dimensio-  
nare.**

Particularitățile constructive ale electromagneților de acționare integrate în structura cuplajelor cu fricțiune, și situate într-o categorie aparte din punctul de vedere al metodelor de analiză, a formei și a relațiilor de dimensionare.

Cercetarea sistematică a acționărilor prin intermediul acestor cuplaje, impune totodată continuă perfecționare a metodelor de calcul, vizând mai ales sporirea siguranței în funcționare, reducerea greutateii și implicit a gabariturii, mărirea vitezelor de comutare, reducerea puterii de comandă precum și a prețului de cost.

Numeroși cercetători [20,21,65,97,125 și 138] au abordat această problemă, pornind de la relația lui Maxwell privind forța dezvoltată de electromagnetul de curent continuu și au elaborat metode ce asigură calculului o precizie satisfăcătoare. De fapt, toate metodele existente au un caracter de verificare, adică permit stabilirea caracteristicii statice a electromagnetului pentru dimensiuni geometrice acceptate circuitului magnetic, deci pentru o anumită inducție magnetică în întrefier, sau pentru unii parametri ai înfășurării de excitație. În acest mod, dimensionarea se realizează prin iterații.

Având în vedere complexitatea și cantitatea de muncă relativ mare necesară chiar și pentru un calcul de verificare, numeroși constructori preferă să efectueze în practică o cercetare cu ajutorul modelelor experimentale.

Literatura de specialitate apărută în ultimii ani [9,12,21,65,97,125,138 și 139] a pus la dispoziție o serie de indicații pentru alegerea inducției în întrefier și fier, a unor rapoarte adimensionale privind forma geometrică a înfășurării de excitație și a făcut unele recomandări asupra dispersiei fluxului magnetic, necesare mării preciziei calculului de verificare.

Neconcordanța sau divizarea excesivă a recomandărilor,

uneori domenii prea largi de alegere a unor mărimi, precum și numărul mare de parametri care determină comportamentul funcțional al electromagnetului, nu oferă constructorului o orientare de ansamblu care să-i permită stăpânirea ponderii fiecărui parametru asupra caracteristicii statice a electromagnetului, dimensiunilor geometrice, regimului termic, puterii de comandă, greutateii, și prețului de cost etc. Ca o consecință a aspectelor arătate, un studiu efectuat de autor asupra produselor mai multor firme constructoare, a scos în evidență deosebiri însemnate în privința gabaritului, a greutateii, a puterii de comandă și a altor caracteristici constructive sau funcționale ce variau de la simplu la dublu pentru aceeași valori nominale ale cuplului comutabil și transmisibil.

Pornind de la aceste observații, autorul a elaborat o metodă originală de calcul [48] ce elimină inconvenientele arătate și permite obținerea directă a unor soluții optimizate. Verificările experimentale ale electromagneților astfel dimensionați au confirmat precizia ridicată a calculului. Metoda este aplicabilă în cazul electromagneților în manta cu alezaj, utilizată preferențial pentru cuplaje și rez înfînțiți în alte domenii.

Calculul este structurat în două etape : prima de preluminare și a doua de precizare a dimensiunilor finale, și are la bază unele idei ale metodelor existente pentru calculul electromagneților de curent continuu și alternativ cu miez masiv.

Se menționează că încă în etapa preliminară se conturează soluția optimă cazului analizat, iar prin calculul final din etapa a doua, se mărește precizia determinării unor parametri (tensiunea magnetotoare, inducția magnetică, încălzirea bobinei etc.) și implicit precizia calculului în ansamblu.

Se apreciază că dintre criteriile de optimizare ce pot fi luate în considerare, cel mai rațional este acela prin care electromagnetul răspunde cerințelor impuse de calculul mecanic (care precede întotdeauna calculul electromagnetic) și necesită puterea electrică de comandă minimă. Această, deosebe pentru o clasă de izolație dată, puterii de comandă minime îi corespunde o anumită suprafață de răcire, care determină soluțiile optime, adică greutatea, momentul de inerție masiv și preț de cost minime. Reducerea gabaritului și a momentului de inerție masiv al cuplajului, influen-

țasă favorabil gabaritul de ansamblu al transmisiei mecanice în aceleași condiții de echilibrare, <sup>permite</sup> creșterea vitezei de rotație maxime a dispozitivului, cu implicații directe asupra productivității mașinii.

Notă de calcul prezintă de asemenea avantajul că pe baza organizării întocmite, prin folosirea calculatorului electronic, oferă direct toate variantele care satisfac criteriul de optimizare pentru o anumită valoare a cuplului comutabil sau transmisibil. Diversificarea soluțiilor corespunde anumitor corelații dimensionale determinate pentru gabaritul cuplajului (de exemplu : cuplaje cu gabarit radial sau longitudinal minim și soluții intermediare). Din rândul acestor variante se alege soluția definitivă ce răspunde cerințelor concrete impuse de sistemul de acționare.

Desigur, pot fi acceptate și alte criterii de optimizare, cum ar fi reducerea raportului cupru-fier, a prețului de cost al electromagnetului etc. Efectele ce se obțin în aceste cazuri pot diminua performanțele de ansamblu ale CAF din punct de vedere mecanic și termic.

### 3.2. Calculul electromagnetic preliminar.

#### 3.2.1. Considerații generale.

Construcția electromagneților în mantă cu alezaj pentru cuplajele cu fricțiune, fig. 3.1, rezultă din corelarea forței portante necesare la un întrefier activ dat, cu mărimea alezajului maxim impus de cerințele exploatarei și încălzirea admisă de înfășurarea de excitație.

Partea electromagnetului care constă din înfășurarea de excitație și porțiunea de circuit feromagnetic cuprinsă de aceasta (mieș) constituie nucleul electromagnetului. Dimensiunea determinantă a nucleului electromagnetului este diametrul exterior al mieșului ( $d$ ).

În calculul preliminar se utilizează relații simplificate, în care, pentru mărirea preciziei, se introduc coeficienți de corecție. Astfel, la determinarea forței dezvoltate de electromagnetul de curent continuu se utilizează relația :

$$F = \frac{B^2 A}{2 \mu_0} \frac{\phi_0^2}{2 \mu_0 A} \quad (3.1)$$

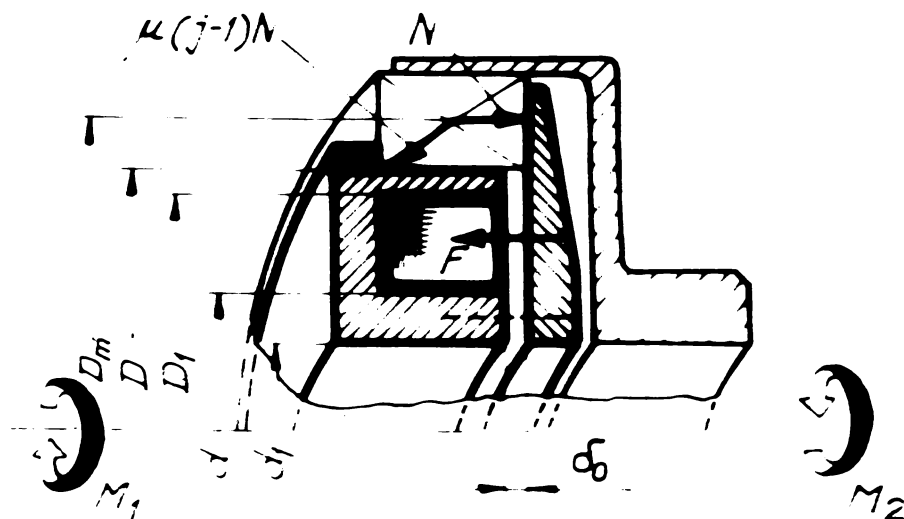


Fig.3.1

unde : B este inducția magnetică în întrefierul  $\delta$ . (neglijind efectele de margine) ;

A- aria tubului de flux.

În calcul, influența fluxurilor marginale "de umflare", și neuniformitatea câmpului din întrefier este lăsată în considerare printr-un coeficient de corecție  $\gamma$ , variabil, dependent de poziția armăturii.

Valoarea tensiunii magnetice în întrefierurile prezente și în fierul circuitului magnetic, pentru poziția dată armăturii, este pusă în evidență prin coeficientul de corecție  $\xi_T$ .

În calculul preliminar se presupune umplerea completă a locașului bobinei de către înfășurarea de excitație.

### 3.2.2. Mărimile principale ce se stabilesc prin calculul preliminar.

Principalele mărimi stabilite prin calculul preliminar în funcție de dimensiunea determinată a nucleului electromagnetului (§ 3.2.3) sînt :

- dimensiunile circuitului magnetic și ale înfășurării de excitație ;
- secțiunea conductorului înfășurării și numărul de spire ;
- încălzirea medie a bobinei și în special temperatura



locului cel mai cald.

Pentru definirea acestora este necesar să se cunoască caracteristicile rezistență. De cele mai multe ori însă, în locul caracteristicilor rezistențe mai dificil de estimat, se precizează valorile mărimilor principale : forța portantă și întrefierul în stare anelantă.

Determinarea forței portante necesară deplasării armăturii electromagnetului (cu rol de placă de presiune) din poziția inițială (de repaus) până în cea finală (de lucru) și a spăsării suprafețelor de frecare, are la bază cunoscuta relație de dimensionare a cuplajelor cu suprafețe de fricțiune plane [ 29, 32, 36, 65, 86, 98, 125 și 138 ] :

$$N = \frac{k_1}{\mu_s (j-1)} \cdot \frac{2 M_T}{D_m} \leq F \quad (3.2)$$

unde :

$N$  este forța de spăsare normală ;

$k_1$  - coeficient de suprasarcină [ 21, 65, 86, 95, 105, 107, 113 și 125 ] dependent de natura mașinii motoare și a mașinii de lucru ;

$\mu_s$  - coeficientul de frecare static (de aderență) [ 29, 32, 36, 62, 86, 98 și 102 ] ;

$j$  - numărul total de lamele ( $j = 2$  pentru CEF monodisc ;  $j = 3$  pentru CEF bidisc) ;

$M_T$  - cuplul transmisibil ;

$D_m$  - diametrul mediu al suprafețelor de frecare.

După cum rezultă, forța portantă trebuie să fie mai mare sau cel puțin egală cu forța de spăsare normală necesară ; concomitent, presiunea efectivă ce rezultă pe suprafețele de frecare nu trebuie să depășească valoarea admisibilă condiționată de o serie de factori, dependenți în primul rînd de natura materialului de fricțiune și de dinamica cuplării :

$$P_{ef} = \frac{F}{A_f} \leq P_a$$

în care :

$A_f$  reprezintă aria activă a unui element de fricțiune ;

$P_{ef}, P_a$  - presiunea efectivă respectiv admisibilă [ 20, 21, 29, 86, 95, 98 și 125 ] .

Alegerea corectă a mărimii întrefierului în stare an-

elanșată este de mare importanță ; alegerea unor valori prea mici, deși conduce la soluții favorabile în privința gabariturii, prezintă inconvenientul unei fiabilități reduse (compensarea uzurii suprafețelor active prin reglarea întrefierului trebuind să se repete la intervale relativ scurte în exploatare). Dimpotrivă, acceptarea unor valori prea mari, deși elimină inconvenientele arătate, conduce la soluții cu gabarite mari, neraționale pentru electromagnet, în consecință, pentru OMF.

Pe baza unui studiu extins asupra unui mare număr de soluții constructive [148, 149, ..., 165, 166 și 167], s-a întocmit diagrama din fig. 3.2, din care rezultă valorile uzuale folosite ale întrefierului activ dependent de mărimea cuplului comutabil al cuplajelor monodisc, bîdisc și cu lamele.

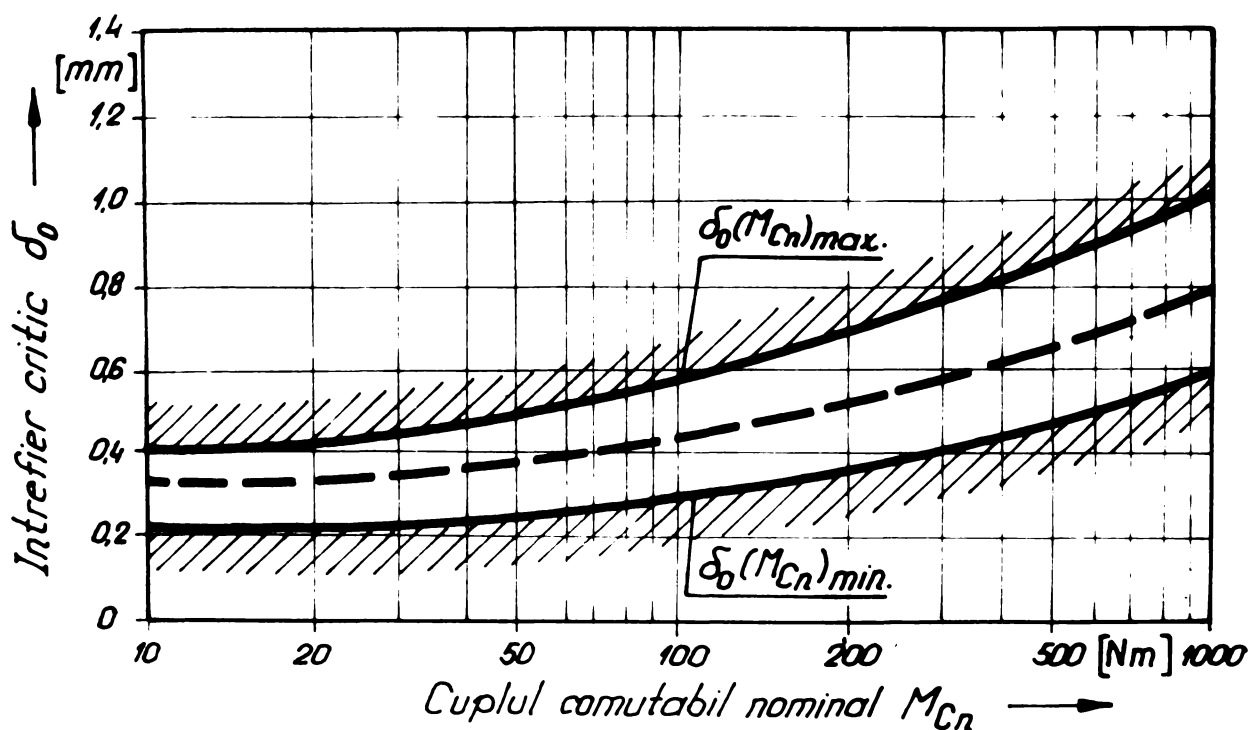


Fig. 3.2

Cu aceste precizări, ca etapă preliminară a calculului preliminar, se fixează mărimea întrefierului la care electromagnetul trebuie să dezvolte forța portantă corespunzătoare cuplului comutabil respectiv transmisibil dorit.

Un astfel de întrefier va fi denumit critic  $\delta_0$ , iar forța portantă ce-i corespunde, forță critică  $F_0$ . Valorile impuse pentru întrefierul critic și forța critică sînt valori fundamentale inițiale. Acestea li se asociază tensiunea nominală de alimentare a bobinei de excitație  $U_n$  și alezajul maxim  $d_1$  necesar

montării cuplajului pe arbore, care rezultă din condiția banală:

$$M_T \leq M_p \quad \zeta_{at} = \frac{\pi d_1^3}{16} (1 - \xi^4) \zeta_{at} \quad (3.3)$$

Se face precizarea că înfășurările de excitație ale electromagneților analizați, se alimentează numai în curent continuu și funcționează în regim de durată ( $D_T = 100\%$ ).

3.2.3. Calculul dimensiunii determinante a nucleului (d) a parametrilor circuitului magnetic și ai înfășurării de excitație.

În calculul preliminar se ia în considerare numai șocul parte a forței critice, care se creează la întrefierul principal. De asemenea, în calculul permeanței întrefierului, se consideră că planurile frontale ale corpului electromagnetului și arătuții sînt paralele și se află în poziția atresă la o distanță egală cu întrefierul critic  $\delta_0$  (fig.3.1). Permeanța reală a întrefierului, care este caracterizat de existența unui câmp neuniform, se înlocuiește (presupunind prezența unui câmp uniform) cu permeanța dintre două plane care fac parte dintr-un tor, aflate la o distanță egală cu mărimea întrefierului critic.

Dacă se notează cu  $A_0$  aria de calcul și cu  $d_0$  diametrul exterior, corespunzător tubului de flux omogen și cu  $A$  aria efectivă, se poate scrie :

$$A_0 = \varphi^2 A \quad (3.4 a)$$

adică :

$$\frac{\pi}{4} (d_0^2 - d_1^2) = \varphi^2 \frac{\pi}{4} (d^2 - d_1^2) \quad (3.4 b)$$

sau :

$$d_0^2 \left[ 1 - \left( \frac{d_1}{d_0} \right)^2 \right] = \varphi^2 d^2 \left[ 1 - \left( \frac{d_1}{d} \right)^2 \right]$$

în care făcîndu-se substituțiile :

$$\Delta_0^2 = 1 - \left( \frac{d_1}{d_0} \right)^2 ; \quad \Delta^2 = 1 - \left( \frac{d_1}{d} \right)^2$$

rezultă :

$$d_0^2 \Delta_0^2 = \varphi^2 d^2 \Delta^2 \quad (3.4 c)$$

unde  $\varphi$  ia în considerare "unflarea fluxului în zonele marginale ale întrefierului.

Pentru simplificare, permeanța echivalentă și întrefierul principal echivalent corespunzător acestuia, se denumesc permeanță principală și întrefier principal, iar mărimilor care le caracterizează li se atribuie indicele zero (de exemplu  $r$  diametrul  $d_0$ , inducția magnetică  $B_0$ , etc.).

Pentru calculul preliminar, după cum a arătat compararea rezultatelor analizei și a unor experiențe [77], ipotezele admise mai sus sînt justificate.

Majoritatea electromagneților folosiți în construcția cuplajelor cu fricțiune sînt prevăzuți cu două întrefieruri active egale ca mărime și cu aceeași secțiune străbătută de fluxul magnetic. Ipotezele admise pentru întrefierul toroidal interior își păstrează valabilitatea și pentru întrefierul toroidal exterior. Cu notațiile acceptate, forța electromagnetică exprimată prin relația (3.1) devine :

$$F_0 = \frac{B_0^2 A_0}{\mu_0} \quad (3.5 a)$$

iar cuplaj transmisibil din relațiile (3.2) și (3.5 a) rezultă :

$$M_T = \frac{\mu_0 (j-1) D_M B_0^2 A_0}{2 k_1 \mu_0} \quad (3.5 b)$$

Se exprimă valoarea  $A_0$  din relația (3.4 b) prin dimensiunea determinantă a nucleului electromagnetului și coeficienții de corecție  $\varphi$  și  $\Delta$  :

$$A_0 = \varphi^2 \frac{\pi}{4} d^2 \Delta^2 \quad (3.6)$$

apoi valoarea inducției magnetice  $B_0$ . Se are în vedere că pentru poziția arăturii corespunzătoare întrefierului  $\delta_0$ , o parte însumată  $T_{M0}$  a tensiunii magnetometrice  $T_{\text{int}}$  (creștă în condițiile de funcționare date ale înfășurării de excitație), revine celor două întrefieruri principale.

Se notează :

$$\zeta_T = \frac{T_{M0}}{T_{\text{int}}} \quad (3.7 a)$$

Tensiunea magnetică în întrefier  $T_{M0}$  pentru cimpul magnetic presupus uniform, avînd intensitatea  $H_0$  și lungimea totală a întrefierului  $2 \delta_0$ , are expresia :

$$T_{M0} = 2 \delta_0 H_0 \quad (3.7 b)$$

Mărimea tensiunii magnetomotoare  $T_{\text{ant}}$  trebuie să compenseze scăderea posibilă a tensiunii magnetomotoare  $T_{\text{mm}}$  în procesul de exploatare. Ca urmare se alege :

$$T_{\text{mm}} = \chi T_{\text{ant}} \quad (3.7 \text{ c})$$

Valoarea uzuală a acestui coeficient  $\chi$  este cuprinsă în domeniul 0,85...1 și se referă la micșorarea selenajiei ca urmare a scăderii posibile a tensiunii de alimentare la bornele înfășurării de excitație, considerând conductorul încălzit (rezistența electrică a bobinei se raportează la temperatura admisă).

Comparând  $T_{\text{mm}}$  și  $T_{\text{ant}}$  din relațiile (3.7 a, b, c) rezultă :

$$\zeta_T = \frac{2 \int_0^{\delta} H_0}{\chi T_{\text{mm}}}$$

Iar prin explicitarea inducției magnetice  $B_0 = \mu_0 H_0$  se obține:

$$\zeta_T = \frac{2 \int_0^{\delta} B_0}{\mu_0 \chi T_{\text{mm}}}$$

de unde :

$$B_0 = \frac{\mu_0 \zeta_T \chi T_{\text{mm}}}{2 \delta_0} \quad (3.8)$$

înlocuind (3.6) și (3.8) în (3.5 a și b) se obține :

$$F_0 = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{\mu_0 \varphi^2 \zeta_T^2 \chi^2 d^2 \Delta^2}{\delta_0^2} T_{\text{mm}}^2 \quad (3.9 \text{ a})$$

respectiv :

$$M_T = \frac{\pi}{32} \frac{\mu_s (j-1) D_B \mu_0 \varphi^2 \zeta_T^2 \chi^2 d^2 \Delta^2}{k_1 \delta_0^2} T_{\text{mm}}^2 \quad (3.9 \text{ b})$$

de unde se observă că atât forța perțantă cât și cuplul transmisibil depind de patretul tensiunii magnetomotoare.

În calculul preliminar se presupune că schimbul de căldură dintre înfășurarea de excitație și mediul ambiant se realizează pe întreaga suprafață exterioară, deoarece în starea acționată a electromagnetului, deci cu armătura apropiată frontal, condițiile de răcire sînt practic aceleași pe toate rețele.

Cu notațiile din fig. 3.3 arile parțiale ale bobinei se calculează cu relațiile :

$$A_1 = \pi D h_0 = \pi m (1 + 2n) d^2 \quad (3.10 a)$$

$$A_2 = \pi d h_0 = \pi n d^2 \quad (3.10 b)$$

$$A_3 = A_4 = \pi n d^2 (1 + n) \quad (3.10 c)$$

unde :

$A_1$  este aria cilindrică exterioară ;

$A_2$  - aria cilindrică interioară ;

$A_3, A_4$  - ariile frontale.

Lățimea  $h_0$  respectiv grosimea  $a_0$  a înfășurării de excitație au fost exprimate prin dimensiunea determinantă  $d$  și coeficienți de formă adimensionali  $m$  și  $n$  :

$$h_0 = md \quad ; \quad a_0 = nd$$

În regia de duzată conform ecuației de echilibru termic al bobinei, rezultă :

$$\theta_{ad} = \frac{I^2 R_b}{\alpha' h \sum_{i=1}^4 A_i} \quad (3.11)$$

unde :

$\alpha'$  este coeficientul de transmisie a căldurii de la suprafața bobinei ;

$h$  - coeficient care ia în considerare influența medului de înfășurare a bobinei asupra transmiterii căldurii (fără cecoașă, în bandaj, înfășurată pe mieș sau pe cecoașă) ;

$I$  - curentul de excitație ;

$R_b$  - rezistența înfășurării de excitație corespunzătoare temperaturii :

$$\theta = \theta_{ad} + \theta_{amb}$$

unde s-a notat cu :

$\theta$  - temperatura medie admisibilă ;

$\theta_{ad}$  - suprațempertura admisibilă ;

$\theta_{amb}$  - temperatura mediului ambiant.

Se știe că :

$$R_b = \int_0^L \frac{I_{med}}{\rho_{Cu}} N = \int_0^L \frac{D_{med}}{\rho_{Cu}} N = \int_0^L \frac{\pi (1+2n) d}{\rho_{Cu}} N \quad (3.12)$$

- în care :
- $\rho_0$  este rezistivitatea conductorului la temperatura ;
  - $L_{med} \cdot D_{med}$  - lungimea respectiv diametrul mijlocii a bobinei ;
  - $q_{cu}$  - secțiunea conductorului bobinei ;
  - $N$  - numărul de spire al înfășurării de excitație.

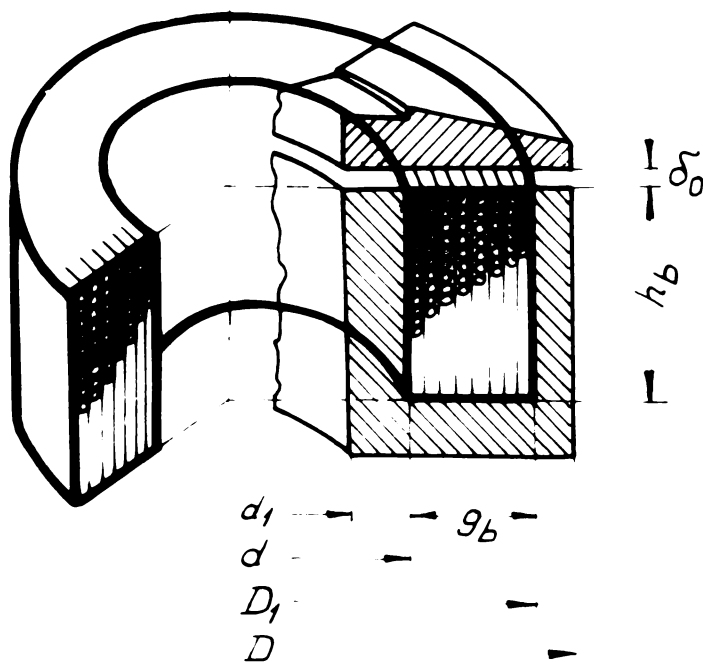


Fig. 3.3

Din definiția factorului de umplere a locușului înfășurării :

$$f_u = \frac{q_{cu} N}{h_b \cdot D_0} = \frac{q_{cu} N}{n \cdot n \cdot d^2} \quad (3.13)$$

rezultă secțiunea conductorului :

$$q_{cu} = \frac{f_u n n d^2}{N} \quad (3.14)$$

Prin înlocuirea relației (3.14) în (3.12), respectiv a relațiilor (3.10 a, b și c) și (3.12) în (3.11), se obține :

$$\theta_{ed} = \frac{\int_{\theta} (1+n) T_{em}^2}{2\alpha' h f_u n n (m+2n+n^2) d^3} \quad (3.15)$$

și funcție de ad tensiunea magnetometrică necesară :

$$T_{em} = \sqrt{\frac{2\alpha' h f_u n n (m+2n+n^2) \theta_{ed} d^3}{\int_{\theta} (1+n)}} \quad (3.16)$$

Prin înlocuirea relației (3.16) în (3.9 a), se ajunge la expresia prin care se pune în evidență forța dezvoltată de electromagnetul în ranta cu aleasă :

$$F_0 = \frac{\pi \mu_0 \varphi^2 \zeta_T^2 \chi^2 \alpha' h f_u \sin(n + m + n + n^2) \theta_{ad} \Delta a^{2,5}}{\int_0 \Omega + n \delta_0^2} \quad (3.17)$$

respectiv dimensiunea determinanta a nucleului :

$$d = \sqrt[5]{\frac{8 \int_0 \Omega + n \delta_0^2}{\pi \mu_0 \varphi^2 \zeta_T^2 \chi^2 \alpha' h f_u \sin(n + m + n + n^2) \theta_{ad} \Delta^2}} \quad (3.18)$$

Constanta acestui tip de electromagnet, se calculează pe baza relației de definiție având în vedere și expresia (3.17):

$$C_0 = \frac{F_0}{\delta_0} \varphi \zeta_T \chi \Delta a^{2,5} \sqrt{\frac{\pi \mu_0 \alpha' h f_u \sin(n + m + n + n^2) \theta_{ad}}{8 \int_0 \Omega + n}}$$

folosind notația :

$$a_1 = \frac{8 \int_0 \Omega + n}{\pi \mu_0 \zeta_T^2 \varphi^2 \alpha' h f_u \sin(n + m + n + n^2) \theta_{ad}} \quad (3.19)$$

și transcriind relațiile (3.17) și (3.18), rezultă forma sintetică proprie calculului preliminar :

$$F_0 = \frac{\varphi^2 \left[ 1 - \left( \frac{d_1}{d} \right)^2 \right] d^5}{a_1 \delta_0^2} \quad (3.20a)$$

sau :

$$d \left[ 1 - \left( \frac{d_1}{d} \right)^2 \right]^{\frac{1}{5}} = \sqrt[5]{\frac{a_1 F_0 \delta_0^2}{\varphi^2}} \quad (3.20 b)$$

Întrucât  $\varphi$  depinde de mărimea interiorului  $\delta_0$  și de diametrele  $d$  respectiv  $d_1$ , apar unele dificultăți la stabilirea dimensiunii determinante  $d$  prin rezolvarea directă a expresiei (3.20 b).

Problema poate fi soluționată ușor printr-o metodă succedătoare celei utilizate la calculul electromagnetilor cu mieci plin.



In acest scop, relația (3.20 a) se aduce la forma convenabilă :

$$\frac{F_0}{\delta_0^3} = \frac{1}{C_1} \left\{ \frac{d \left[ 1 - \left( \frac{d_1}{d} \right)^2 \right]^{\frac{1}{5}}}{\delta_0} \right\}^5 \quad (3.21)$$

in care se notează :

$$\frac{d \left[ 1 - \left( \frac{d_1}{d} \right)^2 \right]^{\frac{1}{5}}}{\delta_0} = x_0 \quad (3.22)$$

Dacă se are în vedere că  $d_1$  este impus constructiv, esențială fundamentală inițială, rezultă că :

$$x_0 = f \left( \frac{d_1}{d} \right)$$

In intervalul presupusei variații a raportului exprimat prin relația (3.22) de exemplu :  $x_0 \in [200 ; 1000]$ ,  $C_1$  fiind constant, dacă se dau valori discrete pentru  $x_0 = 200, 400, 600, \dots$ , cu relația (3.21) se determină valorile raportului  $\frac{F_0}{\delta_0^3} = f(x_0)$  ce în fig.3.4.

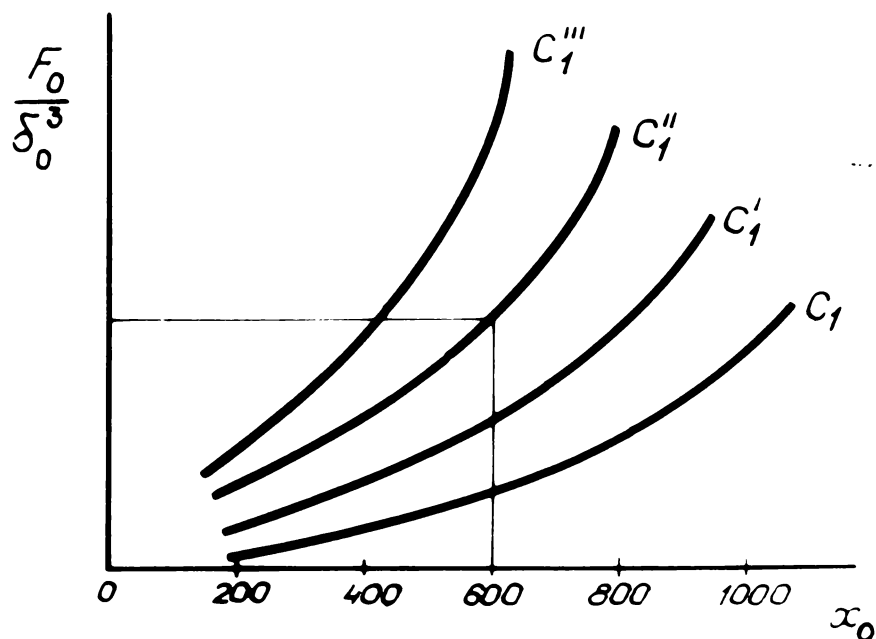


Fig.3.4

Punând problema invers, adică fiind date valorile  $F_0$  și  $\delta_0$ , se poate calcula raportul  $\frac{F_0}{\delta_0^3}$  și apelând la diagrama din fig.3.4, se determină  $x_0 = f \left( \frac{d_1}{d} \right) \delta_0^{\frac{1}{5}}$  și de aici dimensiunea determinantă  $d$ .

Acceptând constanta  $C_1$  ca parametru se obține familia

de curbe plane  $x_0 = F \left( \frac{F}{\int_0^3}, G_1 \right)$ .

Intrucit dimensiunea nucleului este cunoscută, rezultă secțiunea conductorului  $q_{Cu}$  și numărul de spire  $N$  al înfășurării de excitație.

Asociind relației (3.12) :

$$T_{mm} = \frac{U}{E_b} N = \frac{U q_{Cu}}{\pi \int_0 (1+n) d} \quad (3.23 a)$$

rezultă dependența dintre secțiunea conductorului și tensiunea magnetomotore :

$$q_{Cu} = \frac{\pi \int_0 (1+n) d}{U} T_{mm}$$

Cu relația (3.16), avind în vedere (3.19), se exprimă tensiunea magnetomotore :

$$T_{mm} = \frac{4d}{\zeta_T \chi} \sqrt{\frac{d}{\pi \mu_0 G_1}} \quad (3.23 b)$$

Iar prin înlocuiri, se ajunge la relația finală de calcul a secțiunii conductorului :

$$q_{Cu} = \frac{4 \int_0 (1+n) d^2}{\zeta_T \chi U} \sqrt{\frac{\pi d}{\mu_0 G_1}} \quad (3.24)$$

Înlocuind (3.24) în (3.14) se obține expresia finală de calcul a numărului de spire :

$$N = \frac{\zeta_T \chi \xi_u mm U}{4 \int_0 (1+n)} \sqrt{\frac{\mu_0 G_1}{\pi d}}$$

sau :

$$N = G_2 U \sqrt{\frac{G_1}{d}} \quad (3.25)$$

în care s-a notat sintetic :

$$G_2 = \frac{\zeta_T \chi \xi_u mm}{4 \int_0 (1+n)} \left( \frac{\mu_0}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Relațiile de mai sus bazate pe dimensiunea determinantă a nucleului electromagnetului  $d$ , sînt valabile pentru o gamă largă a inducției magnetice. Dacă inducția magnetică depășește

limita corespunzătoare saturației fierului, relațiile anterioare nu mai sînt valabile.

Pentru a nu se ajunge în astfel de situații, valoarea inducției magnetice în întrefier poate fi determinată cu o precizie satisfăcătoare (înaintea efectuării calculului dimensiunii determinante a nucleului), folosindu-se expresia :

$$B_0 \approx 1,12 \mu_0^{\frac{1}{2}} \sqrt{\frac{10 I_0^3}{C_1^2 \delta_0^4}} \quad (3.26)$$

obținută prin explicitarea lui  $d$  din relația (3.20 a) și înlocuirea în relația (3.27) dacă se aproximează produsul  $\varphi_5^2 \Delta^{\frac{1}{2}} \approx 1$ .

Valoarea estimată pentru inducția magnetică poate fi confruntată apoi cu valoarea reală ce se calculează după determinarea mărimilor  $d$  și  $\delta$ , care se introduc în expresia inițială (3.5 a) :

$$B_0 = \frac{1,12}{\varphi_d} \sqrt{\frac{I_0^3 \mu_0}{\Delta^2}} \quad (3.27)$$

Conform datelor din literatura de specialitate [21,65, 125 și 138], inducția magnetică în întrefier nu depășește (0,9... 1,1) T la electromagneții cuplașelor cu fricțiune, față de numai (0,6...0,8) T cît se admite în construcția uzuală a electromagneților de curent continuu cu miezul plin [58,60,61 și 77].

eventuala necoordonanță ce poate apărea între valoarea preliminară a inducției magnetice (3.26) și cea reală (3.27), se datorește alegerii necorespunzătoare a unor coeficienți în calculul preliminar incluși în valoarea constantei  $C_1$ . Pentru aducerea în concordanță a primei relații cu a doua, este necesar să se corecteze unii coeficienți, astfel ca aceștia să se încadreze în limitele reale de variație. Se va acorda atenție în primul rînd coeficientului de formă al înfășurării de excitație  $m$ , sens în care se fac unele precizări în § 3.2.4.2.

La electromagneții în uante cu alezaj, dacă trebuie să dezvolte forțe portante mari la întrefieruri mici, pentru a păstra o corelație dimensională impusă și o anumită valoare a inducției magnetice în întrefier, bobina se va utiliza aproape întotdeauna incomplet din punctul de vedere al încălzirii.

**3.2.4. Criterii pentru alegerea parametrilor calculului preliminar.**

**3.2.4.1. Calculul coeficienților  $\rho$ ,  $\xi_T$  și  $\sigma$ .**

a). Coeficientul  $\rho$  ia în considerare umflarea liniilor de câmp magnetic în zona întrefierului.

La stabilirea expresiei acestui coeficient s-au avut în vedere relațiile cu privire la calculul permeanțelor tuburilor de flux magnetic marginite de suprafețe plane și a permeanțelor totale, ce s-au aplicat până în prezent numai electromagnetilor cu miezul plin.

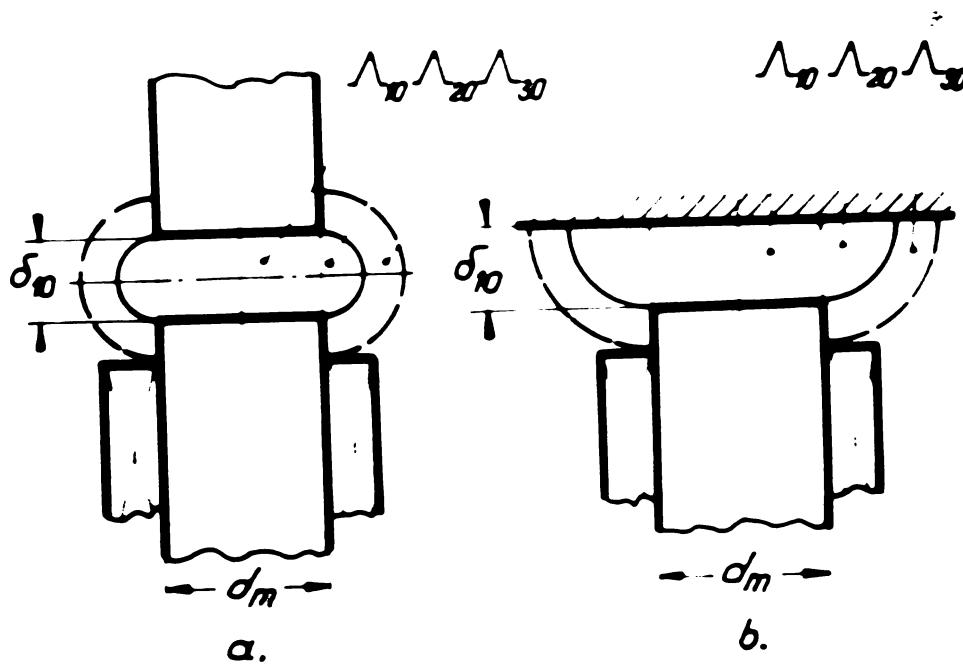


Fig. 3.5

În fig. 3.5, a și b, s-au trasat tuburile de flux magnetic dintre bazele a două miezuri feromagnetice de formă cilindrică dispuse față în față, respectiv între baza unui miez cilindric și o armătură plană.

Permeanțe totală în cazurile analizate va fi :

$$\Lambda_T = \sum_{i=1}^n \Lambda_{i0} = \Lambda_{10} + \Lambda_{20} + \Lambda_{30} \quad (3.26)$$

unde :  $\Lambda_{10}$ ,  $\Lambda_{20}$  și  $\Lambda_{30}$  sînt permeanțele tuburilor de flux prezentate în fig. 3.5 a, b.

Pentru calculul preliminar în relația (3.28) este suficient să se rețină doar primii doi termeni  $\mu_0$ , caz în care :

$$\Delta_T = \frac{\pi \mu_0 d_m^2}{4 \delta_0} + \mu_0 M_{1,2} d_m (1 + T \delta_0) \quad (3.29)$$

Valorile constantelor  $M_{1,2}$  respectiv  $T$  au fost determinate în funcție de cazul analizat și au valorile prezentate în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1

Sursa bibliografică	Cazul a (fig.3.5 a)	Cazul b (fig.3.5 b)	Cazul a și b
	$M_1$	$M_2$	$T$
[129]	0,815	1,63	0
[100]	0,815	1,63	0,5
[82]	0,665	1,33	0,3

Permeanța  $\Delta_T$  poate fi înlocuită prin permeanța echivalentă  $\Delta'_0$  a unui tub de flux magnetic omogen cu diametrul  $d_{m0}$  și înălțimea  $\delta_0$ , la care umplerea liniilor de câmp magnetic în zonele marginale este luată în considerare prin coeficientul  $\varphi_0$ , adică :

$$\Delta'_0 = \mu_0 \frac{\pi d_{m0}^2}{4 \delta_0} = \mu_0 \frac{\pi d_m^2 \varphi_0^2}{4 \delta_0} \quad (3.30)$$

Comparând relațiile (3.29) și (3.30) rezultă expresia analitică a coeficientului  $\varphi_0$  :

$$\varphi_0^2 = 1 + \frac{4 M_{1,2}}{\pi \xi_1} \left( 1 + \frac{4 T}{\pi \xi_1^2} \right) \quad (3.31)$$

unde :

$$\xi_1 = \frac{d_m}{\delta_0}$$

La electromagnetii în manta cu alazaj, relația (3.31) nu poate fi aplicată, deoarece apar deosebiri ale formei polilor.

Păstrînd aceeași cale de raționament și ținînd cont de detaliile din fig.3.6, permeanța totală este :

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n \Lambda_i = \Lambda_1 + \Lambda_2 + \Lambda_3 \quad (3.32)$$

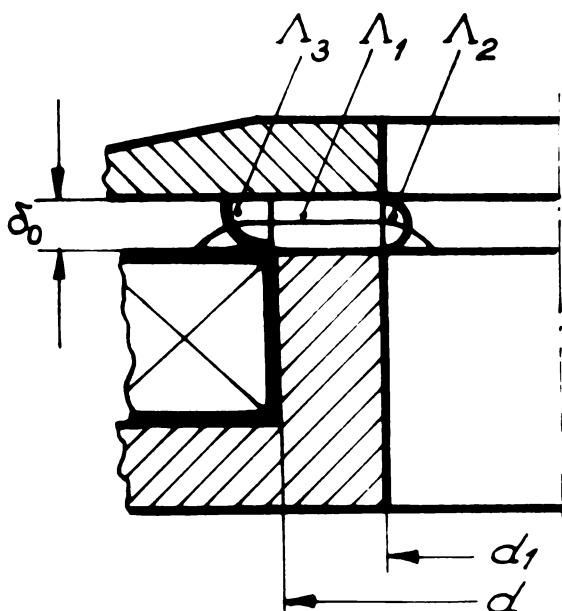


Fig. 3.6

Această permeanță ce se referă la un singur întrefier, trebuie calculată în două etape cu relația echivalentă :

$$\Lambda = \Lambda_A + \Lambda_B \quad (3.33)$$

unde  $\Lambda_A$  reprezintă permeanța între baza unui cilindru cu diametrul  $d$  și o armătură plană (fig. 3.7 a), iar  $\Lambda_B$  permeanța dintre bazele a doi cilindri cu diametrele  $d_1$  la care permeanța corespunzătoare umflării fluxului ( $\Lambda_{B2}$ ) se acceptă cu semn schimbat datorită modului de umflare real al liniilor de câmp (fig. 3.7 b).

Cu notațiile din fig. 3.7 :

$$\Lambda_A = \Lambda_{A1} + \Lambda_{A2} \quad \text{și} \quad \Lambda_B = \Lambda_{B1} + \Lambda_{B2}$$

deci :

$$\Lambda_A = \mu_0 \frac{\pi d^2}{4 \delta_0} + \mu_0 M_2 d (1 + \pi \delta_0)$$

respectiv :

$$\Lambda_B = \mu_0 \frac{\pi d_1^2}{4 \delta_0} - \mu_0 M_1 d_1 (1 + \pi \delta_0)$$

Avându-se în vedere că  $M_2 = 2 M_1$  rezultă :

$$\Lambda = \mu_0 \frac{\pi}{4\delta_0} (d^2 - d_1^2) + \mu_0 M_1 (1 + T\delta_0) (d + d_1) \quad (3.34)$$

Dacă se echivalează permeanța reală  $\Lambda$  cu permeanța echivalentă  $\Lambda_0$ , se corespunde unui tub de flux omogen de formă toroidală (cu lățimea  $d_0 - d_1 > d - d_1$  și grosimea  $\delta_0$ ) prin egalitatea:

$$\Lambda_0 = \mu_0 \frac{\pi}{4\delta_0} (d_0^2 - d_1^2) = \mu_0 \frac{\pi}{4\delta_0} (d^2 - d_1^2) \varphi^2 \quad (3.35)$$

rezultă coeficientul  $\varphi$  corespunzător cazului analizat :

$$\varphi^2 = 1 + \frac{4\delta_0 M_1 (1 + T\delta_0)}{\pi (d - d_1)} \quad (3.36 a)$$

Înlocuind în (3.36 a) valorile coeficienților  $M_1$  respectiv  $T$ , se ajunge la relația finală de calcul a coeficientului:

$$\varphi^2 = 1 + 1,04 \frac{\delta_0}{d - d_1} \quad (3.36 b)$$

Dacă se are în vedere că la electromagneții folosiți pentru cuplaje întrefierul este mic în raport cu lățimea polilor ( $\frac{\delta}{d-d_1} < 0,2$ ), domeniul de existență al coeficientului  $\varphi$ , rezultă:

$$\varphi \in (1 \dots 1,1)$$

Coeficientul  $\zeta_T$  în considerare tensiunea magnetică în fier și în întrefierurile parazitare.

Pentru construcții uzuale de electromagneți, tensiunea magnetică în fier pentru poziția inițială a armăturii reprezintă 10...20 % din tensiunea magnetotoare, față de numai 5...10 % cît reprezintă tensiunea magnetică corespunzătoare întrefierurilor parazitare, adică :

$$1 - \zeta_T = \frac{T_{mm} - T_{m0}}{T_{mm}} \in [0,15 ; 0,3]$$

Pe baza unor concluzii ce se pot trage din analiza lucrărilor [21,65 și 125] și a unor studii proprii [48] rezultă că pentru electromagneții în manta cu alezaj, domeniul definit anterior se deplasează spre valori mai mici :

$$1 - \zeta_T \in [0,1 ; 0,25]$$

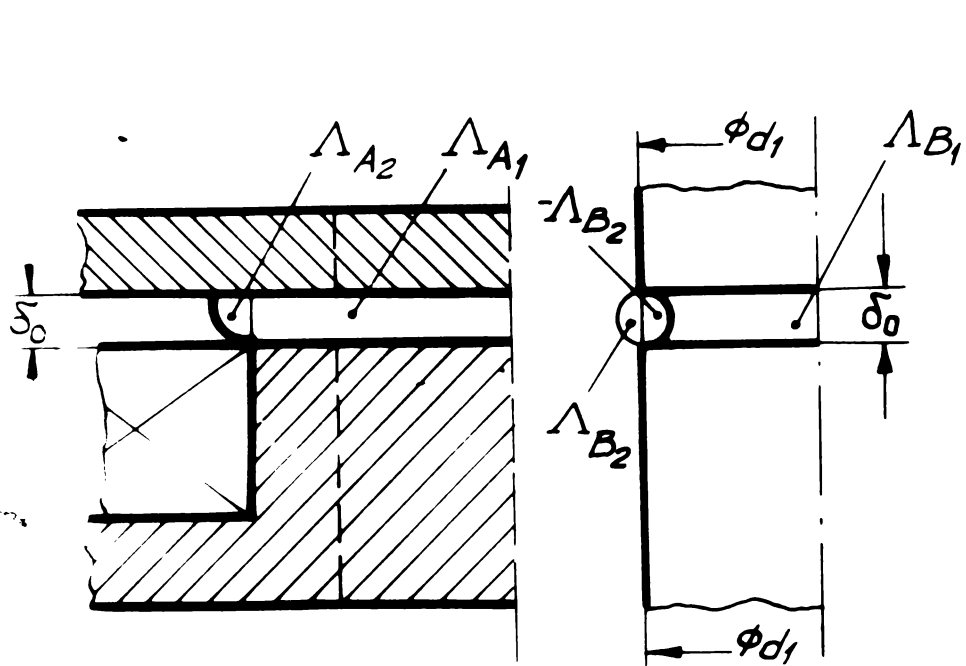


Fig.3.7

Limite inferioară a domeniului corespunde cuplajelor alimentate prin perii și inele colectoare, iar cea superioară cuplajelor alimentate prin elemă.

Deci, conform relației de definiție (3.7 a) :

$$\zeta_T = \frac{T_{MP}}{T_{MN}} \in (0,75 \dots 0,9)$$

Acest coeficient, corespunzător unei situații concrete, poate fi determinat analitic cu relația ce aproximează curbe de magnetizare a materialului feromagnetic, cărora i se asociază o serie de coeficienți acceptați în calculul preliminar.

Dacă se consideră că :

- locașul destinat încorporării înfășurării de excitație este umplut complet ;
- inducția magnetică în diferite porțiuni ale fierului circuitului magnetic nu depășește inducția magnetică în miez ;
- în poziția critică (stresă) a armăturii, sistemul nu este saturat, atunci corelația dintre intensitatea cimpului și inducția magnetică corespunzătoare porțiunilor circuitului feromagnetic se exprimă prin :

$$H = \frac{1}{\mu} B$$

unde :

$$K = \frac{k_H}{k_B} \operatorname{tg} \alpha_0 \approx \mu$$



$\lambda_0$  este panta porțiunii linearizate a curbei de magnetizare, în domeniul nesaturat ;

$k_H, k_B$  - factorii de scară ai axelor de coordonate H și B.

Cu aceste observații, coeficientul  $\zeta_T$ , conform relației (3.7 a), se calculează cu :

$$\zeta_T = \frac{T_{mp}}{T_{mm}} = \frac{T_{mp}}{T_{mp} + T_{mf} + T_{mp}}$$

S-au notat prin  $T_{mf}$  și  $T_{mp}$  tensiunile magnetice ale fierului, respectiv ale întrefierurilor parazitare.

Înlocuind parametrii calculului preliminar în relația de mai sus, și avînd în vedere faptul că lungimea întrefierurilor parazitare este  $\delta_p \ll 2 \delta_0$ , cu notația  $\delta_p = 2 \lambda_0 \delta_0$  rezultă :

$$\zeta_T \approx \frac{\frac{8 \delta_0 \phi_0}{\pi \mu_0 (d^2 - d_1^2) \varphi^2}}{(1 + \lambda_0) \frac{8 \delta_0 \phi_0}{\pi \mu_0 (d^2 - d_1^2) \varphi^2} + \frac{4 \phi_0 (2 h_0 + 2 g_0 + 0,6 d)}{\pi \mu \sigma (d_2^2 - d_1^2)}} = \frac{1}{(1 + \lambda_0) + \frac{0,7 \mu_0 \varphi^2 d_1}{\sigma \mu \delta_0} (n + n + 0,3)} \quad (3.37 a)$$

Dacă se neglijează influența întrefierurilor parazite, rezultă expresia simplificată :

$$\zeta_T \approx \frac{1}{1 + \frac{0,7 \mu_0 \varphi^2 d_1}{\mu \sigma \delta_0} (n + n + 0,3)} \quad (3.37 b)$$

În relațiile (3.37 a și b) prin  $\sigma$  s-a introdus dispersia fluxului magnetic, iar termenul 0,6 d rezultă din completarea lungimii medii a liniei de cîmp magnetic din circuit (bazat pe observația că la cuplajele de mîrime mijlocie raportul  $\frac{d_1}{d} = 0,7$  adică  $8 \times \frac{d - d_1}{4} = 0,6 d$ ).

c). Coeficientul de dispersie (scăpări)  $\sigma$  poate fi determinat numai dacă se cunoaște distribuția fluxului magnetic, determinată de permeanțele diferitelor porțiuni ale circuitului.

Intocmirea schemei echivalente presupune cunoscute permeanțele, respectiv reluctanțele următoarelor porțiuni :

- a fierului corpului electromagnetului ;
- a întrefierurilor principale și parasite ;
- a armăturii (la cuplajele cu lamele dublu străbătute de flux se mai adaugă permeanțele longitudinale și transversale ale lamelilor).

Permeanțele pieselor feromagnetice se calculează avându-se în vedere dimensiunile geometrice și parametrii materialului în regimul de funcționare dat.

Se va insista asupra determinării permeanțelor de scăpări, întrucât acestea au o pondere hotărâtoare în valoarea coeficientului de dispersie. Dintre permeanțele de scăpări, cea mai importantă este aceea care apare în interiorul corpului, între poli înelari interior și exterior. Scăpările de flux magnetic în alte părți ale electromagnetului și anume în exterior, ca urmare a plasării dispozitivului în vecinătatea unor piese feromagnetice respectiv spre arborile pe care este fixat cuplajul sau piesele montate pe antrenor, pot fi considerate neînsemnate, dacă s-au respectat prescripțiile unui montaj corect.

Pentru aproximarea cât mai convenabilă a coeficientului de dispersie trebuie acordată o atenție deosebită particularităților câmpului magnetic din interiorul corpului. Cunoscând că permeabilitatea în fier este mult mai mare decât în aer (teoretic infinită), pentru înfășurarea toroidală cu  $N$  spire parcursă de curentul  $I$ , intensitatea câmpului magnetic în interiorul corpului electromagnetului prezentat în fig. 3.8, depinde de [103] :

$$H = H(r, x)$$

unde s-a notat prin :

- $r$  - distanța de la axa de simetrie la punctul considerat ;
- $x$  - cota aceluiași punct în raport cu placa de închidere a circuitului magnetic ( $P_0$ ).

Aplicând legea circuitului magnetic unui contur  $\Gamma$  care să urmeze o linie de câmp ce se închide prin circuitul feromagnetic analizat, se obține neglijând t.m.m. din fier :

$$\int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{D_1}{2}} \frac{D_1}{2} H dr = C \frac{NI}{h_p} x \quad (\text{pentru } x \leq h_p) \quad (3.38 a)$$

sau :

$$\left. \begin{array}{l} \frac{D_1}{2} \\ H dr = CNI \text{ (pentru } x > h_b) \\ \frac{d}{2} \end{array} \right\} \quad (3.38 \text{ b})$$

Se poate trage concluzia că pentru :

$$x \geq h_b, \quad H \text{ nu depinde de } x.$$

Aplicând legea fluxului magnetic unui înveliș cilindric de rază  $r$ , grosime  $d_r$  și înălțime  $x \leq h_b$  (caz ce interesează în speță) rezultă, ținând seama că legea se aplică în mediu nemagnetic cu  $\mu$  constant :

$$H 2 \pi r dx = (H + dH) 2 \pi (r + dr) dx \quad (3.39)$$

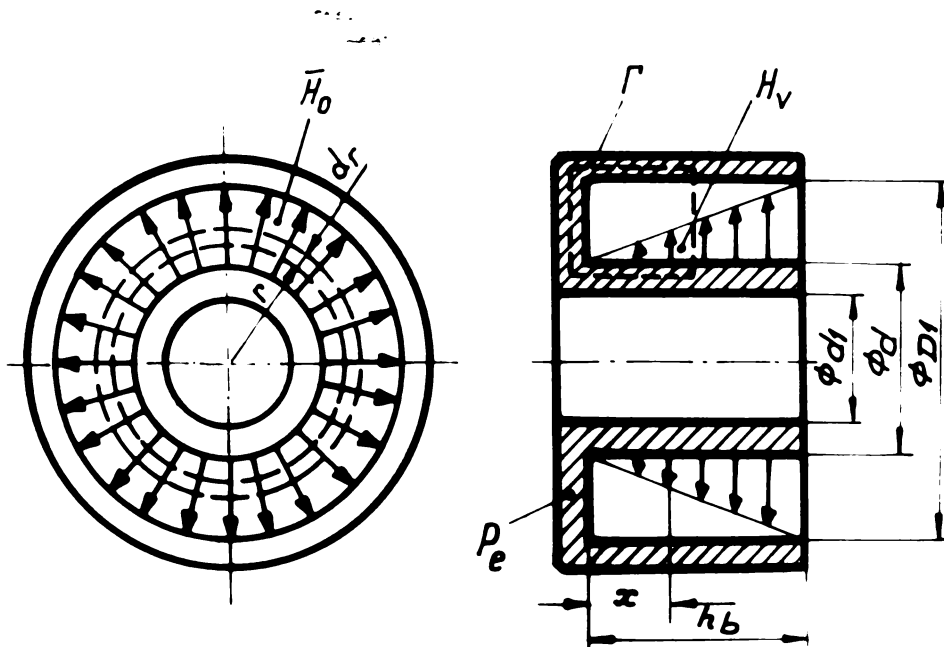


Fig.3.8

Decă se neglijează infiniții mici de ordin superior,

$$r dH + H dr = 0,$$

ceea ce echivalează cu :

$$d (H r) = 0,$$

se obține prin integrare :

$$r H = C_0 \quad (3.40)$$

Introducând  $H$  din (3.40) în (3.38 a) și rezolvând integrala, rezultă :

$$C = \frac{C \frac{H}{b_0}}{l_H \frac{D_1}{d}} \quad (3.41)$$

adică :

$$H = \frac{C \frac{H}{b_0}}{x l_H \frac{D_1}{d}} \quad (3.42)$$

În concluzie, intensitatea câmpului magnetic în spațiul afectat înfășurării de excitație, prezintă o distribuție liniară crescătoare funcție de înălțime, având valori cuprinse între zero și  $H_{max}$  (pt.  $x = b_0$ ).

Fiind vorba de această observație importantă și de forma circuitului magnetic (fig.3.9 a), se alcătulește schema echivalentă (fig.3.9 b) în care s-au utilizat notațiile :

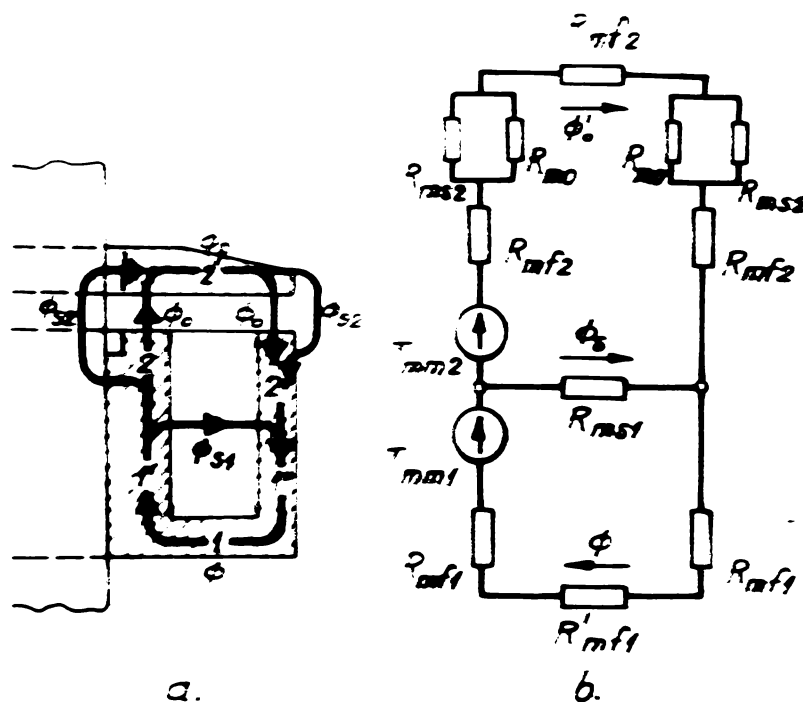


Fig.3.9

- $R_{m0}$  este reluctanța unui întrefier activ ;
- $R_{ms1}$  ,  $R_{ms2}$  - reluctanțele de scăpări ;
- $R_{mf1}$  ,  $R'_{mf1}$  ,  $R_{mf2}$  ,  $R'_{mf2}$  - reluctanțele fierului în diferite porțiuni ale circuitului magnetic ;
- $\phi_c$  - fluxul magnetic în întrefierul activ ;
- $\phi_s$  - fluxul magnetic în armatură mobilă ;

$\phi_{s1} + \phi_{s2}$  - fluxurile de dispersie (scăpări) ;  
 $\phi$  - fluxul magnetic în porțiunile 1, 1' și 1'' ;  
 $I_{ms1}, I_{ms2}$  - solenaiile corespunzătoare porțiunilor 1 și 1''  
 respectiv 2 și 2''.

Neglijând reluctanțele porțiunilor feromagnetice 1, 1' și 1'' care sînt mult mai mici decît reluctanțele de scăpări  $R_{ms1}$  și reluctanțele  $R_{ms2}$  (ambele), care sînt mult mai mari decît reluctanțele întregierurilor active, rezolvarea circuitului analizat cu ajutorul teoremelor lui Kirchhoff, conduce la expresia coeficientului de dispersie :

$$\sigma = \frac{\phi_p}{\phi_0 + \phi_{s1}} = \frac{1}{1 + 2 \frac{R_{ms2}}{R_{ms1}}} \quad (3.43 a)$$

respectiv :

$$\sigma = \frac{1}{1 + 2 \frac{\Delta_s}{\Delta_0}} \quad (3.43 b)$$

Permeanța de scăpări se poate calcula cu relația [61 și 77] :

$$\Delta_s = \frac{2\sqrt{1} \mu_0 n d}{l_n (1 + 2n)} \quad (3.44)$$

Aplicînd în (3.43 b) permeanțele  $\Delta_0$  și  $\Delta_s$  conform (3.35) și (3.44) rezultă :

$$\sigma = \frac{1}{1 + \frac{16 n d \delta_p}{\varphi^2 (d^2 - d_1^2) l_n (1 + 2n)}} \quad (3.45)$$

Coeficientul de dispersie se adresează la calculul preliminar cuprins în domeniul  $\sigma \in [0,75 \dots 0,85]$ , iar în final se controlează corectitudinea estimării.

### 3.2.4.2. Alegerea coeficienților de formă n și m.

Prin coeficienții de formă n și m se stabilesc cotele de gabarit al bobinei în raport cu dimensiunea determinantă d

a nucleului electromagnetului. La baza alegerii acestor coeficienți stau o serie de criterii referitoare la : încălzirea admisă pentru bobină și suprafața de cedare maximă a energiei disipate, relația dintre forța portantă și întrefierul critic, raportul dintre cantitatea materialului conductor și fierul circuitului magnetic etc.

În numeroase lucrări referitoare la proiectarea electromagneților de curent continuu [33, 61, 77 și 100] și după opinia autorului [48] chiar și în cazul electromagneților în manta cu alezaj, cele mai convenabile dimensiuni ale înfășurării sînt determinate de puterea minimă absorbită de înfășurarea de excitație, care asigură tensiunea magnetomotrice necesară. De aici decurg o serie de avantaje ca cele citate anterior (§ 3.1).

Pe baza relațiilor (3.12) și (3.16), puterea absorbită se exprimă prin :

$$P = I^2 R_0 = \frac{2 \pi \alpha' h f_u m n (n + m + n + n^2) \theta_{ad} d^3}{N q_{Cu}} \quad (3.46)$$

unde, înlocuindu-se valoarea lui  $q_{Cu}$  conform expresiei (3.13), rezultă :

$$P = 2 \pi \alpha' h (n + m + n + n^2) \theta_{ad} d \quad (3.47 a)$$

Ținînd seama de (3.17) scrisă în formă :

$$\frac{P_0 \delta_0^2}{\Delta^2 d^3} = \frac{\pi \mu_0 \varphi^2 \tau_T^2 \chi^2 \alpha' h f_u m n (n + m + n + n^2) \theta_{ad}}{8 \rho_\theta (1 + n)}$$

expresia puterii devine :

$$P = \frac{16 \rho_\theta (1 + n) P_0 \delta_0^2}{\mu_0 \varphi^2 \tau_T^2 \chi^2 f_u m \Delta^2 d^3} \quad (3.47 b)$$

sau în formă convenabilă analizei :

$$P = \frac{16 \rho_\theta}{\mu_0 \varphi^2 \tau_T^2 \chi^2 f_u} \frac{P_0^2}{h_0} \frac{2 d (1 + n)}{2 \Delta^2 d^3 (n + \frac{1}{2} - \frac{1}{2})} \quad (3.47 c)$$

Cu notațiile din fig. 5.1 rezultă :

$$P = C_P \frac{D_1 + d}{(d^2 - d_1^2)(D_1 - d)} \quad (3.48 a)$$

unde :

$$C_P = \frac{16 \rho_0 P_0 \delta_0^2}{\mu_0 \varphi^2 \tau^2 \chi^2 r_u h_0} = \text{const.}$$

Se desprinde concluzia remarcabilă că la valorile date forței portante  $P_0$ , întrafierului activ  $\delta_0$ , lungimii bobinei  $h_0$ , diametrului  $D_1$  și aleazajului maxim  $d_1$ , puterea absorbită de înfășurarea de excitație depinde de lățimea acestuia :

$$P = \frac{C_P}{D_1^2} \frac{1 - \frac{E_b}{D_1}}{\frac{E_b}{D_1} \left(1 - \frac{2 E_b}{D_1}\right)^2 - \left(\frac{d_1}{D_1}\right)^2} \quad (3.48 b)$$

s-a avut în vedere că :

$$E_b = \frac{D_1 - d}{2}$$

Din analiza relației (3.48 b) se constată că la o valoare distinctă a diametrului exterior a bobinei ( $D_1$ ), mărindu-se sau micșorându-se cuceret diametrul interior  $d$  (la limita  $d \rightarrow D_1$  și  $E_b \rightarrow 0$  sau  $d \rightarrow d_1$  și  $E_b \rightarrow 0,5 d_1$ , respectiv  $\frac{d_1}{D_1} = 0,5$ ) puterea necesară pentru anclanșare tinde spre infinit.

Soluțiile pentru care puterea consumată va fi minimă se determină anulind derivate în raport cu  $d$  a funcției (3.48a) :

$$\frac{dP}{d(d)} = C_P \frac{(d^2 - d_1^2)(D_1 - d) - (D_1 + d)(2dD_1 - 3d^2 + d_1^2)}{[(d^2 - d_1^2)(D_1 - d)]^2} = 0$$

sau :

$$d^3 + D_1 d^2 - D_1^2 d - D_1 d_1^2 = 0 \quad (3.50)$$

avind în vedere :

$$d_1^2 = d^2 - \Delta^2 d^2$$

relația (3.50) poate fi scrisă în formă :

$$d (d^2 + D_1 \Delta^2 d - D_1^2) = 0 ,$$

pentru care singura soluție cu sens fizic este :

$$d = \frac{-D_1 \Delta^2 + \sqrt{(D_1 \Delta^2)^2 + 4 D_1^2}}{2} = \frac{D_1}{2} (\sqrt{\Delta^4 + 4} - \Delta^2) \quad (3.51)$$

seu :

$$D_1 = \frac{2}{\sqrt{\Delta^4 + 4} - \Delta^2} d$$

Relație cea mai convenabilă dintre grosimea  $\epsilon_p$  a înfășurării și dimensiunea determinantă  $d$ , rezultă înlocuind în (3.51) diametrul exterior al bobinei  $D_1$  cu valoarea sa din relația (3.49):

$$d = \frac{\sqrt{\Delta^4 + 4} - \Delta^2}{2} (d + 2 \epsilon_p) \quad (3.52 a)$$

seu :

$$\epsilon_p = \frac{d}{2} \left( \frac{2}{\sqrt{\Delta^4 + 4} - \Delta^2} - 1 \right) \quad (3.52 b)$$

de unde coeficientul de grosime optin în funcție de raportul  $\frac{d_1}{d}$  are expresia :

$$n = \frac{\epsilon_p}{d} = \left\{ \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2} + 4 - \Delta^2} - \frac{1}{2} \right\} \quad (3.53)$$

reprezentată în figura 3.10 pentru  $D_1 = \text{const.}$

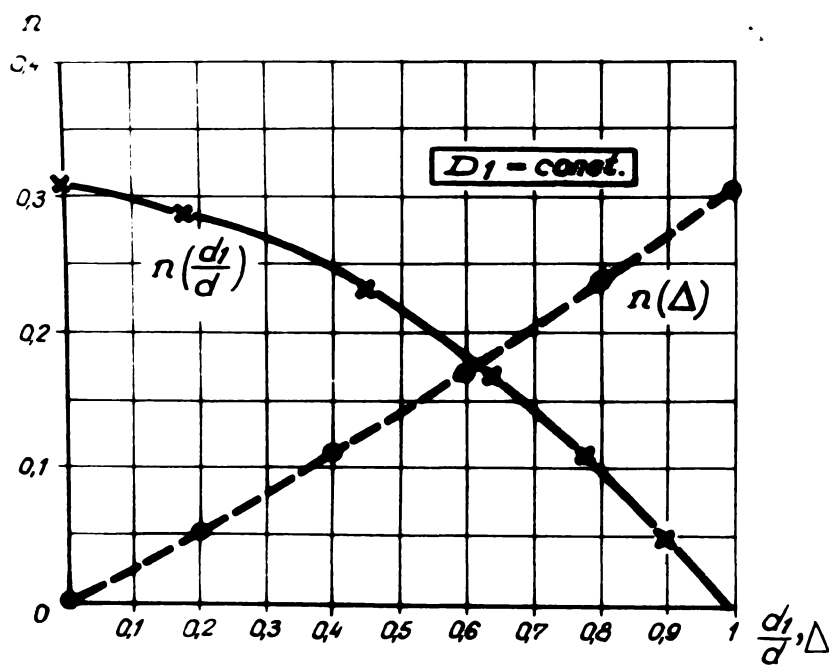


Fig. 3.10



În fig.3.11 s-a reprezentat grafic expresia (3.48) în formă  $\frac{\rho}{\rho_{min}} = f(n)$  pentru cele mai uzuale valori ale raportului  $\frac{d_1}{D_1}$  acceptat ca parametru.

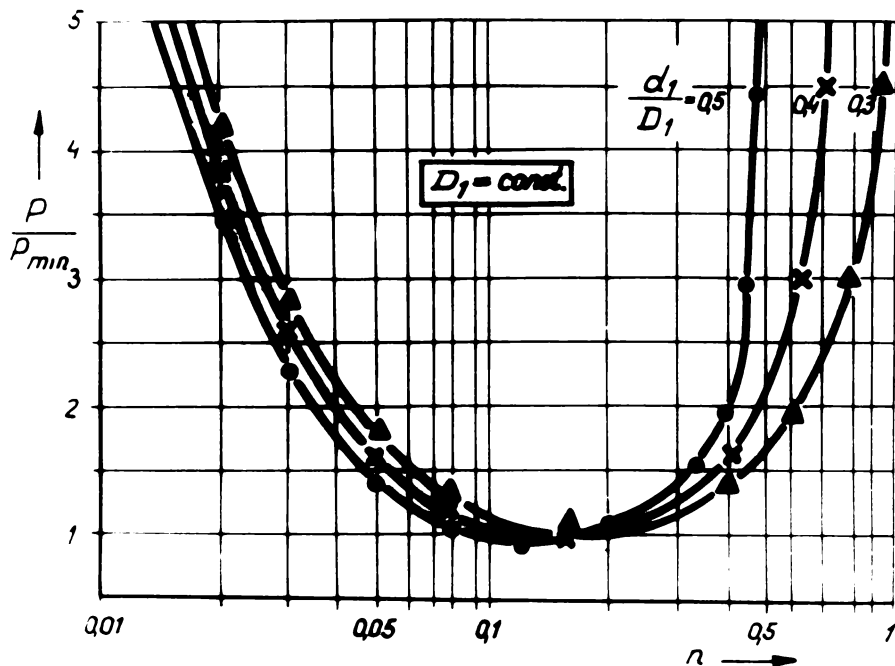


Fig.3.11

Principalele concluzii ce se desprind din analiza reprezentărilor grafice din fig.3.10 și 3.11 sînt :

- Pentru electromagneții în manta fără alezaj ( $d_1 = 0$ ) valoarea optimă a coeficientului grosimii înfășurării de excitație este  $n = 0,306$  ca în cazul tuturor electromagneților de curent continuu cu miezul masiv ;

- La electromagneții în manta cu alezaj, pe măsură ce crește raportul  $\frac{d_1}{D}$  (Conform fig.3.10) scade valoarea optimă a coeficientului  $n$ . Dacă se are în vedere că domeniul de existență usual al raportului  $\frac{d_1}{D}$  în cazul cuplajelor și frinelor electromagnetice este cuprins între 0,5...0,9, valoarea optimă a coeficientului grosimii bobinei se situează întotdeauna în intervalul  $n \in [0,22 ; 0,05]$ .

Dacă se verifică raportul dintre greutatea fierului și a cuprului, la grosimea optimă a înfășurării și valoarea medie a

factorului de umplere ( $f_u \simeq 0,6$ ), rezultă :

$$\frac{G_{Fe}}{G_{Cu}} = \frac{\frac{\pi}{4} (d^2 - d_1^2) h_b \gamma_{Fe}}{\frac{\pi}{4} (D_1^2 - d^2) f_u h_b \gamma_{Cu}} =$$

$$= \frac{\Delta^2 \gamma_{Fe}}{\left[\left(\frac{D_1}{d}\right)^2 - 1\right] f_u \gamma_{Cu}} = \frac{\Delta^2 \gamma_{Fe}}{\left[(1+2n)^2 - 1\right] f_u \gamma_{Cu}} = 2,30 \dots 2,49$$

dacă se admit valorile  $\frac{d_1}{d} \in [0,5 ; 0,9]$  ,  $n \in [0,22 ; 0,056]$  și  $\frac{\gamma_{Fe}}{\gamma_{Cu}} = 0,87$ .

Din relația anterioară, rezultă că la scăderea coeficientului  $n$  față de valoarea optimă, crește atât raportul  $\frac{G_{Fe}}{G_{Cu}}$  cât și puterea absorbită de înfășurarea de excitație. Dacă se are în vedere prețul de cost relativ ridicat al fierului folosit pentru confecționarea electromagneților în manta cu alexaj (ca o consecință a tehnologiei de elaborare), adoptarea raportului  $\frac{G_{Fe}}{G_{Cu}}$  drept criteriu de optimizare nu este justificată (sunt economisite și funcțional).

Coeficientul  $n$ , prin care se exprimă lățimea relativă a înfășurării de excitație are valoarea  $n \in [0,8 ; 4]$  .

Drept criteriu rațional pentru alegerea valorii acestui coeficient poate servi valoarea inducției din întrețierurile de lucru și din fierul circuitului magnetic corespunzătoare regimului de funcționare ales.

După cum s-a arătat anterior, inducția magnetică din întrețier poate fi calculată cu bună aproximație prin relația (3.26).

Este de reținut faptul că în expresia constantei  $G_1$ , care influențează mărimea inducției magnetice, intră și coeficientul  $n$ . La fixarea valorii acestei constante trebuie să se urmărească, dacă este posibil, plasarea funcționării dispozitivului în punctul optim.

Prin punct optim de funcționare [61] la un electromagnet de curent continuu, se înțelege, inducția pentru care energia magnetică acumulată în câmp are valoarea maximă :

$$\frac{d\phi}{d(I_{mf})} = \frac{\mu_0 A}{\delta_e} = \Delta_0 \quad (3.54)$$

adică derivata fluxului magnetic în raport cu tensiunea magnetică a fierului, în aer este egală cu permeanța întrefierului.

Pentru controlul alegerii inducției optime, în fig.3.12 este indicată o cale grafo-analitică.

Astfel, dacă în punctul de funcționare A

$$\alpha_A \approx \alpha_B$$

scoapă urmărit este atins. În cazul nerealizării acestei condiții se recomandă reluarea calculului preliminar acționând asupra coeficientului m.

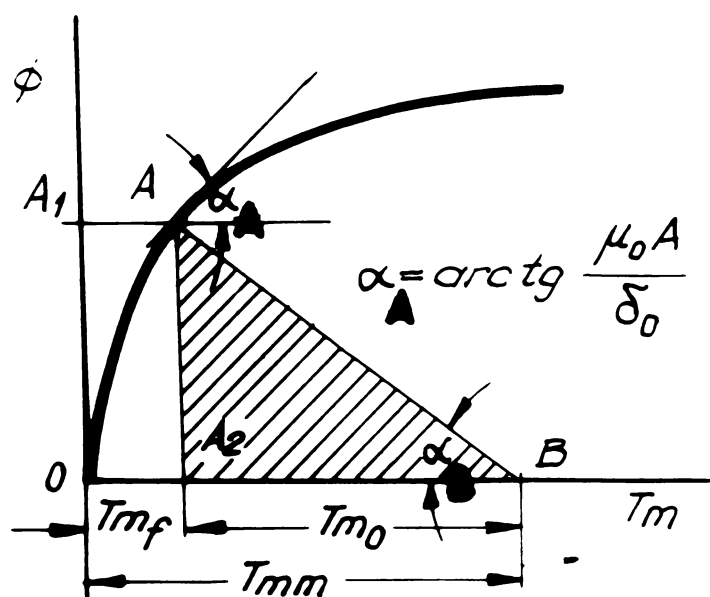


Fig.3.12

### 3.2.4.3. Stabilirea valorii medii admise a încălzirii înfășurării de excitație ( $\theta_{sd}$ ).

Încălzirea înfășurării de excitație este limitată de tipul și calitatea materialelor electrotehnice utilizate, de tehnologia de confecționare a bobinei și de condițiile de exploatare. O înfășurare executată cu un anumit conductor însă impregnată, permite funcționarea la o temperatură medie admisibilă mai mare decât înfășurarea similară neimpregnată. Aceeași observație este valabilă pentru înfășurările fixe (întâlnite la cuplajele alimentate prin cleme sau frâne) și cele în mișcare (cuplaje alimentate prin perii și inele colectoare) care de regulă sînt supuse unor acțiuni mecanice suplimentare ca : vibrații, șocuri etc.

În funcție de calitatea conductorului și a izolației acestuia, se poate stabili valoarea aproximativă a încălzirii admise  $\theta_{sd}$  ca temperatură raportată la temperatura mediului ambiant.

Limitele acceptate în prezent pentru temperatură de încălzire  $\theta_{ad}$  se situează la  $70^{\circ}-80^{\circ}\text{C}$  (deci la temperaturi efective de funcționare de aproximativ  $120^{\circ}\text{C}$ ) cu teste că nu întotdeauna din condițiile de cedare a căldurii disipate se ating valori atât de mari.

Intrucât la cuplajele electromagnetice atât înfășurarea de excitație cât și pachetul de lamele sînt surse disipative, transferul de căldură poate avea loc în ambele sensuri. Ca urmare, la calculul solenoidelor trebuie avută în vedere posibilitatea supraîncălzirii în timpul funcționării pînă la  $100^{\circ}\dots 120^{\circ}\text{C}$ .

#### 3.2.4.4. Calculul coeficienților $\alpha$ , $h$ și $\int_{\theta}$ .

Datorită diferenței de temperatură ce există între înfășurarea de excitație și mediul în care lucrează cuplajul, schimbul de căldură se realizează concomitent prin conductibilitate, convecție și radiație. Aprecierea cantitativă a proceselor de transfer de căldură este însă dificilă. În calcule practice se folosesc valori obținute pe cale experimentală ale coeficientului de transmisie a căldurii.

În literatură de specialitate sînt numărate indicații [61, 77, 100 și 129] cu valabilitate satisfăcătoare și la calculul electromagnetic al cuplajelor, atât în privința coeficientului  $\alpha$ , corecției sale prin coeficientul  $h$  în funcție de mediul de execuție a bobinei, precum și pentru rezistivitatea materialului conductor  $\int_{\theta}$  la diferite temperaturi de funcționare.

#### 3.2.4.5. Alegerea coeficienților $f_u$ și $\chi$ .

Prin coeficientul  $f_u$  se are în vedere umplerea locașului destinat înfășurării de excitație cu metalul conductorului (relația 3.13). Mărimea acestui factor depinde de tipul și izolarea conductorului, de modul de așezare a spirelor, de eventuala prezență a izolației între straturi, de felul bobinării (manuale sau mecanice) etc. Obișnuit, coeficientul de umplere are valoarea cuprinsă în domeniul  $f_u \in [0,45 ; 0,6]$ . În calculul preliminar se acceptă o valoare dintr-un interval mai restrîns  $f_u \in [0,5 ; 0,55]$ . Prin coeficientul  $\chi$  se are în vedere scăderea posibilă în exploatarea a tensiunii de comandă cu maximum 10%. La cuplajele alimentate prin perii și inele colectoare poate apărea o cădere

suplimentară de tensiune cu 1...2 %, datorită rezistenței contactului alunecător. În cazul curenților prin surse cu tensiune stabilizată,  $\chi = 1$ .

### 3.3. Calculul electromagnetic final.

Calculul cuplajelor din punct de vedere electromagnetic, conform metodelor existente [20,21,65,97,125 și 138] are precizate ca date fundamentale inițiale, numai :

- $F_0$  - forța critică ;
- $\delta_0$  - înțrefierul critic ;
- $d_1$  - diametrul alezajului maxim ;
- $U_n$  - tensiunea de alimentare.

Spre deosebire de acestea, prin noua metodă, la datele fundamentale inițiale se asociază și informațiile puse la dispoziție de calculul preliminar, deosebit de utile, în vederea optimizării soluției finale.

Informațiile asociate se referă la parametri :

- $d$  - dimensiunea determinantă a nucleului electromagnetului ;
- $Q_{Cu}$  - secțiunea conductorului ;
- $T_{ma}$  - tensiunea magnetotoare necesară ;
- $m, n$  - coeficienții adimensionali de formă și înfășurării de excitație.

Mărimilor rezultate din etapa preliminară de calcul, asupra cărora se operează corecții în etapa finală cu implicații favorabile asupra preciziei, li se atribuie pentru identificare, indicele p.

După cum rezultă, dacă la noua metodă se pune doar problema definitivării unei soluții avantajoase deja conturată, prin metodele de calcul folosite în prezent, proiectantul este pus în situația de a accepta de regulă forma și dimensiunile circuitului magnetic și de a le corela prin iterații cu dimensiunile ce se obțin pentru înfășurarea de excitație. Evident această metodologie nu permite stabilirea unor criterii de optimizare și ca urmare, soluțiile avantajoase apar aleator. Studiul comparativ al unor variante obținute pe calea clasică, poate fi efectuat numai prin cercetări experimentale datorită imperfecțiunilor modelului matematic de calcul.

1963-1964

Calculul electromagnetic final sau de proiectare se prezintă doar principal, pe faze, întrucât folosirea lui nu ridică probleme deosebite. Astfel, dimensiunea determinantă a nucleului electromagnetului  $d$  poate fi menținută la valoarea sa inițială sau se rotunjește la o valoare apropiată  $d_p$  pe considerente tehnologice. Conform specificațiilor din fig.3.13 se stabilesc celele ferestrei înfășurării de excitație :

$$H_b = h_{bp} + 2 a_1 + a_2 \quad (3.55)$$

$$G_b = g_{bp} + 2 a_3 \quad (3.56)$$

în care :

$$h_{bp} = n \cdot d_p \quad \text{iar}$$

$$g_{bp} = n d_p \cdot$$

$a_1, a_2$  și  $a_3$  reprezintă grosimile straturilor de izolare ale înfășurării de excitație.

Cu aceste date diametrul interior și exterior al ferestrei rezultă :

$$d_p \approx d \quad ; \quad D_{1p} = d_p + 2 G_b$$

La calculul diametrului exterior al corpului se asociază condiția banală, ca suprafețele polare interioară și exterioară să fie egale.

Astfel :

$$D_p = \sqrt{\frac{4 A_p}{\pi} + D_{1p}^2} \quad (3.57)$$

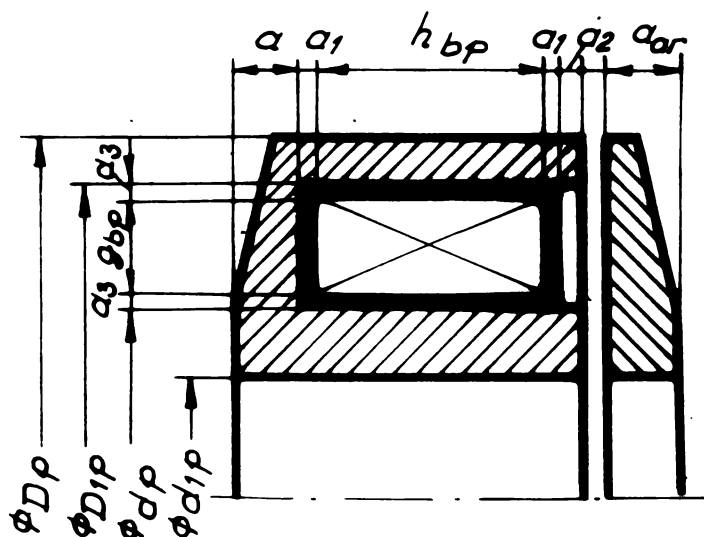


Fig.3.13

in care :

$$A_p = \frac{\pi}{4} (d_p^2 - d_1^2)$$

Lățimea armăturii exprimată prin cota  $a$ , trebuie să îndeplinească inegalitatea :

$$a \geq 0,25 \frac{d_p^2 - d_1^2}{d_p} \quad (3.58)$$

rezultată prin condiția ca axiile străbătute de fluxul magnetic în miez și placa de închidere a corpului să fie egale.

Secțiunea utilă a armăturii se acceptă mai mică decât cea a miezului și anume :

$$A_{ax} \in [0,85 ; 0,95] A_p \quad (3.59)$$

ca urmare a scăderii fluxului magnetic prin armătură produsă de dispersie.

Atât placa de închidere cât și armătura se pot confecționa în două variante și anume : cu grosime sau cu secțiune constantă pe direcție radială. Dacă prima variantă se justifică doar din punctul de vedere al simplificării tehnologiei, cea de a doua este favorabilă în privința gabaritului, a greutateii și a vitezei de comutare :

Avându-se în vedere relația (3.59) grosimea armăturii rezultă din :

$$a_{ax} = \frac{A_{ax}}{\pi d_p} = \in [0,2 ; 0,24] \frac{d_p^2 - d_1^2}{d_p} \quad (3.60)$$

Un calcul mai exact al acestei cote ar putea fi efectuat după ce se cunoaște coeficientul real de dispersie  $\sigma_p$ .

Cu elementele geometrice precizate se stabilește lungimea medie a liniei de câmp a circuitului magnetic și apoi cu relația (3.5 a) se determină inducția magnetică în întregul :

$$B_{op} = \sqrt{\frac{4 \mu_0 F}{\pi \varphi_p^2 (d_p^2 - d_1^2)}}$$

Cu precizările făcute în § 3.2.4.1 se calculează permeanțele și funcție de acestea coeficientul de dispersie  $\sigma_p$ , determinându-se astfel inducția magnetică medie în corp și armătură :

$$B_p \text{ med} = \frac{B_{op}}{2} \left(1 + \frac{1}{\sigma_p}\right) \varphi_p^2 \quad (3.61)$$

Se verifică dacă este îndeplinită condiția restricțivă :

$$B_p \text{ med} < B_s \quad (3.62)$$

unde  $B_s$  reprezintă inducția corespunzătoare saturației fierului.

Se calculează tensiunea magnetomotoare, în care scop se determină mai întâi tensiunea magnetică a întrefierului :

$$T_{\text{mop}} = 2 \int_0 \frac{B_{\text{op}}}{\mu_0}$$

Cu valorile inducțiilor magnetice în miez respectiv armătură sau cu valorile medii a acestora (rel. 3.61) se fixează punctul de funcționare pe curba de magnetizare a materialului, determinându-se valoarea corespunzătoare a intensității câmpului magnetic. Se calculează apoi tensiunea magnetică a fierului pentru lungimea medie a liniei de câmp.

Tensiunea magnetomotoare rezultă prin însumarea componentelor sale :

$$T_{\text{mmp}} = T_{\text{mop}} + T_{\text{mf}p}$$

Compararea tensiunii magnetomotoare  $T_{\text{mmp}}$  cu valoarea similară obținută în calculul preliminar, permite corectarea secțiunii conductorului, prin :

$$(q_{\text{Cu}})_p = q_{\text{Cu}} \frac{T_{\text{mmp}}}{T_{\text{mm}}} \quad (3.63)$$

cu care se stabilește diametrul conductorului rotunjit în plus până la prima valoare standardizată.

Factorii de umplere real și ideal se calculează cu relațiile cunoscute [ 61, 77 și 120 ] prin care se ia în considerare în primul rând tehnologia de execuție a înfășurării de excitație. Cu relația (3.13) rezultă numărul de spire real și se calculează rezistența bobinei, pierderile active la temperatura de  $0^\circ\text{C}$  și pierderile specifice  $p_0$ , raportate la unitatea de volum.

Cu indicațiile date în literatură de specialitate [ 61, 77 și 129 ] se determină conductibilitatea termică echivalentă  $\lambda$ , valoarea supra temperaturii medii și maxime a înfășurării de excitație respectiv de la suprafața acestora. Cu valorile anterioare se calculează rezistența activă și solenajia bobinei în stare caldă.



Tensiunea magnetotoare în stare caldă  $(T_{mm}) \theta_m$  trebuie să îndeplinească neapărat condiția :

$$(T_{mm}) \theta_m \geq T_{ump} \quad (3.64)$$

În continuare se calculează pierderile active la temperatura medie de funcționare, lungimea ( $L_p$ ) și greutatea ( $G_{Cu}$ )<sub>p</sub> conductorului bobinei.

Cu forma constructivă și dimensiunile electromagnetului de acționare se vor corela în final celelalte părți constitutive ale cuplajului cum ar fi pachetul de lamele, placa de presiune și arcurile pentru îndepărtarea armăturii, astfel ca dispozitivul proiectat să realizeze parametrii funcționali acceptați inițial.

Pentru rezolvarea operativă a problemelor de proiectare a cuplajelor și frinelor, cu noua metodă, se poate face uz de calculul automat. În acest scop s-a întocmit organigrama calculului preliminar prezentată în fig. 3.14. Se face mențiunea că organigrame similare pentru calculul mecanic sau ale celui electromagnetic final, se pot întocmi fără nici un fel de dificultate.

În organigrama prezentată, s-a introdus suplimentar următoarele notații :

$\triangle d, \triangle m, \triangle n$  ce reprezintă salturile acceptate pentru dimensiunea determinantă și coeficienții de formă ai bobinei de excitație  $m$  respectiv  $n$ ;

$\epsilon_1, \epsilon_2$  - coeficienții de precizie ai calculului.

Cu indicii  $m$  sau  $M$  s-au simbolizat pentru inițializare valorile minime respectiv maxime ale unor parametri.

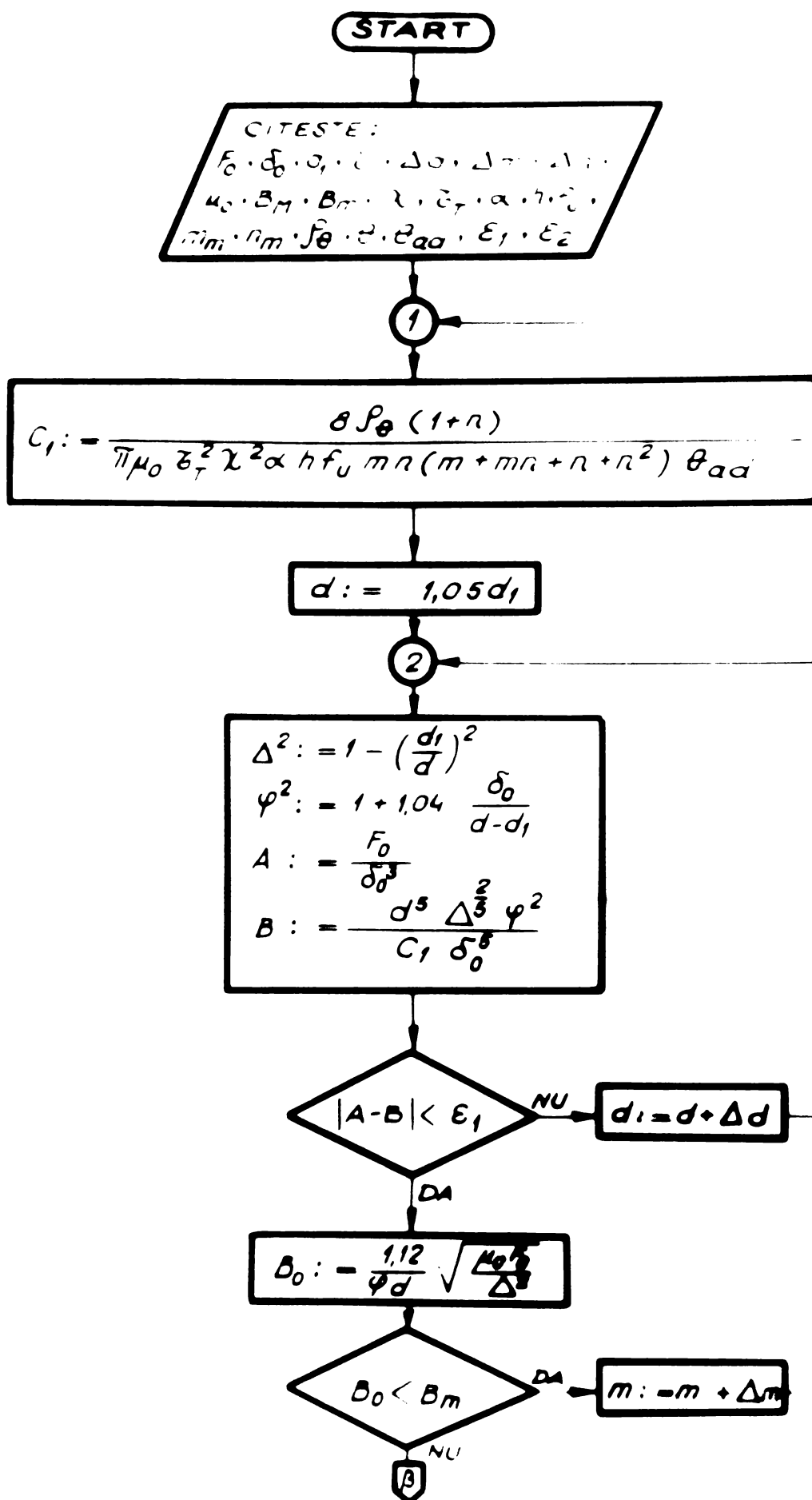
Prin utilizarea noii metode de proiectare, a devenit posibilă și rezolvarea a două deziderate esențiale pentru tiposeria de cuplaje electromagnetice fabricate în țară sub licență :

- reducerea la minim a puterii de comandă prin unele modificări aduse circuitului magnetic și înfășurării de excitație cu condiția menținerii invariabile a gabaritului și a performanțelor funcționale <sup>x)</sup> și

- menținerea puterii de comandă și a gabaritului la același nivel, modificările operate vizând de astă dată îmbunătățirea

---

x) Aplicații la tipodimensiunea 81.003-09 B<sub>1</sub>-901.



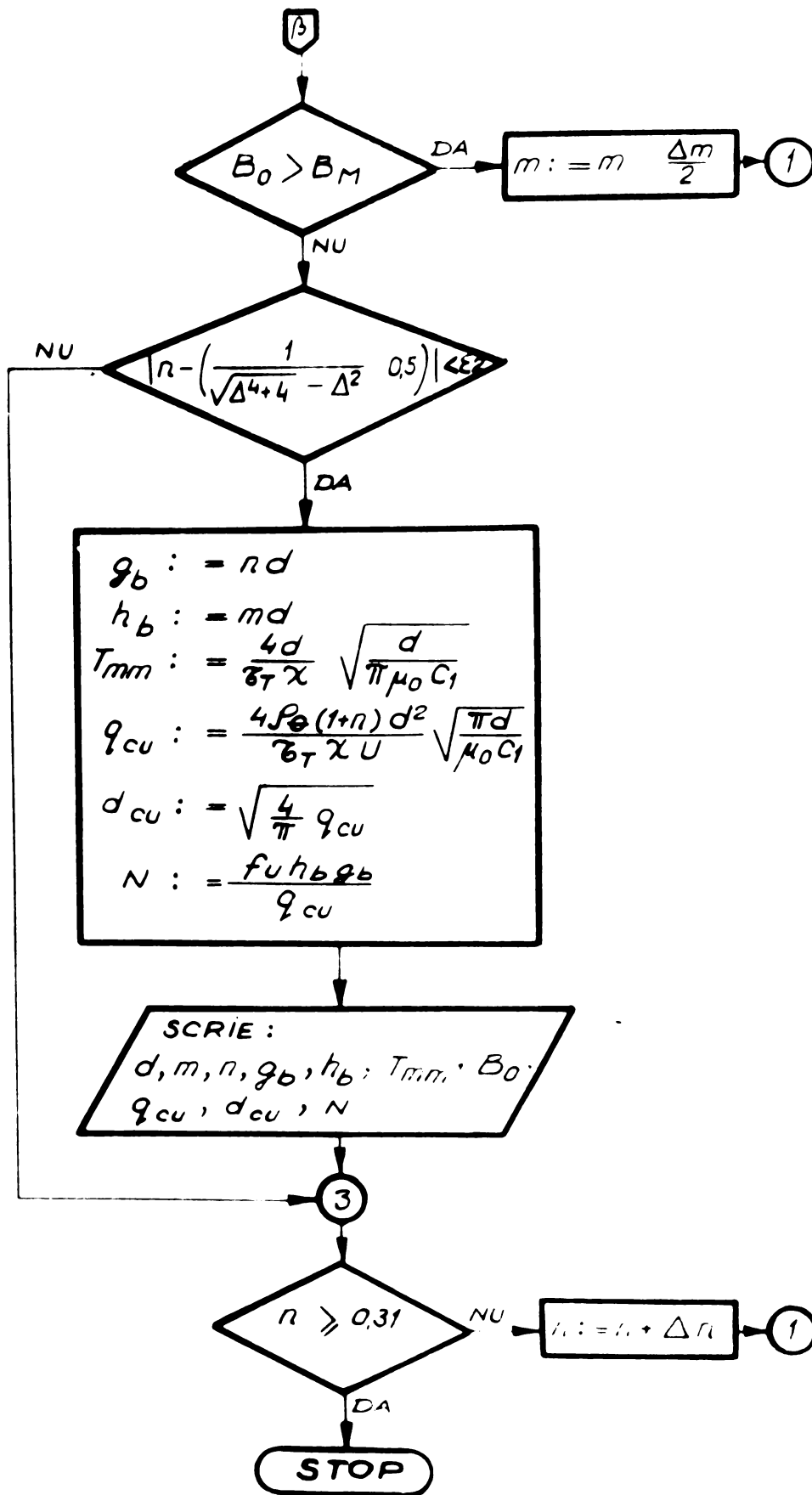


Fig.3.14

performanțelor funcționale x).

În § 5.1 se prezintă un exemplu de aplicare a noii metode pentru calculul de dimensionare electromagnetică a cuplajelor precum și unele rezultate ce s-au obținut pe modelele re proiectate.

Cercetările experimentale efectuate la I.M.Cugir și în laboratorul Catedrei de Organe de mașini și mecanisme din cadrul Institutului politehnic "Traian Vuia" Timișoara au scos în evidență - pe fondul preciziei ridicate a calculului - avantajele metodei propuse de autor.

#### CAP.4. INSTALAȚII EXPERIMENTALE ȘI METODICA DE CERCETARE.

##### 4.1. Instalații experimentale.

##### 4.1.1. Structura instalațiilor experimentale.

Verificarea teoriei elaborate în vederea corectării și completării acesteia, fundamentarea unei metode originale de calcul de dimensionare a CEF și definirea funcționării principalelor cuplaje din fabricația curentă pentru perfecționarea și diversificarea gamei de fabricație, s-a efectuat printr-un amplu studiu experimental pe prototipuri și produse de serie, cu ajutorul unor instalații de cercetare adecvate.

La conceperea structurii acestor instalații, s-a avut în vedere simularea cât mai fidelă a situațiilor funcționale posibile, urmărindu-se concomitent preocupările și realizările ce există pe plan mondial și național în această direcție.

Echipamentele aferente de comandă și reglare precum și cele de măsurare, înregistrare și redare a informației, impuse în astfel de cercetări, au necesitat folosirea unor utilaje de înaltă tehnicitate.

Literatura de specialitate oferă o varietate destul de mare de soluții [1,62,64,67,137 și 141] pentru realizarea obiectivelor cercetării în domeniu. Majoritatea permit de regulă studiarea unui număr redus de parametri în domenii funcționale restrinse; instalații pe deplin justificate doar pentru încercările industriale.

x) Reproiectarea și cercetarea s-a efectuat pentru un număr de 12 tipodimensiuni de CEF (contract IPTVT/OMM-INCugir nr.359/

Spre deosebire de acestea, pentru instalația principală de încercare, concepută și realizată de autor (denumită "Stand universal pentru încercarea componentelor transmisiilor mecanice" și prezentată în fotografia din fig.4.2), s-a considerat util să se adopte o soluție în "sistem modular" (Beuksten System), care prin schimbarea și aranjarea convenabilă a unor componente cu funcții elementare, permite schimbarea facilă a structurii și diversificarea regimurilor de încercare. Această soluție răspunde în cele mai bune condiții cerințelor concrete ale programului experimental.

Instalațiile destinate încercărilor de scurtă durată (utilizate frecvent și în cercetarea funcționării cuplajelor cu fricțiune în regim stabilizat și tranzitoriu) sunt structurate obișnuit în "circuit energetic deschis" (fig.4.1 a). În acest caz, fluxul energetic trece de la motor prin transmisia experimentală - care se reduce în speță la o singură componentă, cuplajul electromagnetice cu fricțiune - spre sarcină. Cu toate că poate fi astfel simulată funcționarea în condiții foarte apropiate exploatarei, instalațiile prezintă dezavantajul unui consum energetic ridicat atunci când nu sunt prevăzute cu mijloace suplimentare pentru recuperarea energiei.

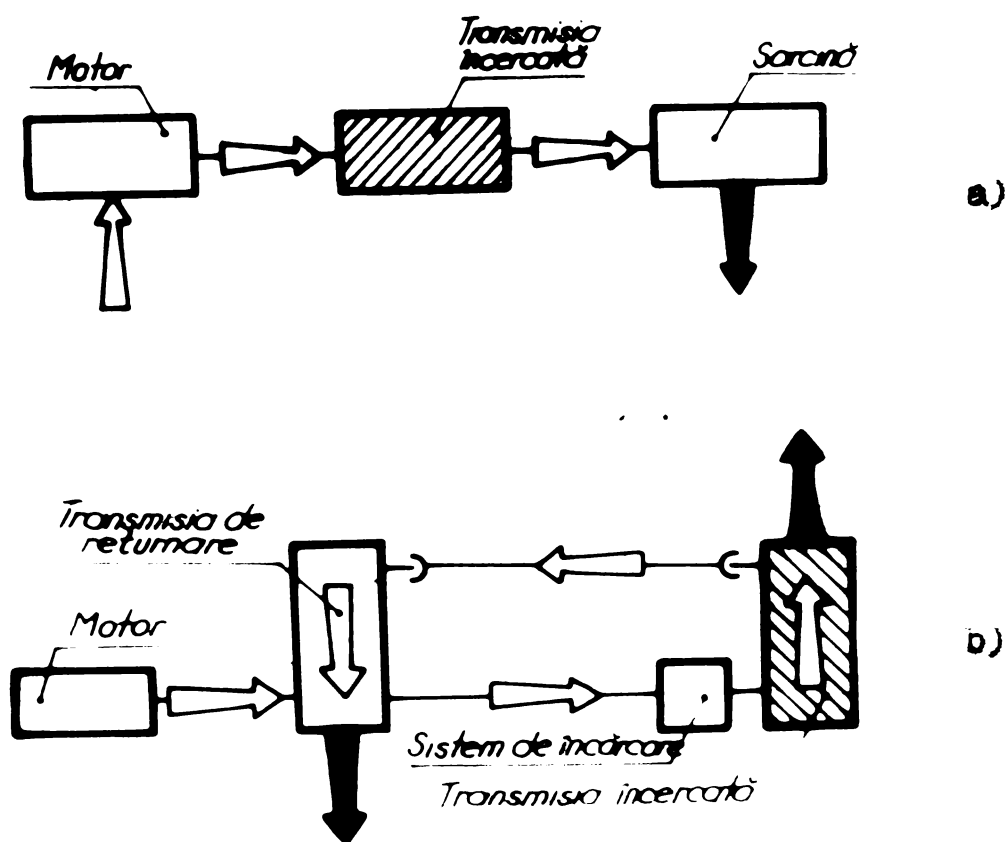


Fig.4.1

La încercarea timp îndelungat (fără alunecare sau cu alunecare impusă) a transmisiilor mecanice (mai rar înfrântă în încercarea cuplajelor cu fricțiune) se apelează la instalații "în circuit energetic închis" mecanic (fig.4.1 b), hidraulic sau electric. La aceste instalații utilizate cu predilecție pentru încercări de fiabilitate, motorul de acționare necesită o putere relativ mică, deoarece prin intermediul acestuia se acoperă doar pierderile din sistem.

Prin caracterul său universal, instalația destinată cercetării cuplajelor, permite cu unele adaptări, încercarea unei mari varietăți de transmisii mecanice (prin curele, variatoare de viteză, angrenaje etc.) în gama puterilor mici și mijlocii în circuitul energetic deschis sau închis. Prin sistemul de comandă și de acționare acceptat, standul asigură modificarea parametrilor cinematici și dinamici, permițând totodată automatizarea regimurilor de încercare.

Instalația construită și utilizată la majoritatea încercărilor din programul experimental abordat în teză, se află în dotarea laboratorului de transmisii prin frecare al Catedrei de Organe de Mașini și Mecanisme din Institutul politehnic "Traian Vuia" Timișoara și are în componență următoarele părți :

- Sistemul de acționare electrică ;
- Batiul și elementele modul (principiul modul este ansamblul de modelare a sarcinii) ;
- Echipamentul de alimentare, comandă și protecție a cuplajelor ;
- Instalația de lubrifiere-răcire ;
- Echipamentele de măsurare, înregistrare și redare a informației.

#### 4.1.2. Sistemul de acționare electrică.

Ținând seama de particularitățile cercetării cuplajelor cu fricțiune - gamă largă de reglare a vitezei unghiulare în regiunea cuplu sau de putere constantă - s-a recurs la acționarea cu motor electric de curent continuu exceptând un număr restrâns de încercări la care s-a utilizat acționarea cu motor asincron trifaz asociat cu un variator mecanic de viteză (tip Kopp).

Gama largă de reglare continuă a vitezei unghiulare cu instalații importante ale cuplului transmis în timpul încercărilor se

condus la acceptarea sistemului de acționare de tipul Ward-Leonard. Puterea nominală a grupului de 10 kW, permite încercarea cuplajelor din gama mărimilor mici și mijlocii (cu cea mai mare pondere în aplicațiile practice).

Pentru comoditatea comenzilor, majoritatea conexiunilor din schema electrică au fost centralizate la pupitrul de comandă prezentat în fotografie de ansamblu a standului din fig.4.2.

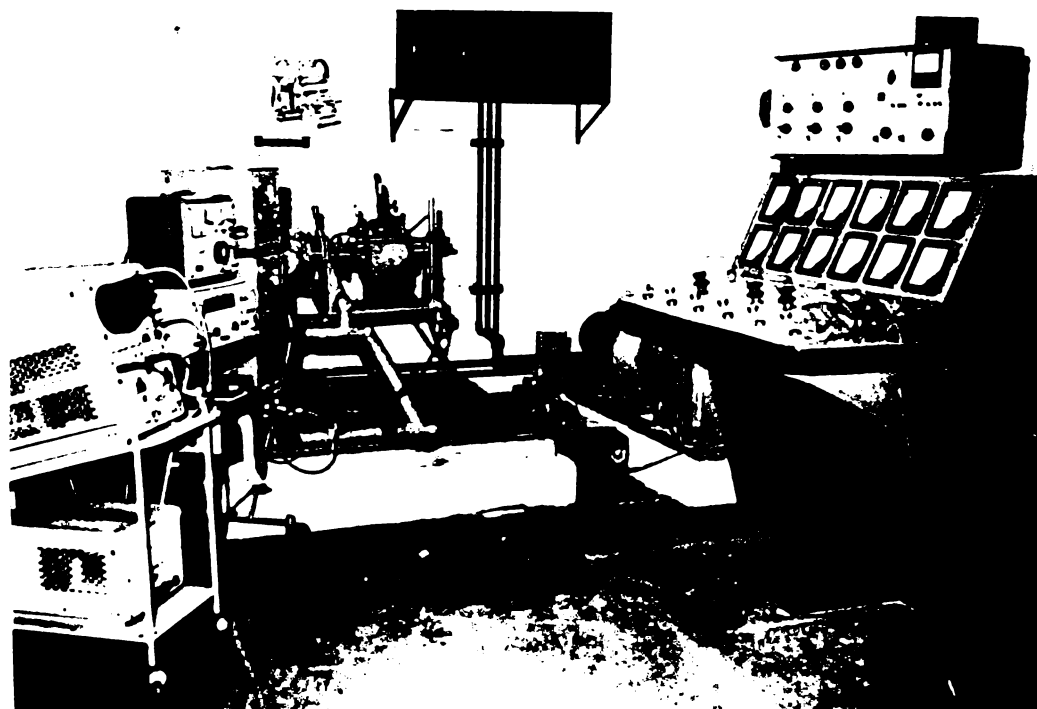


Fig.4.2

Pupitrul de comandă a fost conceput ca o unitate aparte prevăzută cu mijloace de : pornire-oprire și reglare a vitezei unghiulare a mașinilor electrice, urmărire cantitativă a parametrilor electrici, reglare a sarcinii, protecție a circuitelor, semnalizare etc.

În schema electrică de principiu a sistemului de acționare din fig.4.3, în care a fost inclus și generatorul de frinare cu grupul rezistențelor de sarcină, s-au utilizat notațiile :

M.A. - motor asincron ; G.C.C. - generator de curent continuu ; M.C.C. - motor de curent continuu ; G.F. - generator de curent continuu (de frinare) ;  $E_{e1}, R_{e2}, R_{e3}$  - rezistențe de excitație pentru generator, motor și generatorul de frinare ;  $K_T$  - comutatorul rezistențelor de sarcină  $R_1 \dots R_7$  ;  $K_V$  - comutatorul voltmetric.

Datorită particularităților unor încercări (de scurtă durată și cu variație în limite largi a vitezei unghiulare a ar-

borului condus) s-a utilizat în locul generatorului (GF) frâne electromagnetice cu fricțiune care prezintă într-un domeniu destul de larg avantajul dezvoltării unui cuplu rezistent practic constant independent de viteza unghiulară.

După cum rezultă din schema de principiu, toate mașinile electrice de curent continuu și circuitele de excitație alimentate de la un redresor monofazat în punte (1,5 kW/220 V).

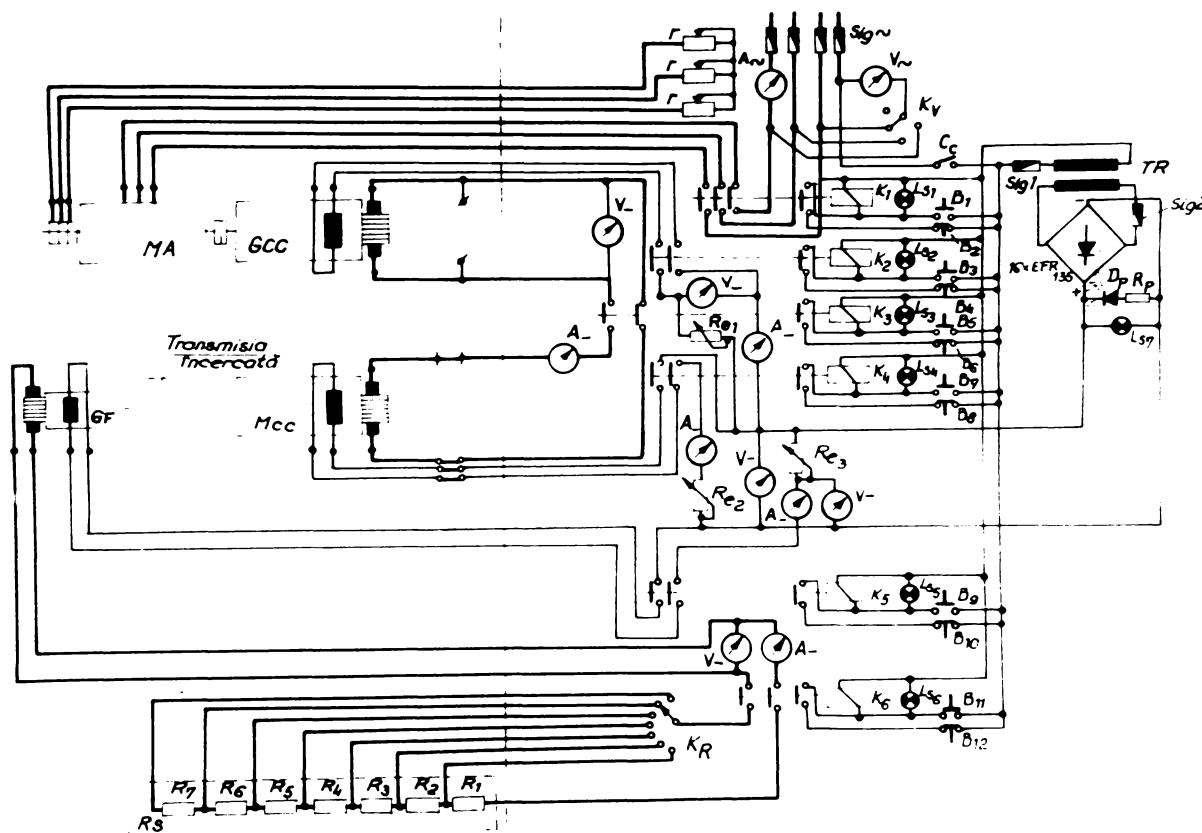


Fig.4.3

Tensiunile și curenții din rețea și din circuitele de curent continuu sunt indicate de către un grup de 12 aparate electrice de măsură dispuse pe panoul frontal al pupitrului de comandă (vezi fig.4.2). Conexiunile de închidere și deschidere ale circuitelor sunt asigurate prin intermediul unor contacte acționate prin butoanele de pornire-oprire ( $B_1 \dots B_{12}$ ); starea cuplată a contactoarelor este indicată prin lămpi de semnalizare ( $L_{s1} \dots L_{s5}$ ) dispuse pe panoul orizontal al pupitrului de comandă.

Pentru reglarea vitezei unghiulare a motorului de curent continuu în regiile de "cuplu constant" s-a modificat tensiunea aplicată indusului acestuia (în domeniul 40...200 V) reglându-se



curentul de excitație la generatorul G.C.C.

Prin modificarea curentului de excitație al motorului (cu reostatul  $R_{e2}$ ) s-au creat condiții pentru reglarea vitezei unghiulare prin slăbire de eșap adică în regim de "putere constantă".

Motorul electric asincron (MA) și generatorul de curent continuu (G.C.C.) al grupului Ilgner au fost montate pe un batiu comun, în vecinătatea pupitrului de comandă.

Pentru securitatea întregii instalații s-a inclus în schema electrică o cheie de contact  $C_c$ .

#### 4.1.3. Batiul și elementele moduli.

Batiul sau postamentul propriu-zis al standului s-a confecționat în construcție sudată din profile L 80 x 80 x 8, conform dimensiunilor de gabarit din fig.4.4.

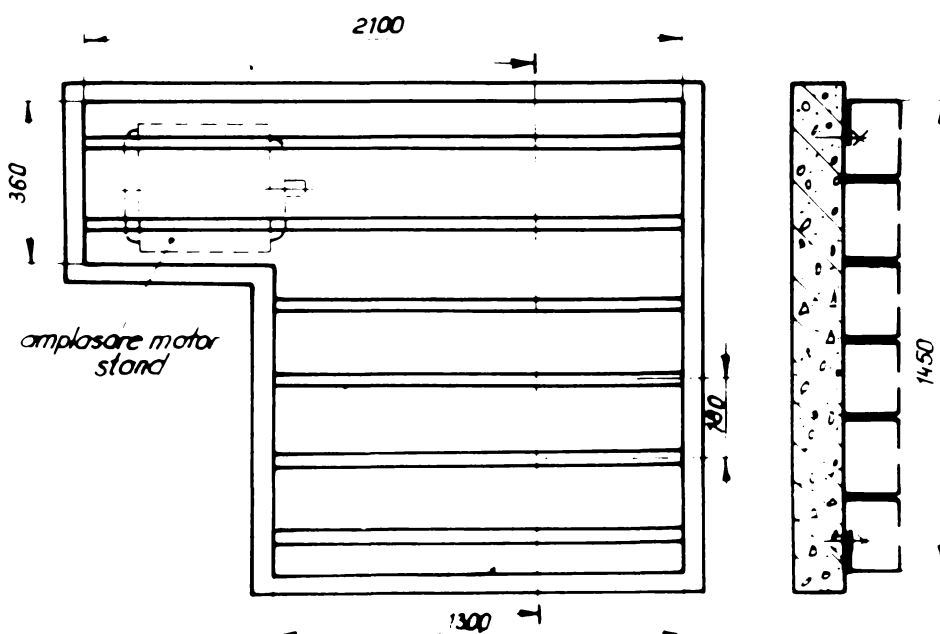


Fig.4.4

Pentru a se elimina dezavantajul masei relativ reduse a acestei construcții cât și a posibilităților de apariție a vibrațiilor și deformațiilor nedorite, postamentul a fost ancorat într-o fundație masivă din beton. Forma batiului a fost astfel aleasă, încât pe suprafața utilă a acestuia ( $1,850 \text{ m}^2$ ) să se poată alcătui din elemente moduli o mare varietate de scheme de încercare având gabarite înecutate fie după direcție longitudinală, fie după direcție transversală.

Pe suprafața utilă a batiului s-au prevăzut canale având lățimea de 20 mm, la distanțe de cîte 180 mm, necesare în-treducerea șuruburilor cu cap ciocan pentru fixarea modulelor instalației experimentale.

Dintre elementele modul realizate și folosite în pro-gramul de încercări cele mai importante au fost :

- cutia de încercare a cuplajelor ;
- ansamblul de modelare a sarcinii ;
- suportii cu arbori intermediari.

Cutia de încercare a cuplajelor trebuie să permită montarea fecilă și funcționarea în interiorul acesteia a unei game tipodimensionale variate de cuplaje sau frîne, dorindat satisfăcut de construcția prezentată în fig.4.5.

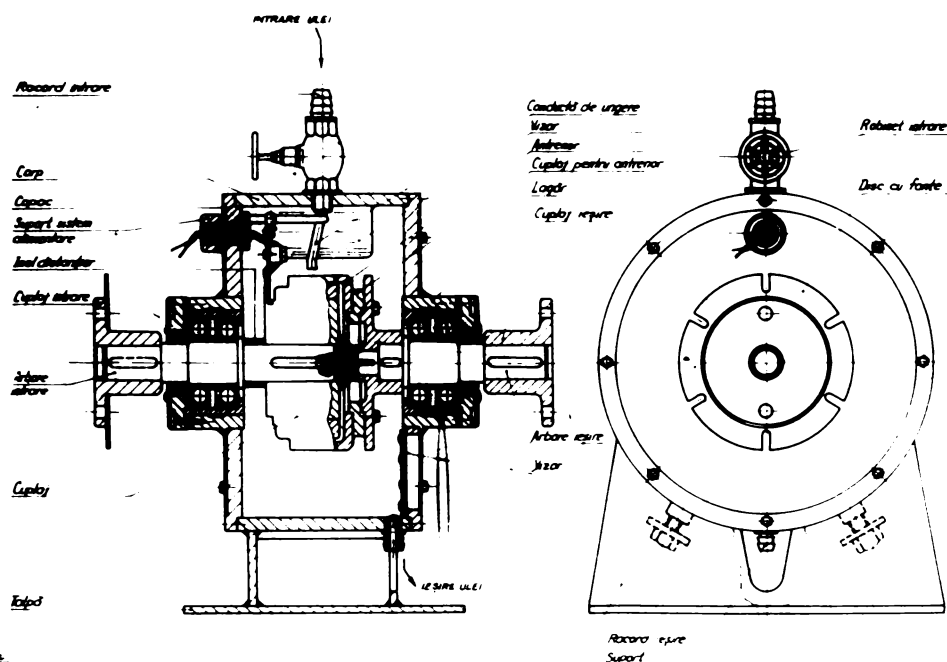


Fig.4.5

În cutia de încercare de formă cilindrică cei doi arbo-ri (de intrare și de ieșire) sînt rezemați în consolă pe cîte doi rulmenți radiali cu bile pe un singur rînd.

Pentru etanșare s-au prevăzut de ambele părți manșete elastice.

În partea superioară a cutiei s-a montat un rezămet pen-tru reglarea debitului de ulei, terminat cu o conductă a cărei po-siție poate fi modificată în raport cu planul median al pachetu-lui de lamele. La partea inferioară a cutiei s-a prevăzut un orifi-ciu pentru evacuarea uleiului.

Pentru fixarea perilor sau a clemei de alimentare a cuplajelor introduse în cutie s-a montat un braț port-perie rebatabil. În scopul observării funcționării cuplajului cuplajului, cutia a fost prevăzută cu două vizoare dispuse în partea superioară și un vizor la partea inferioară. Accesul în cutie pentru introducerea cuplajelor se face prin îndepărtarea unuia din capacele frontale. În fig. 4.6 este prezentată o vedere laterală a cutiei cu capacul frontal îndepărtat.

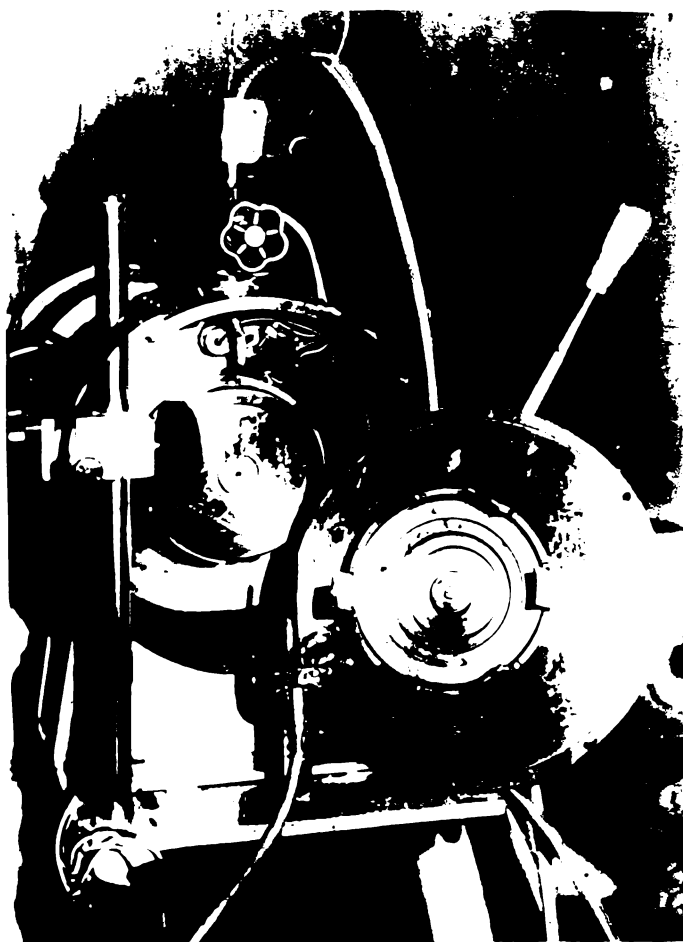


Fig. 4.6

Toate elementele modul al înălțimea axei arborilor acordată cu nota similară a arborelui motorului electric.

#### 4.1.4. Echipamentul de alimentare, comandă și protecție a cuplajelor.

Echipamentul de alimentare, comandă și protecție, conceput și realizat de autor, este alcătuit din mai multe blocuri funcționale. Sistemul electric furnizat de acest echipament asi-

Ansamblul de modelare a sarcinii a cărui schiță principală este redată în fig. 4.7 este alcătuit din suportul port-lagăr, având fixat de cele două capete de arbore o frână electromagnetă cu fricțiune, de o parte, și volanți (discuri interschimbabile) pentru modelarea sarcinii inerțiale, pe cealaltă parte.

Intr-o formă asemănătoare s-au construit și suportii cu arborii intermediari prin care se realizează în funcție de necesități fie continuitatea longitudinală a lanțului cinematic fie inserierea în sistem a unei transmisii suplimentare (de ex. printrucala).

gură comanda cuplajelor, în cele mai diverse regimuri funcționale.

Blocurile funcționale reunite au fost introduse într-o carcasă metalică plasată deasupra pupitrului central de comandă (vezi fig.4.2).

Schemă bloc a acestui echipament prezentată în fig.4.8 este structurată din următoarele blocuri funcționale : AT -auto-

Frînă electro-  
magnetică cu fricțiune  
TIP IMC B2103-14C1  
 $M_2 \in [10;100] Nm$

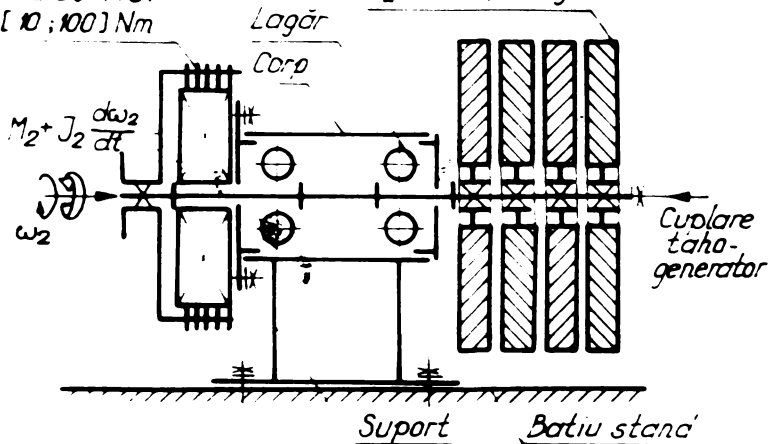


Fig.4.7

transformator corectez;  
 $R_1$  - redresor de alimentare ;  $R_2$  - redresor de forțare (supraexcitație) ; RT- releu de timp ; PM - panou de măsurători ; BRK - blocul rezistențelor de forțare și al contactoarelor ; BC- blocul condensatoarelor de forțare ; EP- blocul de protecție ; PK - panoul de comandă și comutare.

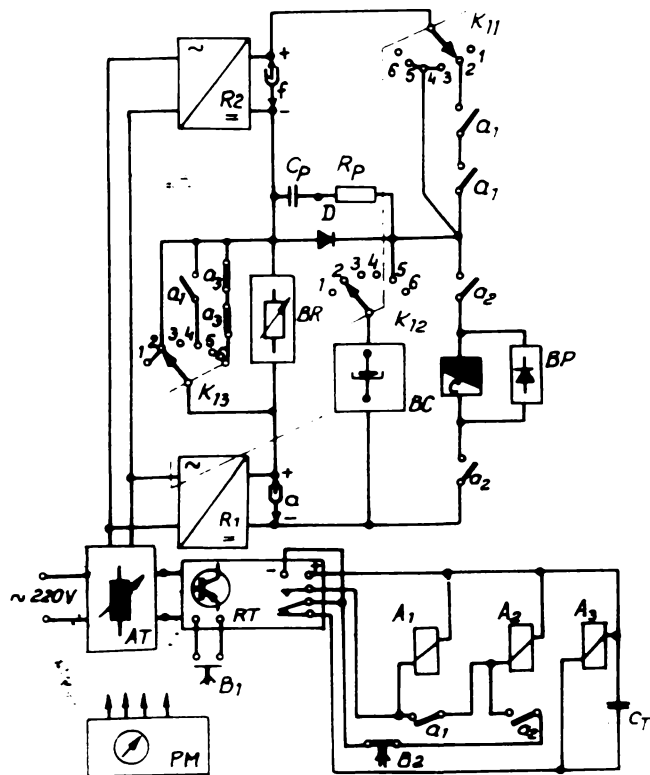


Fig.4.8

Prin comutatorul principal  $K_{11}$  se pot realiza șase scheme electrice de bază pentru alimentare și comandă <sup>redare</sup> în Tabelul 4.1.

Tabelul 4.1

Poziția comutatorului $K_{11}$ .	Comanda cuplajului
1	Anclanșare normală.
2	Anclanșare ultrarapidă (supraexcitare) cu două surse de alimentare înseriate.
3	Anclanșare rapidă prin modificarea constantei de timp a circuitului de comandă.
4	Anclanșare ultrarapidă (supraexcitare) cu rezistență de forțare (cu o singură sursă).
5.	Anclanșare ultrarapidă (supraexcitare) cu baterie de condensatoare.
6	Anclanșare lentă automată.

Schema electrică de principiu a echipamentului de alimentare, comandă și protecția este prezentată în fig.4.9.

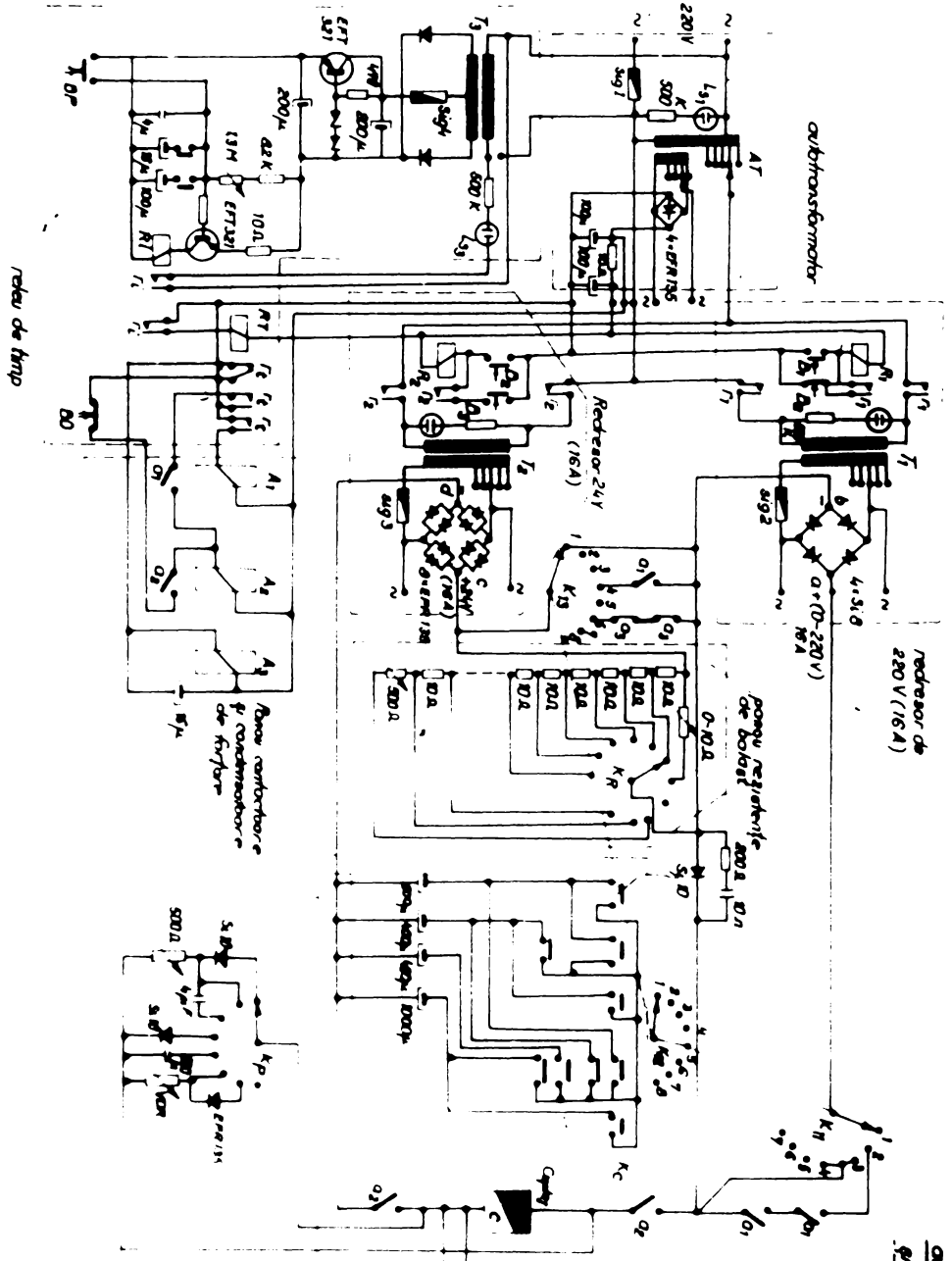
Autotransformatorul (AT) permite corectarea în trepte a tensiunii de rețea aplicată redresorilor  $R_1$ ,  $R_2$  și redresorului suplimentar prevăzut cu celulă de filtraj, destinat alimentării contactoarelor. Punerea sub tensiune a autotransformatorului corector și a redresorilor este semnalizată prin lămpi cu neon.

Prin intermediul releului de timp tranzistorizat, realizat în montaj RC, se asigură anclanșarea cuplajului precum și temporizarea supra respectiv subexcitării acestuia. Pornirea releului de timp s-a asigurat direct prin acționarea butonului BP (de pornire).

Cu ajutorul comutatorului de game, cu care a fost prevăzut acest releu, se poate regla temporizarea în domeniile :  $(5...100)ms$  ;  $(50...1000)ms$  și  $(500...25000)ms$ , acoperindu-se astfel integral cerințele din acest punct de vedere. În interiorul fiecărui domeniu, reglajul continuu al temporizării se asigură prin intermediul unui reostat.

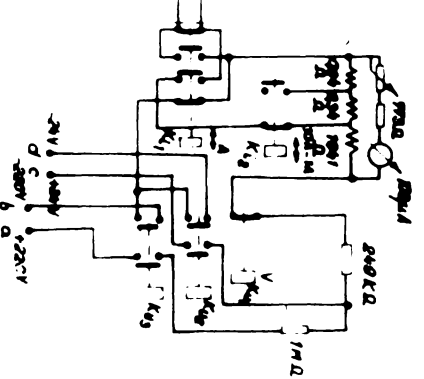
Comutările în circuitele principale de alimentare se asigură prin contactoarele  $A_{1,2,3}$ , comandate de către releul de timp.

Întregul echipament a fost prevăzut cu un panou propriu de măsurători. Acesta permite măsurarea tensiunii la bornele fie-



Schemă electrică de principiu a aparatului de alimentare, comandă și protecție cuplatoare și filtrul electrostatic.

(Obs. panoul de comenzi cuprinde contactoarele marcate K1, K2 și K3 și releele și burtoare de pornire Bp și de oprire Bp) pentru măsurători.



Schemă electrică rezumativă  
 Rețea contactorului K1, K2, K3  
 1 onclapare normal  
 2 supracontacte cu două surse de alimentare  
 3 onclapare rapidă prin modificarea  
 contactului de timp a circuitului  
 4 separator de rezultate de forțare  
 5 separator cu bobină de condensatoare  
 6 onclapare lentă conform

cărui redresor în parte (în domeniile 0...50 V ; 0...250 V) și a curentului de excitație prin cuplaj (în domeniile 0...1 A ; 0...10 A).

Rezistențele de forțare se inseriază în montaj după necesități prin intermediul comutatorului  $K_R$ .

Dependent de mărimea cuplajului și de regimul de forțare, există posibilitatea ca prin intermediul comutatorului  $K_C$  să se modifice valoarea capacității bateriei de condensatoare.

Prin comutatorul  $K_D$  se poate selecta schema de protecție dorită prin care de fapt se influențează comportarea cuplajului în procesul declanșării.

#### 4.1.5. Instalația de lubrifiere-răcire.

Standul a fost dotat cu o instalație proprie de ungere în circuit închis (vezi fig.4.14) prevăzută cu o pompă centrifugă acționată electric de către un motor asincron monofazat. Reglajul debitului de ulei în domeniul 0...10 l/min este asigurat prin robinetul cu ventil montat în partea superioară a outiei de încercare, iar măsurarea acestuia prin cronometrarea timpului de umplere al unui rezervor intermediar gradat (prevăzut la partea inferioară cu un robinet), fixat pe rezervorul principal al instalației.

Pentru controlul, semnalizarea și reglarea automată a temperaturii mediului de lubrifiere-răcire, autorul a proiectat și realizat un aparat electronic [41] a cărei schemă de principiu este redată în fig.4.10.

Măsurarea se face cu ajutorul unei scheme în punte :

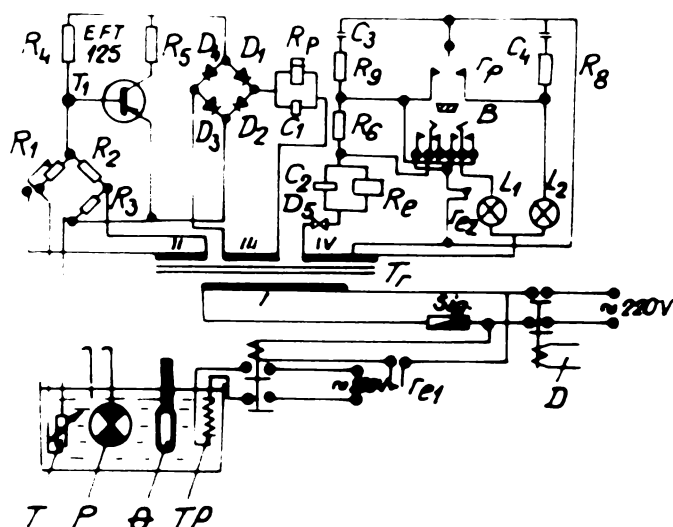


Fig.4.10

unul din brațele punții fiind format din traductorul de temperatură (termistor)  $T$  imersat în baia de ulei. Cu ajutorul potențometrului  $R_1$  gradat în  $^{\circ}C$  se asigură progresarea temperaturilor. Pentru amplificarea semnalului de dezechilibru se utilizează detector de fază (transistorul  $T_1$ ). Cele două contacte ale releeului polarizat  $R_p$  comandă releeul de ieșire  $R_e$ , iar acesta, după caz, conectarea sau deconectarea de la rețea a elementului de încălzire T.P. imersat în ulei (termostator 500  $\bar{W}$ ).

În gama de temperaturi  $\Delta\theta \in [15...125]^{\circ}C$ , precizia aparatului este mai bună de  $\pm 1^{\circ}C$ . Reținerea suspensiilor de metal feromagnetic a fost asigurată de un filtru magnetic montat pe conducta de legătură dintre cutia de încercare și rezervor.

#### 4.1.6. Cablamentele de măsurare și înregistrare a informației.

Pentru determinarea cantitativă a mărimilor de natură electrică și magnetică, cinematică, mecanică și termică, impuse de programul experimental, s-au utilizat cu precădere metode de măsurare electrică.

Astfel :

- Parametrii electrici și magnetici au fost măsurati cu ajutorul aparatelor cu indicare directă (analogice sau numerice) exceptând cazurile cînd aceste mărimi necesitau a fi înregistrate ;

- Viteza unghiulară a arborilor s-a măsurat fie direct pe cale numerică (prin impulsuri) fie indirect, prin înregistrare pe hîrtie fotosensibilă a impulsurilor sau a tensiunii furnizate de tahogeneratori de curent continuu.

Metoda bazată pe măsurarea frecvenței impulsurilor care asigură o înaltă precizie, a putut fi utilizată numai la încercările în regim stabilizat. În montajele de măsurare au fost incluse traductoare electrono-optice, la care fasciculul luminos emis de lămpi cu incandescență și receptat de o fotodiodă (de tipul DF3) a fost obturat de către un disc cu unu sau șase fante interpus între acestea, disc solidarizat cu arborele a cărui mișcare a fost studiată.

Urărirea continuă a variației vitezei unghiulare a arborilor precum și a vitezei unghiulare relative a acestora la



funcționarea în regim tranzitoriu a cuplajului, s-a impus utilizarea unor tahogeneratoare de curent continuu (tip "Radioenergie" cu domeniul de măsurare cuprins între 0...600 rad/s);

- Pentru măsurătorile de cuplu (comutabil și transmisibil) s-a apelat la cuple torsionetrice tensometrice cu contacte alunecătoare (de fabricație Philips PR 9850/R 10, R 20 și R 50, având domeniile de măsurare 0...100 Nm ; 0...200 Nm respectiv 0...500 Nm);

- Forțe electromagnetice s-a măsurat cu ajutorul unor dinamometre tensometrice, concepute de autor, s-a căror formă a fost impusă de particularitățile constructive ale cuplajelor cercetate.

În fotografia din fig.4.11 sînt prezentate dinamometrele tensometrice utilizate, precum și o lamelă din oțel în care s-a implantat un traductor de temperatură (termistor) cu ajutorul căruia s-a studiat încălzirea lamelilor în timpul funcționării.

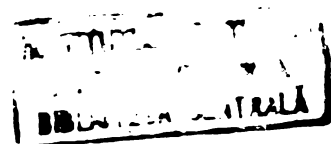
Calitatea traductoarelor tensometrice utilizate și a echipamentului de măsurare (punți tensometrice pentru măsurători statice și dinamice de tipul UM III - RFT) a asigurat o precizie mai bună de 1% rezultatelor experimentale.

La măsurătorile în regim dinamic, informația înregistrată pe hîrtie fotosensibilă (cu ajutorul oscilografului cu 12 bucle tip 12 LSI-RFT prevăzută cu beză de timp) a necesitat o prelucrare ulterioară.

Dependent de faza experimentală, s-au putut înregistra pe această cale, simultan, toți parametrii ce definesc fenomenul tranzitoriu analizat (vezi § 5.1).



Fig.4.11



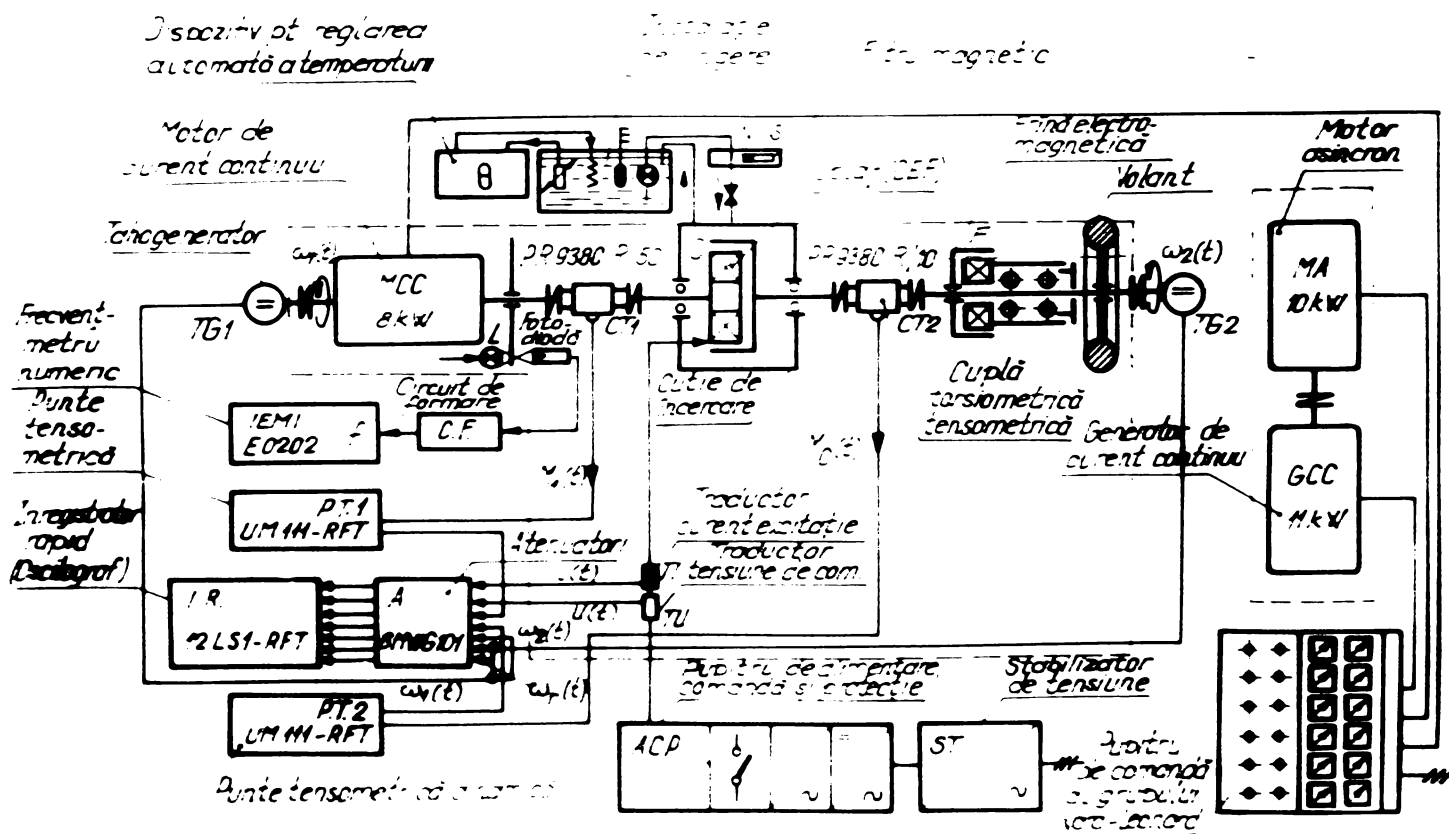
**4.2. Montaje experimentale și metoda de cercetare.**

**4.2.1. Montajul și metoda experimentală pentru cercetarea procesului ambraierii.**

Montajul experimental a necesitat o astfel de structură încât să asigure :

- dezvoltarea unui cuplu motor apropiat ca mărime de cuplul transmisibil al cuplajelor încercate ;
- reglarea continuă a vitezei unghiulare a motorului într-un domeniu suficient de larg ;
- încărcarea cuplajului cu un cuplu rezistent suficient de mare și stabil, cu sarcină inerțială corespunzătoare, reglabilă în trepte ;
- o rigiditate ridicată a ansamblului și o abatere mică de aliniere a elementelor componente ;
- posibilitatea comandării cuplajelor pentru angajări lente, normale sau rapide ;
- măsurarea și înregistrarea continuă cu o precizie ridicată a parametrilor definitorii ai procesului de ambraiere.

Acste condiții au fost satisfăcute de montajul realizat cu ajutorul componentelor standului universal prezentat în § 4.1 - a cărui schemă principială este redată în fig.4.12.



**Fig.4.12**

Lanțul cinematic a fost constituit din motorul de curent continuu ( $P_n = 8,5 \text{ kW}$ ,  $\omega_n = 150 \text{ rad/s}$ ) a cărui viteză unghiulară a putut fi reglată în domeniul  $30 \dots 300 \text{ rad/s}$ , care a antrenat arborele de intrare al cutiei de încercare prin intermediul cuplei torsionetrice (tip Philips PR 9850 R/50). La un număr redus de încercări la care cuplajele au avut cuplul transmisibil mai mare decât cuplul nominal al motorului, în zona menționată a lanțului cinematic, s-a interpus o transmisie reductoare prin ouzele (raport de transmisie  $i = 3$ ).

Continuitatea lanțului cinematic, prin cutia de încercare, a fost asigurată de către cuplajul experimentat, atunci când acesta se afla în stare anclanșată.

La arborele de ieșire din cutia de încercare s-a cuplat prin intermediul cuplei torsionetrice 2 (tipul Philips PR 9850 R/10 sau R/20) sarcina constituită dintr-o frână electromagnetică cu fricțiune (tip IME 82.103-14 C1) cu posibilitatea reglării cuplului de frinare în domeniul (5...100) Nm și o sarcină inerțială (realizată prin volanți cu momentul de inerție reglabil în trepte între  $0,03 \dots 0,15 \text{ kgm}^2$ ). S-au putut astfel modela sarcini cu caracter preponderent de frecare Coulombiană, inerțială sau mixtă.

În fotografia din fig.4.13 este prezentată o vedere parțială a montajului experimental fixat pe betiul standului.

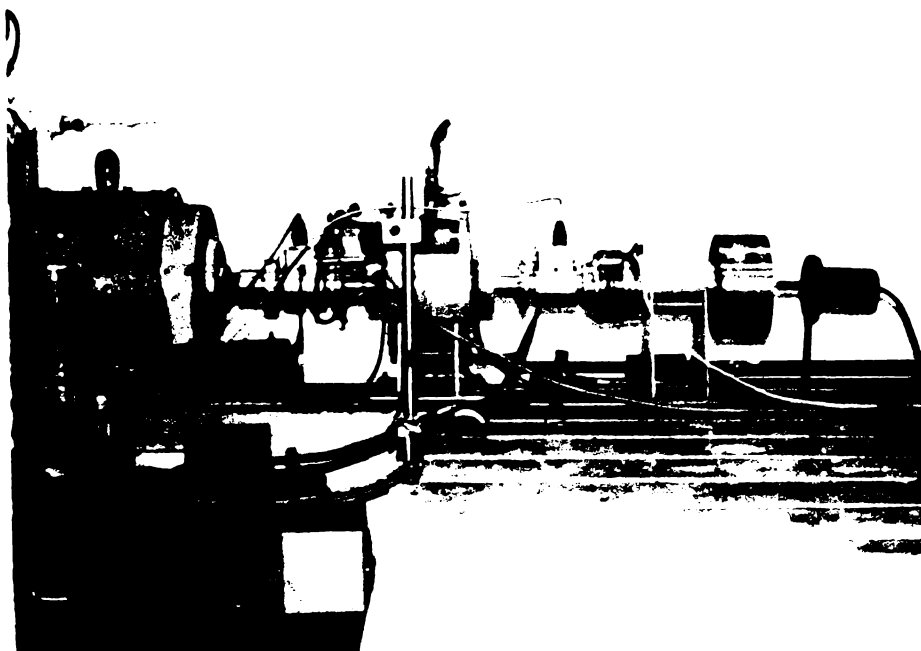


Fig.4.13

Pentru compensarea abaterilor de coliniaritate, fixarea

cuplilor torsionetrice de subele părți ale cutiei de încercare s-a asigurat prin cuplaje elastice cu bolțuri și inele de cauciuc.

La etalonarea tahogeneratorilor 1 și 2 în regia de mișcare stabilizată, s-a folosit un sistem de măsurare a frecvenței mișcării de rotație prin impulsuri (treductor electrono-optic, circuit de formare a semnalului și un numărător electronic FMI tip E 0203 cuplat ca frecvențmetru). Pentru înregistrarea continuă a variației vitezelor unghiulare a arborilor conducători și condus, semnalul electric furnizat de tahogeneratori a fost transmis echipamentului înregistrator prin intermediul atenuatorului reglabil. La montarea traductorilor de viteză unghiulară în serie și cu polaritatea opusă s-a devenit posibilă înregistrarea simultană și a vitezei unghiulare relative.

După etalonarea prealabilă a lanșurilor de măsurare ale cuplurilor - echipate cu cuplurile torsionetrice 1 și 2 - prin blocarea mecanică a arborilor și încărcarea acestora (cu un dispozitiv cu braț și greutate) s-au creat condiții pentru înregistrarea cantitativă continuă a variației cuplului motor și a cuplului condus. Simultan cu semnalele de cuplu și viteză unghiulară s-a înregistrat variația în timp a parametrilor semnalului de comandă al cuplajului (tensiunea la borne și curentul de excitație). În procesul experimental, cuplajele au fost comandate în regia normal (cu tensiunea de comandă de 24 V), lent (cu tensiunea de comandă cuprinsă în domeniul 15...24 V) și ultrarepidă (prin supraexcitație cu durată limitată, la tensiunea de 60, 90 respectiv 120 V adică cu coeficienți de supraexcitație  $\lambda$  având valorile 2,5 ; 3,5 respectiv 5).

Pentru ridicarea unei oscilograme a procesului de ambrăriere, s-a fost necesar să se regleze în prealabil valoarea cuplului rezistent și să se fixeze mărimea sarcinii inerțiale, după care s-a pornit motorul și s-a adus la viteză unghiulară de regia (în această fază cuplajul s-a aflat în stare declanșată). După pornirea echipamentului de măsurare și înregistrare s-a executat comanda de anclanșare a cuplajului, care s-a menținut pînă la încheierea procesului tranzitoriu de cuplare. După declanșarea cuplajului și încheierea procesului tranzitoriu la decuplare, s-a oprit atât echipamentul de măsurare și înregistrare cât și motorul respectiv frîna, care s-au adus în stare de repaus.

Pe această cale s-au executat seriile de încercări având ca obiectiv evidențierea :

- formei de variație în timp a cuplului comutabil precum și dependența acestuia de felul comenzii electrice și de mediul în care funcționează cuplajul ;

- timpilor caracteristicii procesului de ambreiere precum și influențele exercitate asupra lor de comanda electrică a cuplajului respectiv de către parametrii cinematici și dinamici ai sistemului de acționare ;

- timpilor de accelerație a sarcinii în sistemele de acționare prin cuplaje, comparativ cu sistemele de acționare directă a sarcinii de către motor ;

- influenței sistemului de protecție al cuplajului asupra timpilor de declanșare.

Principalele rezultate experimentale sînt analizate în § 5.1.

#### 4.2.2. Montajul și metoda experimentală pentru caracterizarea cuplului rezidual.

Cercetările experimentale asupra cuplului rezidual s-au efectuat cu ajutorul a două montaje distincte.

Independent de soluția acceptată acceptată, principala cerință a sistemului de acționare a fost gama largă de reglare a vitezei unghiulare.

Primul montaj la care acționarea s-a realizat cu motor de curent continuu ( $P_n = 3 \text{ kW}$ ,  $\omega_n = 300 \text{ rad/s}$ ) are schema de principiu prezentată în fig.4.14.

După cum se observă din fig.4.15, suportul pe care s-a montat coaxial motorul și cutia de încercare, permite rotirea și fixarea ansamblului din poziție orizontală în poziție verticală din  $15^\circ$  în  $15^\circ$  (permițînd astfel studiarea dependenței cuplului rezidual și de poziția de funcționare a cuplajului).

Motorul electric de curent continuu din fig.4.15, alimentat de la grupul Ilgner prin intermediul pupitrului de comandă, a permis modificarea vitezei unghiulare în timpul încercărilor în domeniul 25...450 rad/s.

Viteza unghiulară a arborelui motor s-a măsurat numeric prin montajul "în impulsuri" prevăzut cu o sursă de lumină și

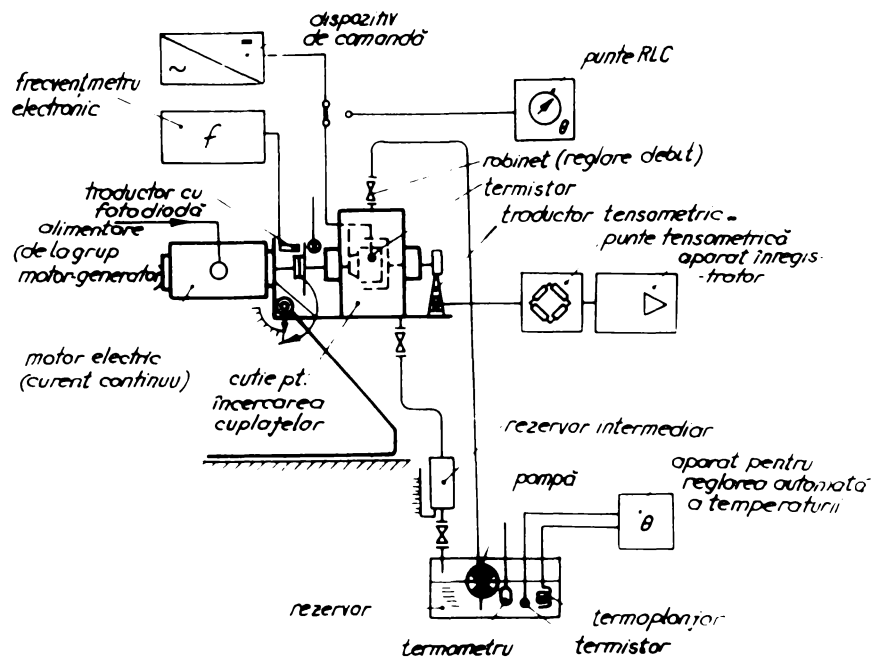


Fig.4.14

traductorul electrono-optic, un disc cu 6 fante, circuit de formare al semnalului și numărător electronic (utilizând ca frecvențimetru).

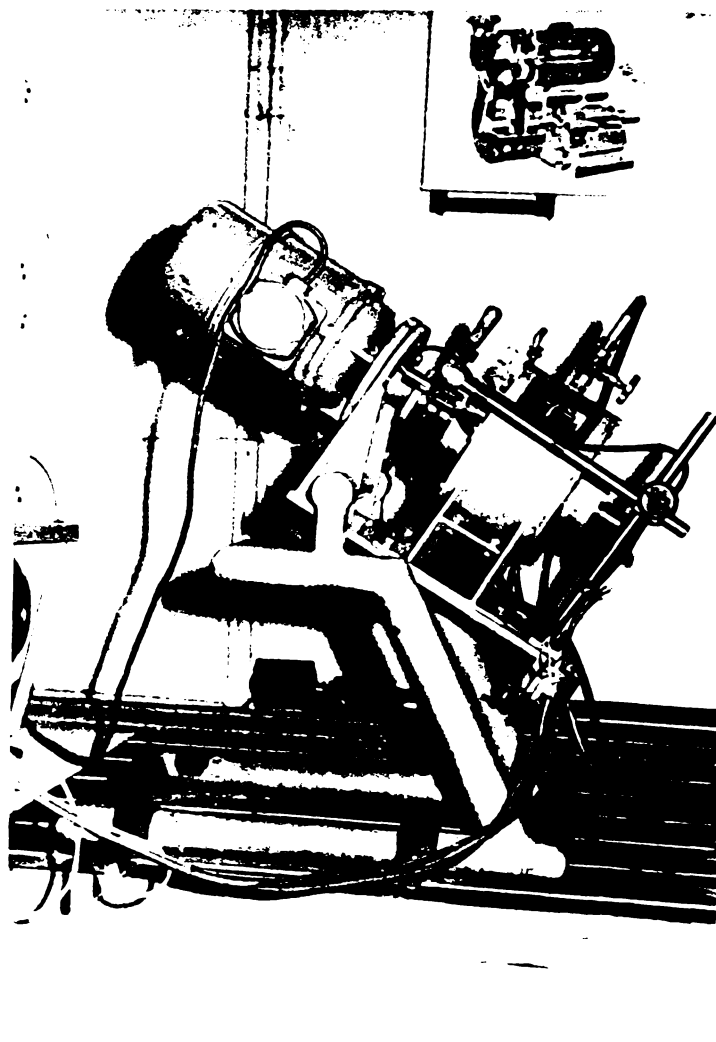


Fig.4.15

Pentru măsurarea cuplului rezidual s-a utilizat un transductor cu domeniul de măsurare (0...20) Nm construit în formă de bară de egală rezistență la încovoiere, încastrată la un capăt (având grosimea de 4 mm și lățimea la bază de 40 mm prevăzută cu tije tensometrice conectate în montaj de semipunte cu două traductoare active) prin care s-a imobilizat arborele de ieșire din cutia de încercare.

În fig.4.16, se prezintă o vedere de ansamblu a instalației experimentale.

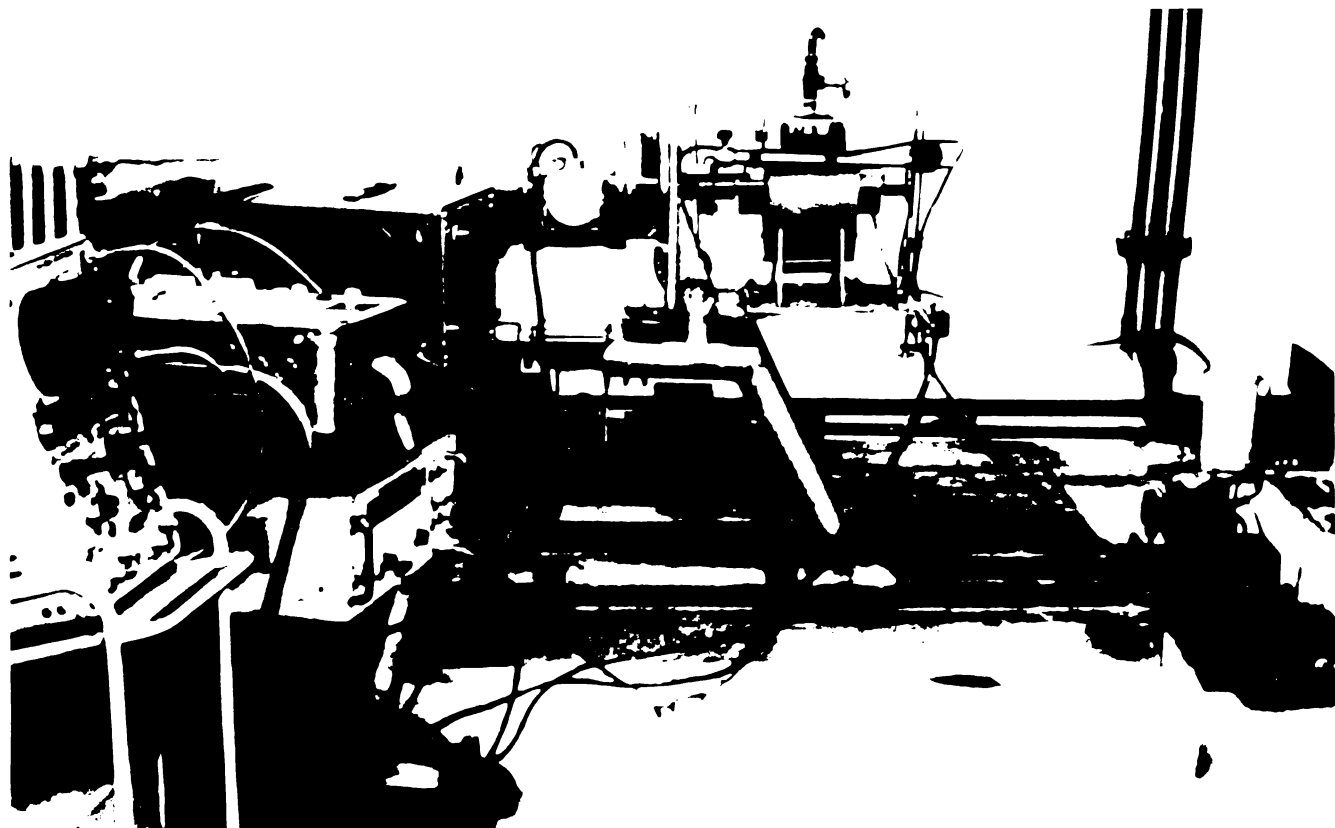


Fig.4.16

Al doilea montaj utilizat în același scop a prezentat avantajul unei mari stabilități a mișcării de rotație permițând însă reglarea vitezei unghiulare într-un domeniu mai restrâns (30...300 rad/s) și totodată funcționarea numai în poziție orizontală.

Spre deosebire de primul montaj, în locul motorului de curent continuu s-a utilizat acționarea cu motor asincron asociat cu un variator de viteză tip Kopp. După cum se poate observa din figura 4.17, montajul a fost realizat direct pe batiul standului universal.

Pentru măsurarea cuplului rezidual și a vitezei unghiulare s-au utilizat aceleași montaje de măsurare ca în fig.4.14.

Cablul de alimentare al cuplajului în ambele cazuri a

fost conectat la pupitrul de alimentare, comandă și protecție, de la care s-au executat înainte încercărilor experimentale, un număr de enclanșări cu forțarea excitației, pentru magnetizarea părților componente, în special la cuplajele cu lamele străbătute de fluxul magnetic, la care starea de magnetizare a lamelei exercită influență nefavorabilă asupra mărimii cuplului residual. Prin același cablu s-a conectat ulterior termistorul implantat în lamelă (vezi fig.4.11) a cărui rezistență (dependentă de temperatură) s-a măsurat cu o punte HIO, obți-

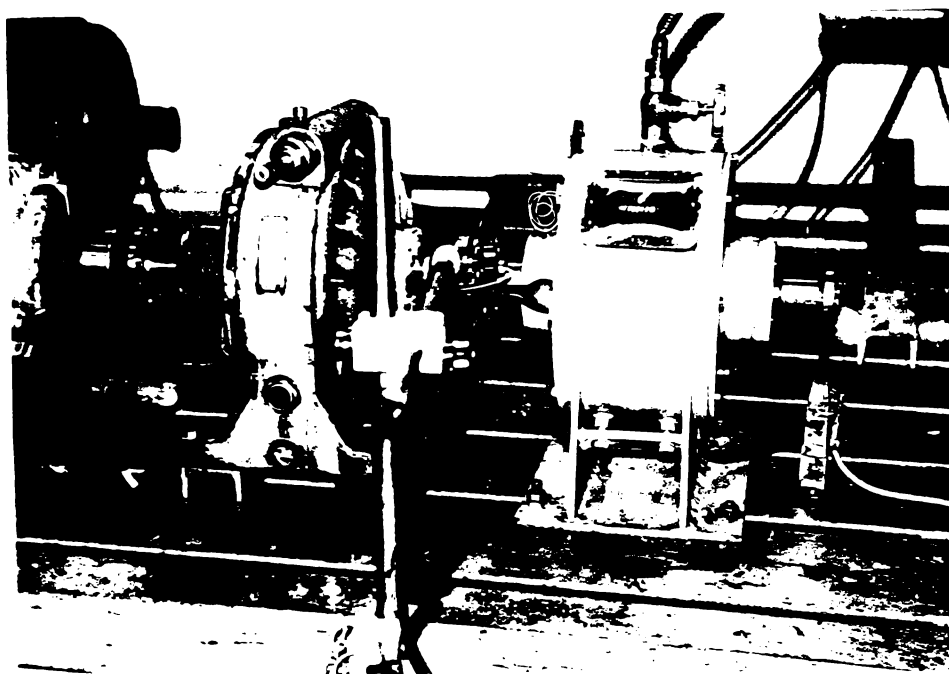


Fig.4.17

nindu-se astfel informații asupra încălzirii elementelor de fricțiune la funcționarea în stare decuplată.

Pentru lubrificare și răcire s-au utilizat patru sorturi de uleiuri minerale (cu viscozitatea cuprinsă între (2...3)  $^{\circ}$  R/50 $^{\circ}$ C) aplicându-se procedeele de răcire : prin stropire a pachetului de lamele, introducerea uleiului din interior, ungerea mixtă și ungerea prin imersarea cuplajelor (barbotaj).

Instalațiile prezentate au permis studierea dependenței cuplului residual de : natura materialului lamelelor, mărirea cuplajelor, viteza unghiulară relativă, modul de ungere-răcire, calitatea și debitul de ulei, poziția de funcționare etc., asigurând rezultatelor experimentale o bună reproductibilitate (dispersia valorilor a fost mai mică de  $\pm$  10 %).

Rezultatele experimentale și unele concluzii sînt cuprinse în § 5.2.



#### 4.2.3. Verificarea experimentală a funcționării cuplajelor electromagnetice încorporate în transmisia principală a strungului revolver SRO-40.

Cutia de viteze și avansuri sincronizate ale strungului revolver orizontal SRO-40 (fabricat de Intreprinderea "Strungul" din Arad) realizează preselecția, comanda de la distanță și comutarea treptelor de viteză și de avans prin intermediul cuplajelor electromagnetice cu fricțiune (I.M.Cugir tip 84.013 cu lamele nestrăbătute de fluxul magnetic).

Cercetările efectuate (vezi § 5.3) au urmărit studiul teoretic și experimental al funcționării lanțului cinematic de la mișcarea principală în regim tranzitoriu și stabilizat (produsul analizat fiind strungul revolver orizontal nr.40128/69 din dotarea Ateliereleor Școală și de Prototipuri).

Obiectivele acestei analize au fost :

- modul de utilizare a puterii disponibile la arborele motorului electric de acționare (determinându-se pierderile din transmisia mecanică la mersul în gol și în sarcină) ;
- determinarea cuplului maxim disponibil la arborele principal al mașinii  $M_{2m}$  în procesul de lucru (considerându-se că la fiecare treaptă de viteză valoarea limitativă a cuplului se produce odată cu patinarea unui cuplaj) ;
- stabilirea timpilor de accelerare  $t_a$  ai arborelui principal la pornire și schimbări de viteză ;
- controlul comportării efective a cuplajelor în raport cu performanțele de catalog ;
- analiza soluțiilor de montaj și a condițiilor de exploatare ale cuplajelor electromagnetice încorporate în structura cutiei de viteze.

Montajul experimental, mijloacele de investigație și metoda de testare folosită este specifică studiului transmisiilor mecanice care funcționează în circuit energetic deschis.

Principali parametri măsurați au fost cuplul motor la arborele de intrare în cutia de viteze și viteza unghiulară  $\omega_1$  a acestuia, cuplul rezistent creat cu o frână electromagnetică cu fricțiune (IMC tip 82.103-24 C1, cu domeniul de reglaj cuprins între 20...800 Nm) aplicat la arborele principal al cu-

tiei de viteze (arbore de ieșire) și viteza unghiulară  $\omega_2$  a acestuia.

Pentru măsurarea cuplurilor s-a introdus în lanțul cinematic, cuple torsionometrice tensometrice din dotarea standului universal.

Vitezele unghiulare  $\omega_{1,2}$  s-au măsurat prin impulsuri cu montajul de măsură din fig.4.18 prevăzut cu traductoare electro-optice.

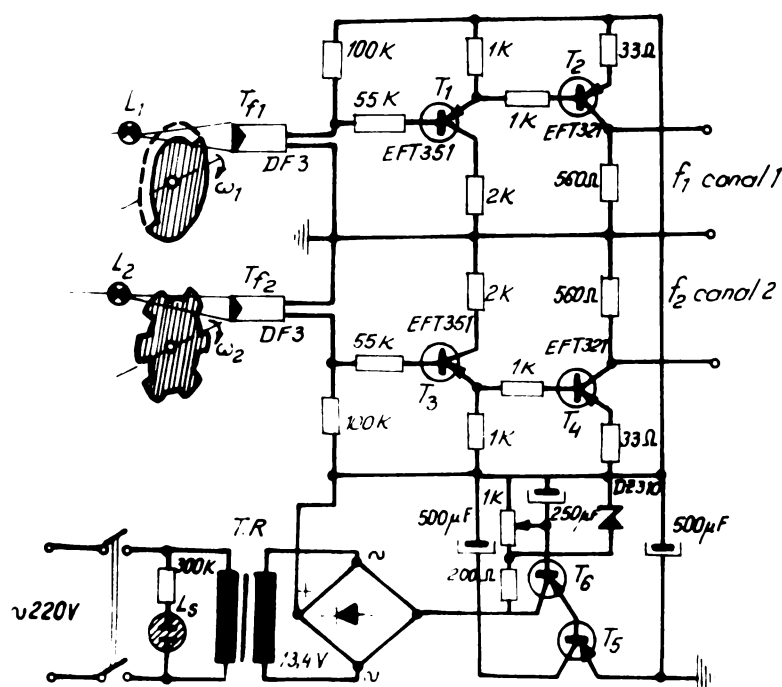


Fig.4.18

Schema de principiu a montajului experimental este redată în fig.4.19, în care s-au utilizat notațiile : M - motor electric asincron ( $P_n = 7,5 \text{ kW}$  ;  $n_n = 1450 \text{ rot/min}$ ) ; TM1, TM2 - cuple (traductoare) torsionometrice ;  $T_{f1}, T_{f2}$  - traductoare fotoelectrice (fotodiode DF3) ;  $L_1, L_2$  - lămpi cu incandescență ;  $df1, df2$  - discuri cu fante ( $df1$  cu 6 fante ;  $df2$  cu 1 sau cu 6 fante) ;

P - pompa de ulei ;  $C_1, C_2, C_3, C_4$  și  $C_6$  - cuplaje electromagnetice cu fricțiune ( $M_{Cn} = 100 \text{ Nm}$  tip 84.013-14 Cl) ;  $C_5, C_7, C_8$  - cuplaje electromagnetice cu fricțiune ( $M_{Cn} = 200 \text{ Nm}$  tip 84.013-16 Cl) ; CA - cutie de avans ; R - redresor pentru alimentarea frinei (F) ;  $C_{f1}, C_{f2}$  - circuite de formare și amplificarea semnalelor furnizate de fotodiode ; PT1, PT2 - punți tensometrice (statice și dinamice tip UM 111-RFT) ; I.R. - oscilograf cu bucle (12 LS 1 RFT) ; BACP - blocul de alimentare, comandă și protecție al strungului revolver.

În fig.4.20 se prezintă o vedere parțială a mașinii unelte încercate și a echipamentului de măsurare și de frinare.

Pentru urmărirea vizuală a funcționării cutiei de viteze, îndeosebi a cuplajelor încorporate, capacul original al cutiei a

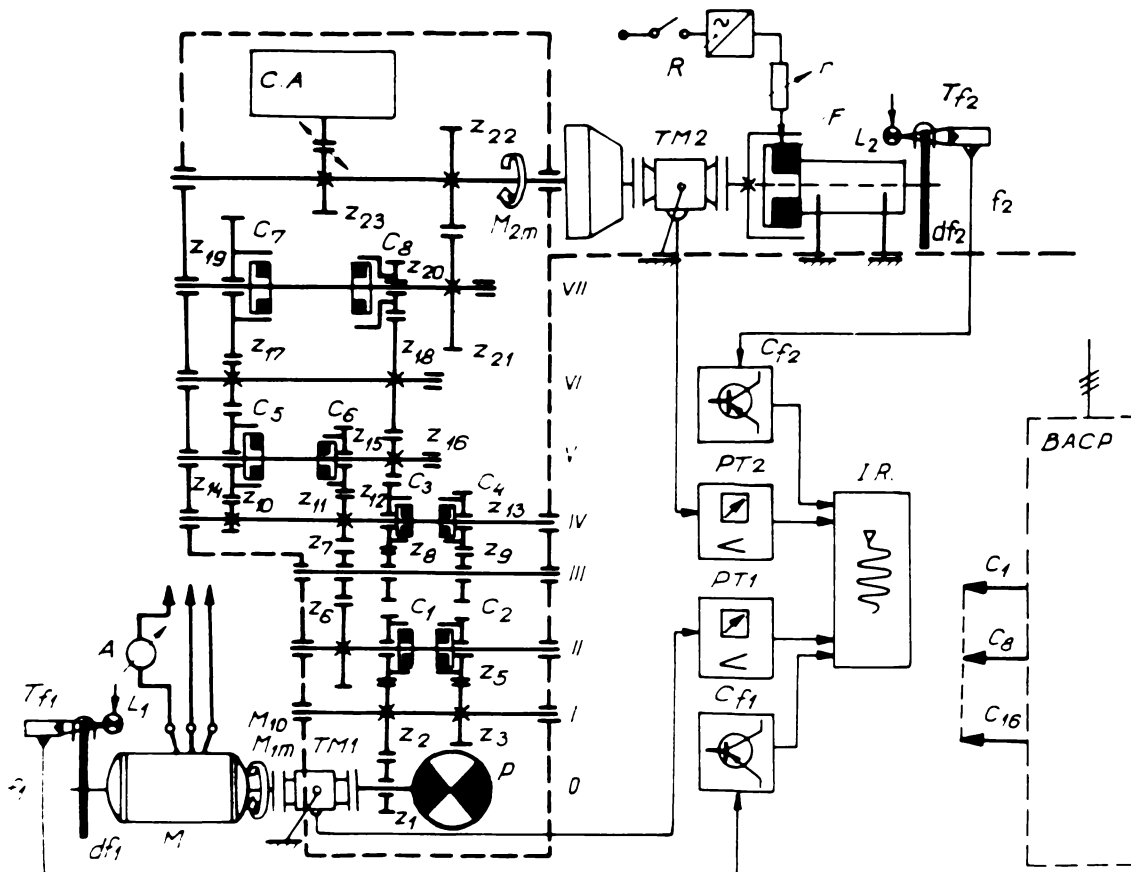


Fig.4.19

foșt înlocuit în timpul încercărilor printr-un capac transparent.

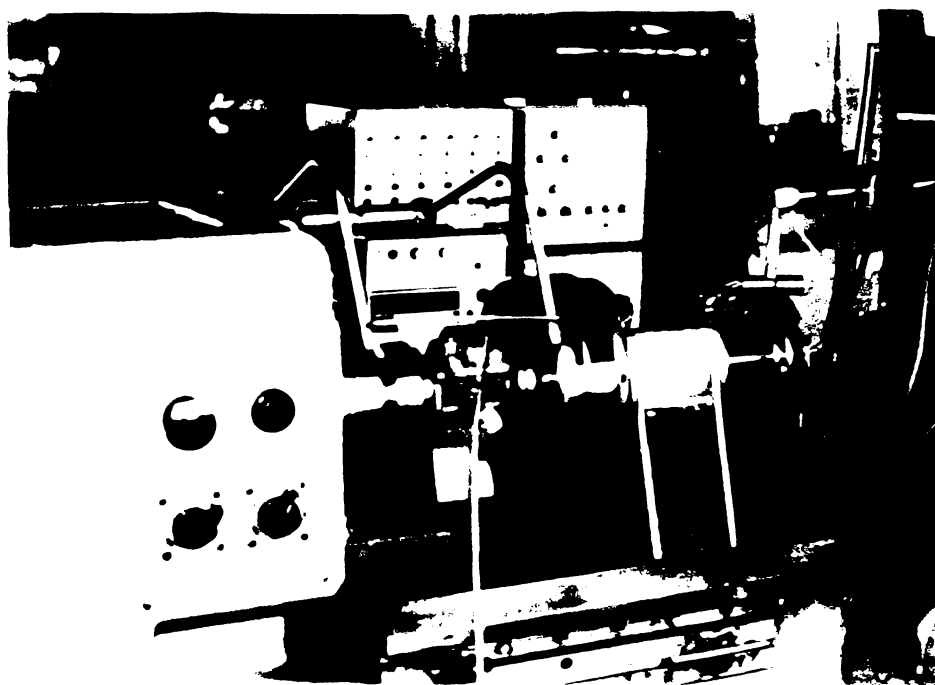


Fig.4.20

Pentru diferite poziții ale selectorului s-au realizat 16 trepte de viteză corespunzător cărora starea cuplajelor elec-

tromagnetice din fig.4.19 este indicată în Tabelul 4.2.

Tabelul 4.2

Treapta de viteză	Turația rot/min	STAREA CUPLAJELOR ELECTROMAGNETICE CU FRICTIUNE (x- anclanșat).							
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>
1	56	x		x		x		x	
2	90	x			x	x		x	
3	112		x	x		x		x	
4	140	x		x			x	x	
5	180		x		x	x			
6	224	x			x		x	x	
7	280		x	x			x	x	
8	355	x		x		x			x
9	450		x		x		x	x	
10	560	x			x	x			x
11	710		x	x		x			x
12	910	x		x			x		x
13	1120		x		x	x			x
14	1400	x			x		x		x
15	1800		x	x			x		x
16	2000		x		x		x		x

Din confruntarea datelor experimentale cu cele derivate din studiul analitic, au rezultat unele concluzii utile alegerii și exploatarei cuplajelor încorporate în mașini unelte (concluzii redată în § 5.3).

**4.2.4. Montaje pentru determinarea caracteristicilor statice și dinamice ale electromagnetilor de acționare și ale CEF.**

Complexitatea factorilor funcționali face imposibilă dezinerea și implicit determinarea integrală pe cale teoretică a caracteristicilor statice  $F_0 = F_0(\delta_0)$  și dinamice  $F_0 = F_0(t)$  ale electromagnetilor integrați în structura cuplajelor cu fricțiune. În aceste motive s-a recurs la cercetarea experimentală, care a văzut drept scop verificarea unor aspecte în legătură cu teoria

elaborată în cadrul capitolelor 2 și 3.

Indiferent de natura mijloacelor de investigație, caracteristica statică a electromagnetului se determină în regim stabilizat prin variația parametrilor :

- întrefier în stare anclanșată ( $\delta_0$ ) și curent de excitație I (solenafie  $\approx$ ).

Principiul metodei experimentale rezultă din fig.4.21.

Cuplajul, alimentat de la o sursă de curent continuu stabilizată și reglabilă în trepte (tip IEMI 14102, 2 x 40 V, 1 A), a fost suspendat articulat.

Armătura atrasă sub acțiunea forței electromagnetice a fost legată articulat la un braț orizontal la capătul căruia s-a montat un taler cu greutate.

La un întrefier reglat inițial și o solenafie acceptată, caracteristica staționară se determină punct cu punct pentru valori li-

Fig.4.21

mită ale forței exterioare la care se produce desprinderea armăturii.

Determinarea caracteristicii dinamice a electromagnetului s-a impus înlocuirea pachetului de lamele printr-un dinamometru de compresiune din cele prezentate în fotografia din fig.4.11.

Schea de principiu a montajului pentru ridicarea caracteristicii  $F_0 = F_0(t)$  este prezentată în fig.4.22.

Bobina de excitație a cuplajului s-a conectat în acest caz la echipamentul de alimentare, comandă și protecție al standului universal. Pentru obținerea informației, s-au înregistrat pe hârtie fotosensibilă semnalele de variație în timp ale curentului de excitație și a forței electromagnetice.

În fig.4.23 se prezintă o vedere parțială a montajului experimental.

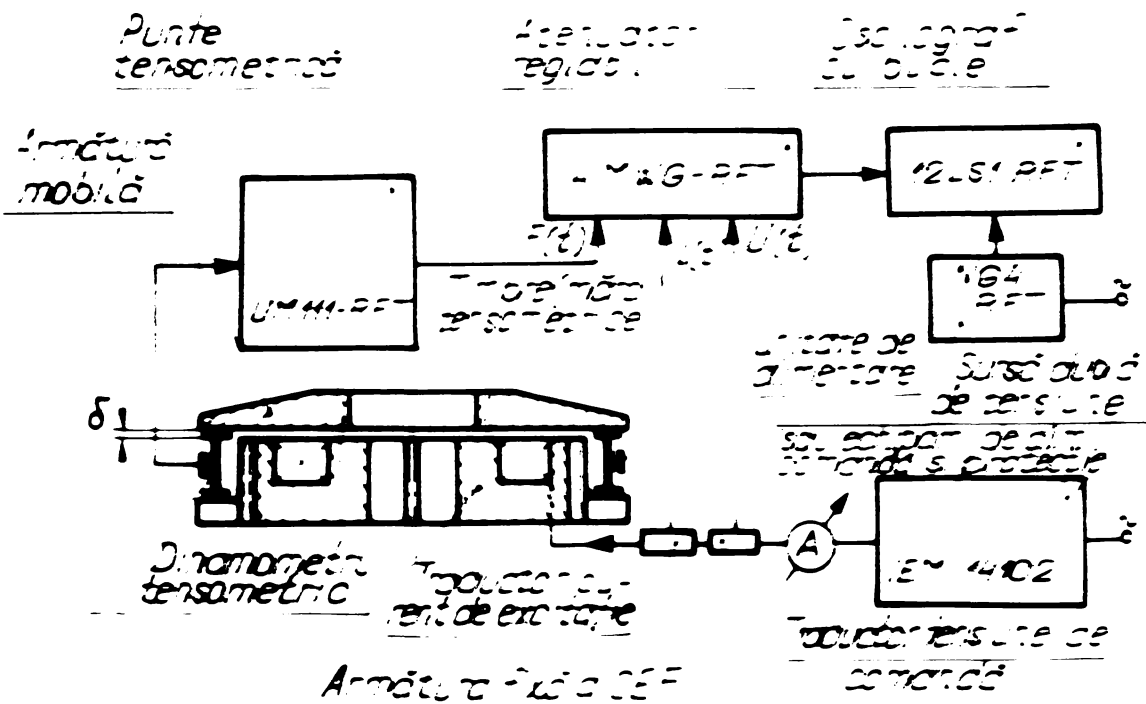


Fig.4.22

Încercări conexe (comparația de material, tratamente termice de ameliorare etc.) privitoare la comportamentul feromagnetic al unor materiale - indigene și străine - cu implicații directe asupra caracteristicilor electromagnetice, s-au efectuat pe epruvete în formă de bare prismatice cu ajutorul pernoanometrului Ilievici.

Unele concluzii desprinse în urma desfășurării programului experimental și prelucrării datelor, sînt cuprinse în § 5.1.

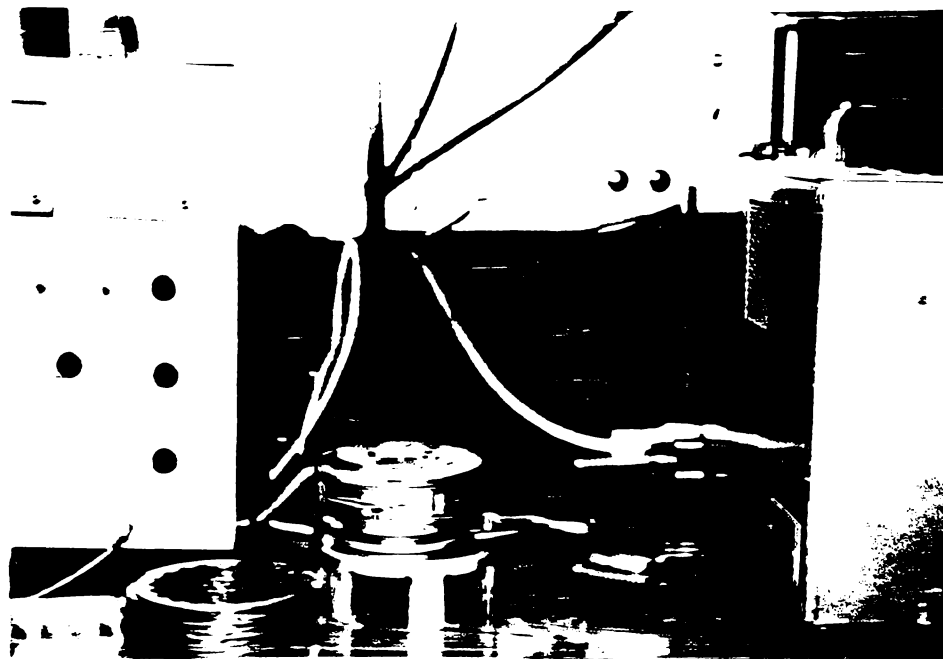
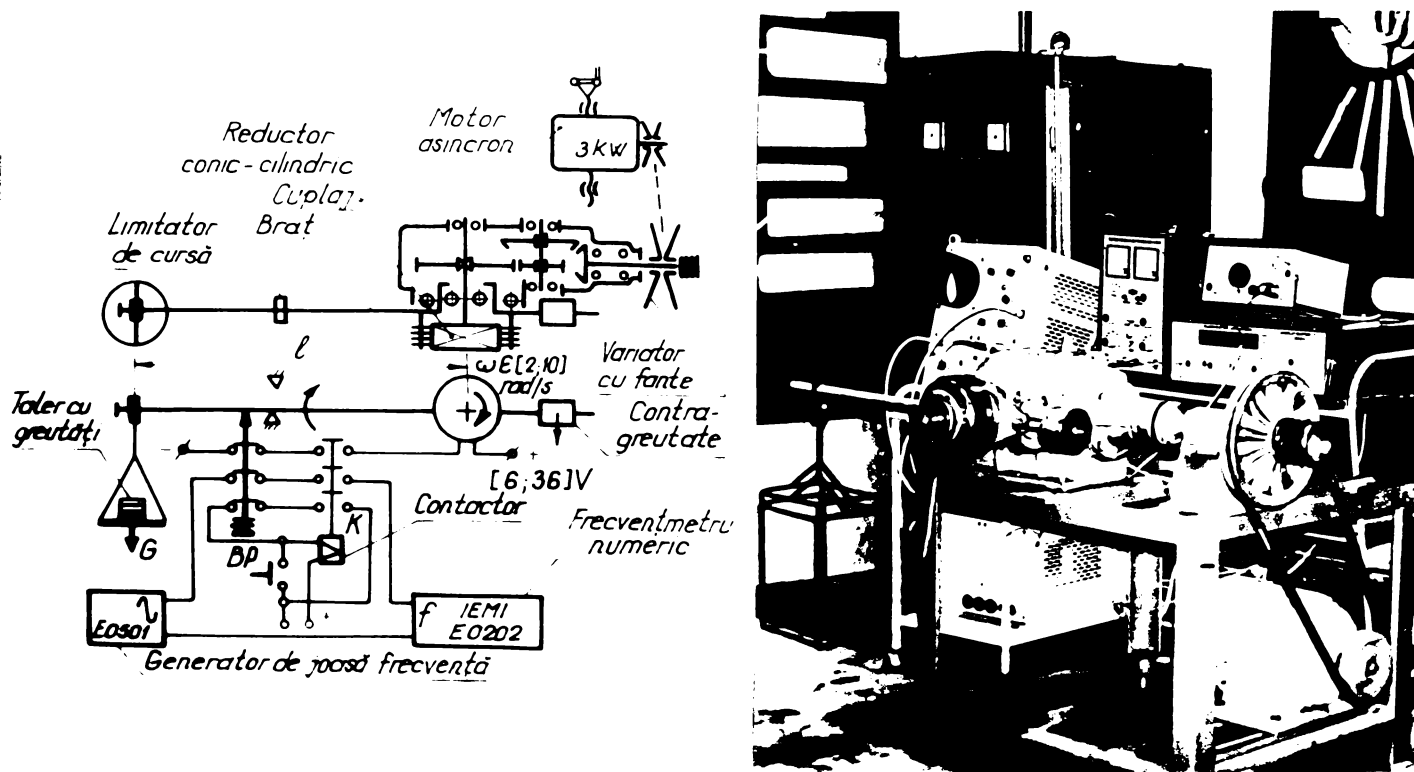


Fig.4.23.

Verificarea teoriei elaborate, referitoare la funcționarea C&P în sistemele de acționare (§ 2.3) a necesitat construirea

a două instalații experimentale specializate de concepție originală.

- Standul prezentat în fig.4.24 a (schema de principiu) și b (vedere parțială) servește la ridicarea continuă sau punct cu punct a caracteristicii dinamice a CEF.



a

Fig.4.24

b

După cum se poate observa din fig.4.24 a, antrenarea corpului cuplajului este asigurată printr-un ansamblu constituit din motorul asincron trifazat, variatorul mono cu curea trapezoidală și reductorul conico-cilindric. Astfel, pentru motorul cu puterea nominală de 3 kW la turație de 1440 rot/min, viteza unghiulară relativă dintre lamelele cuplajului se poate regla continuu în domeniul  $\omega_r \in [2,5 ; 10]$  rad/s. Cuplul rezistent  $M_2 \leq 300$  Nm se aplică asupra antrenorului exterior și este creat cu un braț ( $l = 0,5$  m) înărocat la una din extremități cu greutate variabilă. Timpul până când cuplajul este capabil să dezvolte un cuplu comutabil ce depășește cuplul rezistent prestabilit, se măsoară pe cale electronică cu ajutorul unui generator de joasă frecvență și a unui numărător electronic utilizat ca frecvențmetru. Micro-contactorul fixat pe suportul brațului comandă simultan circuitul de excitație al cuplajului și sistemul de cronometrare.

Pentru a nu se provoca suprasolicitarea cuplajului, în schema de comandă, se întrerupe circuitul de excitație până la o

noastră comandă de anelare în momentul depășirii cuplului rezistent de către cuplul comutabil (adică la ridicarea brațului de pe suport).

În scopul ridicării continue a caracteristicii dinamice, mișcarea antrenorului exterior este împiedicată printr-o lamelă dinamometrică (de tipul celei utilizate pentru măsurarea cuplului rezidual § 4.2). Variația în timp a cuplului comutabil se înregistrează în acest caz prin oscilografieră.

- Standul prezentat în fig.4.25 a (schemă de principiu) și b (vedere parțială), este un tribenstru (specializat pentru elementele de frecare de formă lamelare utilizate în construcția GEF).

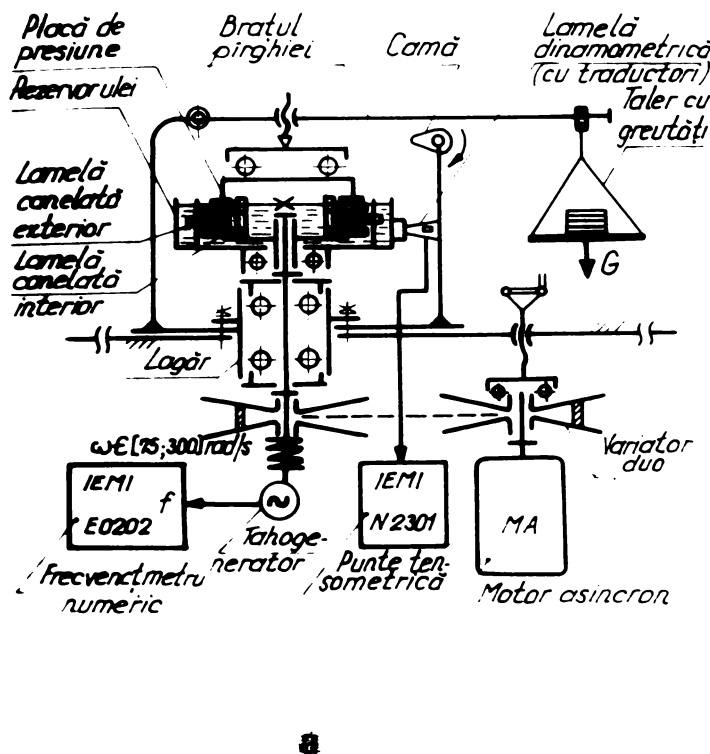


Fig.4.25

Lamelele mobile (canelate interior) sînt antrenate prin ansamblul constituit din motorul asincron trifazat și variatorul duo cu curea trapezoidală lată. Astfel, pentru puterea nominală a motorului  $P_n = 3 \text{ kW}$  la turația de 1440 rot/min, viteza la nivelul diametrului mediu al lamelarelor se poate modifica în domeniul  $v_m \in [2 ; 10] \text{ m/s}$ . Lamelele fixe (canelate exterior) sînt blocate prin intermediul unei lamele dinamometru prevăzută cu traductoare tensometrice rezistive.

Prin sistemul de încărcare, realizat cu o pirghie de gradul II, presiunea la nivelul suprafețelor de frecare se poate modi-



fiea în trepte până la valoarea critică de  $1,5 \text{ N/mm}^2$ .

Astfel, pentru condițiile de frecare uscată sau limită se pot defini coeficienții de frecare și se pot studia limitele de variație ale acestora în domeniul usual al presiunilor și vitezelor de alunecare.

Concluziile desprinse din desfășurarea programului experimental și prelucrarea datelor sînt conținute în § 5.1.

## CAP. 5. REZULTATE EXPERIMENTALE.

Pentru a da răspuns unor probleme de stringență actualitate ce confruntă construcția și utilizarea C&F și pentru a verifica măsura în care se confirmă ipotezele admise în elaborarea teoriei privitoare la dimensionarea și funcționarea acestor cuplaje în sistemele de acționare electrice, s-a inițiat și executat un program experimental variat.

Rezultatele cercetărilor au fost grupate pe probleme conexe. Astfel, în § 5.1, consacrat funcționării C&F în stare anclanșată, s-au abordat problemele legate de caracteristica mecanică dinamică a C&F în scopul stăpînirii cu o mai mare precizie a multiplelor aspecte legate de procesul tranzitoriu de ambreiere. S-au verificat totodată posibilitățile de sporire ale cuplului comutabil nominal al C&F prin utilizarea metodei de re-proiectare electromagnetice optimă, propusă de autor.

Programul de încercări conținut în § 5.2 axat pe regimul de funcționare al C&F lubrificate în stare declanșată, a urmărit elucidarea unor aspecte de mare importanță ridicate de procesele disipative. Rezultatele obținute (prezentate sintetic în teză) permit, pe lângă explicarea acestor fenomene, și determinarea regimurilor optime de lubrificare-răcire.

Studiile a caror rezultate sînt cuprinse în § 5.3 au avut dublul scop și anume: de cercetare a funcționării C&F într-un caz real, în lanțul cinematic al unui strung revolver și de furnizare pentru producție a unor informații utile privitoare la comportarea și posibilitățile de reducere a pierderilor energetice din sistemul de acționare la mișcarea principală.

**2.1. Cercetarea experimentală a cuplului comutabil și a procesului de ambreiere.**

Obiectivele cercetării asupra mai multor tipodimensiuni de cuplaje în stare anclanșată au fost expuse în § 3.3 și § 4.2.1.

Măsurătorile în regim tranzitoriu - finalizate în urma prelucrării unui mare număr de oscilograme - și cele în regim stabilizat (cuplat) au permis precizarea influențelor exercitate de cuplaje, înosebi în perioadele de ambreiere, asupra funcționării de ansamblu a sistemelor de acționare electrică.

În acest context trebuie subliniat că funcția  $M_C(t)$  are o influență hotărîtoare asupra preciziei soluțiilor ecuațiilor mișcării arborilor ce se cuplează (vezi § 2.1.2), implicit asupra timpilor caracteristici ai procesului de ambreiere. Independent de metoda de măsurare folosită, fie continuă, prin oscilografieră pe montajul din fig. 4.12, fie discontinuă, prin puncte cu instalația din figura 4.24, verificările efectuate au relevat o bună concordanță între dependența teoretică  $M_C(t)$  propusă de autor și rezultatele experimentale. Conform fig. 5.1, abaterea relativă a valorilor măsurate (obținute prin suprapunerea oscilogramelor) față de cele calculate cu relația (2.45), prezintă o dispersie medie acceptabilă în perioada de inițiere a procesului de anclanșare, dispersie medie ce se reduce substanțial spre sfârșitul acestuia.

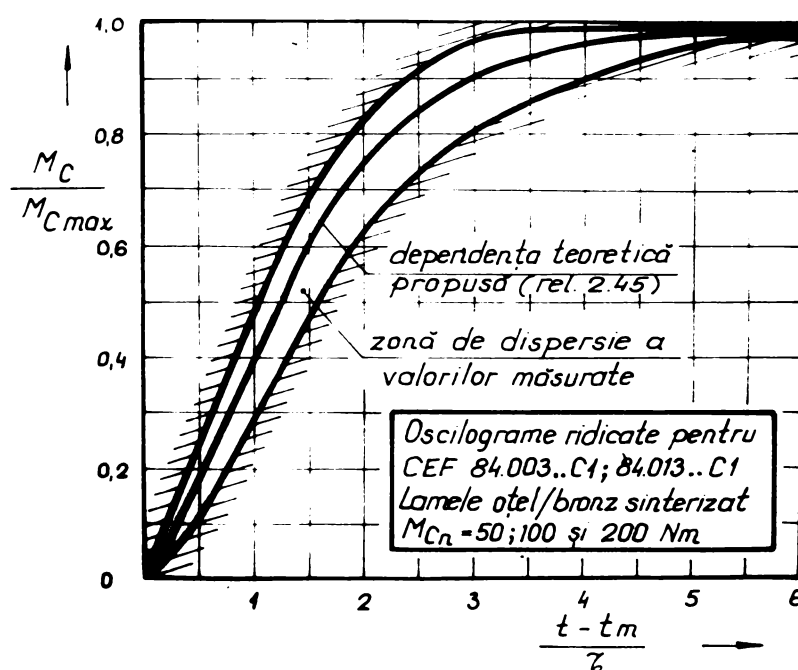


Fig. 5.1

Figurile 5.2, a și b, exemplifică prin determinări particulare (în cazul funcționării uscate și în ulei) apropierea dintre alura curbei teoretice (1) de cea experimentală (3). Prin curba (2) s-a reprezentat exponențiala dată de relația (2.21) a cărei constantă de timp ( $\tau_e$ ) este egală cu constanta electromagnetică de timp ( $\tau$ ) a CEF.

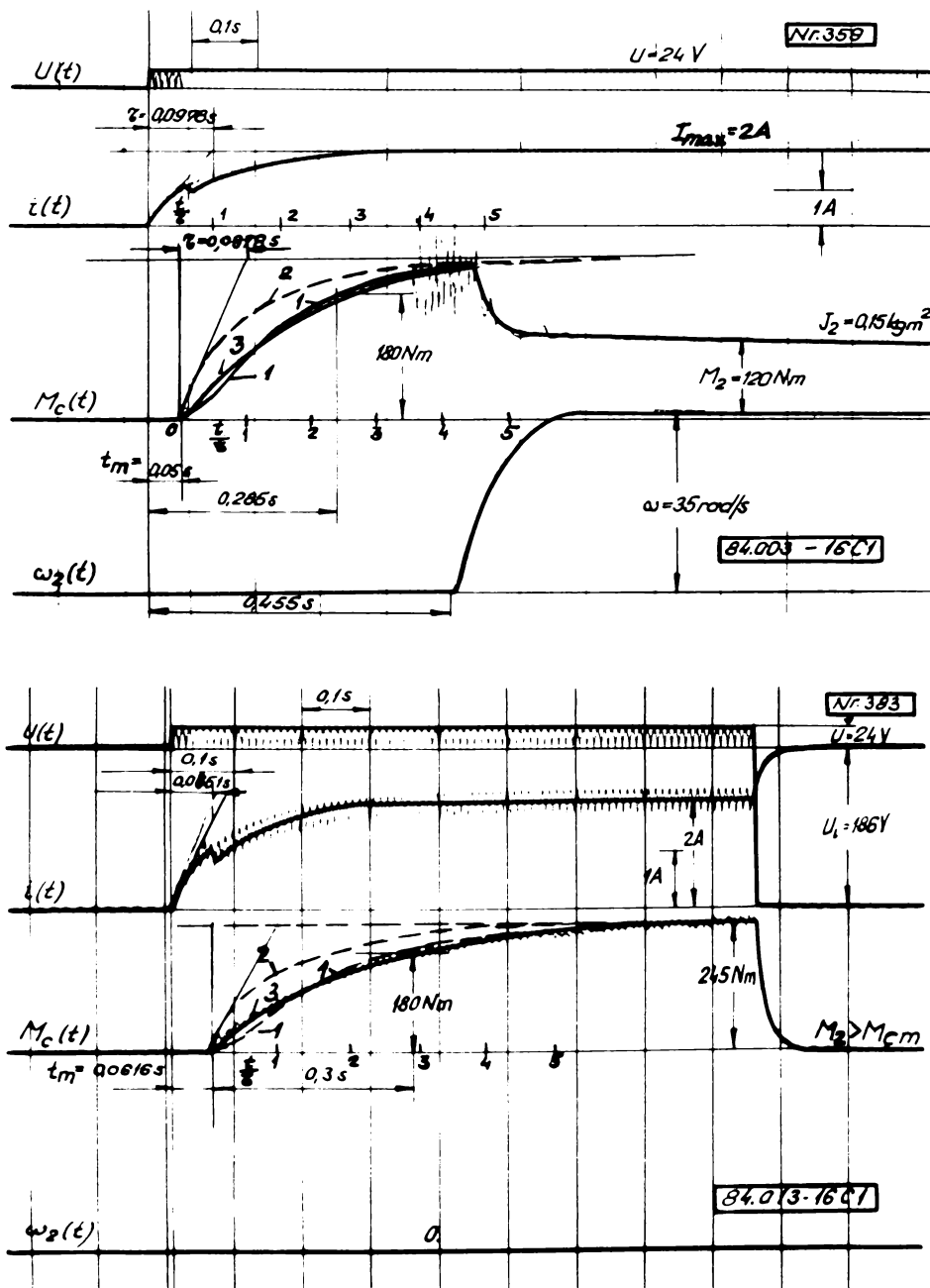


Fig. 5.2

În fig. 5.3 s-au comparat rezultatele teoretice (rel. 2.21) și experimentale obținute de O.N. Fatur și G.2. Flidlider [130] cu valorile experimentale proprii și caracteristica mecanică dinamică a CEF stabilită în lucrare. Se observă acut precizia, cât și fidelitatea mai bună a ecuației (2.45) cu toate ca O.N. Fatur și G.2. Flidlider acceptaseră cazul cel mai avantajos  $\tau_e = 1,3 \tau$ . La aceea-

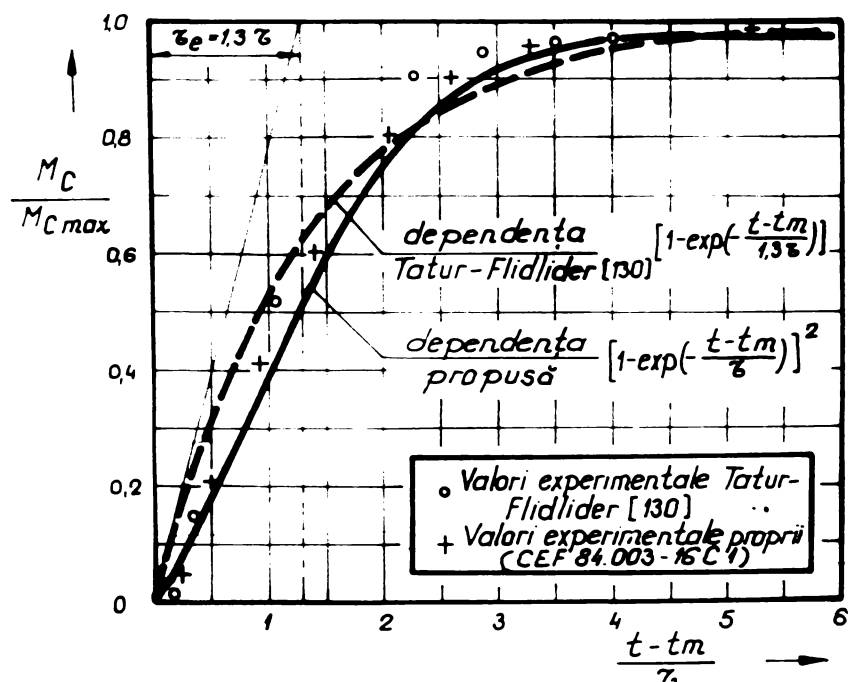


Fig. 5.3

și concluzie s-a ajuns și în urma comparării calitative și cantitative a cercetărilor proprii cu alte rezultate cunoscute [4, 15, 27, 57 și 88].

Cu toate avantajele modelului propus, între valorile măsurate și cele teoretice din fig. 5.1 apar unele diferențe îndosebi în faza de inițiere a creșterii cuplului comutabil (după cum s-a semnalat la începutul paragrafului). Aceste diferențe, evidențiate prin măsurători suplimentare, au următoarele explicații :

a). Ipoteza simplificatoare  $\mu_{al} = \text{const.}$ , acceptată în elaborarea teoriei (v. § 2.2) se abate de la realitate în perioada de anclanșare a CCF, ca urmare a variațiilor vitezei relative ( $v_r$ ) și a presiunii efective ( $p_{ef}$ ) dintre lamele, în condițiile existenței sau inexistenței mediului lubrifiant. Rezultatele obținute de autor (pe instalația din fig. 4.25), în deplină concordanță cu unele informații similare [56, 57, 102 și 159] pentru perechea de fricțiune Ol/Bz uns și uscat :

$$\forall v_r \leq 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cup p_{ef} \leq 1,5 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \left] \frac{\mu_{al \max}}{\mu_{al \min}} \in [1,05; 1,35]$$

dovedesc motivul pentru care abaterea valorilor experimentale față de cele teoretice pot oscila în limite de  $\pm 15\%$ .

b). În procesul anclanșării, în faza incipientă a creșterii forței electromagnetice, ciocnirea dintre armătura și pachetul de lamele (fenomen greu de stabilit teoretic) introduce o perturbare suplimentară. Fig. 5.4 reliefează impactul armătura-pachet de lamele și confirmă totodată concordanța dintre variația efectivă a forței și variația teoretică acceptată (rel. 2.37).

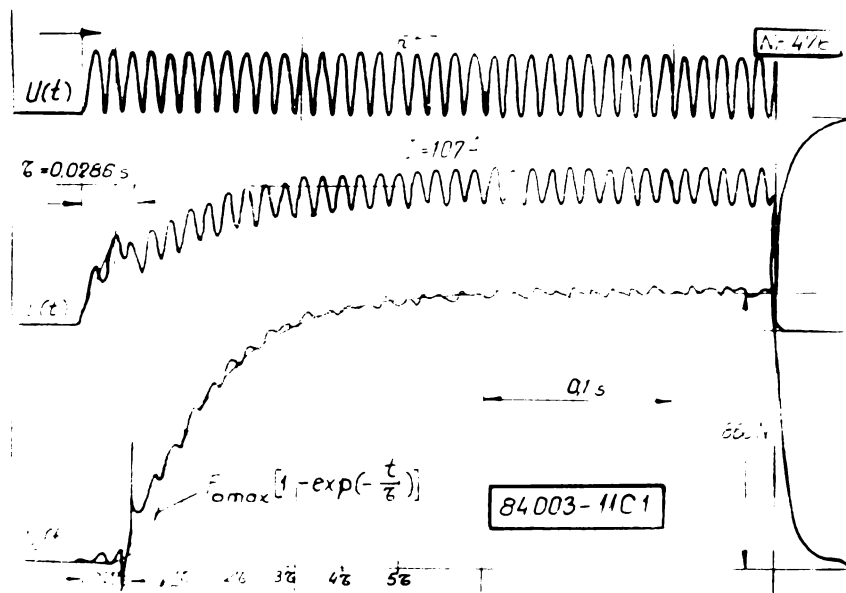


Fig. 5.4

Acest aspect a fost analizat prin executarea unei serii de încercări pe montajul prezentat în fig. 4.22 și 4.23.

c). Modificarea permeabilității materialului feromagnetic cu starea de magnetizare variabilă în procesul anclanșării.

Proprietățile feromagnetice ale materialului din circuitul magnetic al CBF exercită o influență importantă asupra alurii creșterii, cit și a valorii maxime a forței electromagnetice, implicit a cuplului comutabil. Pentru acest motiv, măsurătorile magnetice efectuate de autor au avut drept scop cunoașterea limitelor de variație ale permeabilității magnetice cu starea de magnetizare precum și posibilitatea ameliorării calităților magnetice ale fierului tehnic par  $\mu \times 10^3$ ) folosit cu precauere la fabricarea CBF, precum și a unor sorturi de oțeluri indigene nealiate cu un conținut de carbon relativ scăzut (OL 32, OL 37, OLC 15, OL 50 ș.a).

Curbele de magnetizare ridicate  $\mu \times 10^3$ ) pe epruvete în forma de bară prismatică (10 x 10 x 250 mm.) au confirmat influența favorabilă a tratamentului termic de recoacere ca mijloc de ameliorare a calității în toate cazurile analizate, efect mai pregnant la materialele cu un conținut de carbon ceva mai ridicat, de exemplu la oțelul standardizat OL 37, a cărui analiză evidențiază și

<sup>\*)</sup> Conform buletinului de analiză nr. 2435/70, prezintă compoziția chimică : 0,02 % C ; 0,18 % Mn ; 0,11 % Si ; 0,010 % P ; 0,013 % S și 0,11 % Al, limita de curgere 237 N/mm<sup>2</sup> și rezistența de rupere la tracțiune 327 N/mm<sup>2</sup>.

<sup>\*\*)</sup> Rezultatele cercetărilor au fost transmise I.M. Cugir. O parte din acestea au fost prezentate în referatul nr. 1 din cadrul pregătirii pentru doctorat, 1972, pag. 54-56.

conținutul altor elemente <sup>\*)</sup>.

Dependențele  $B = f(H)$  și  $\mu = f(B)$  din fig. 5.5, dovedesc că printr-un tratament termic adecvat se pot obține performanțe

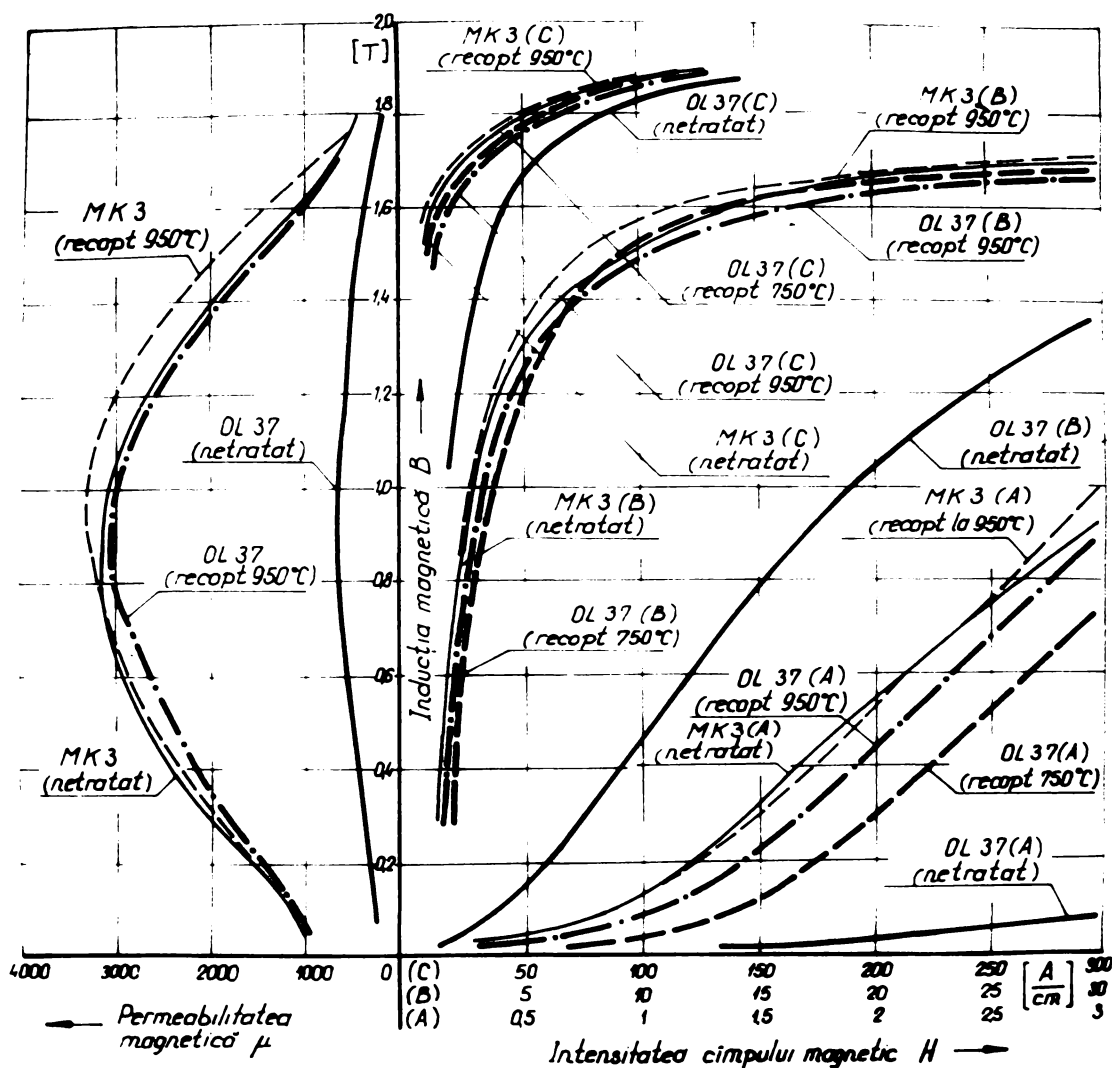


Fig. 5.5

satisfacătoare folosindu-se în unele aplicații oțeluri laminare standardizate cu un conținut de carbon relativ redus <sup>\*\*)</sup>. În aceeași ordine de idei, trebuie remarcat că tratamentul termic de recocercere aplicat la temperatura de 750°-750°C (cu menținere timp de 10 ore, urmată de o răcire lentă de 30°...50°C/oră) ameliorează calitățile indeosebi în porțiunea reversibilă de saturare a curbei de magnetizare (la inducții magnetice mai mari de 1,4 T).

\*)

Conform buletinelului de analiză UMC/10.V.1971, prezintă compoziția chimică : 0,18 % C ; 0,5 % Mn ; 0,03 % Si ; 0,017 % P și 0,007 % S.

\*\*)

Înlocuirea fontei Fc 24 prin DL 32 recoapt la 950°C la confecționarea armaturii fixe, a condus la ridicarea substanțială a performanțelor și siguranței în funcționare a frinei axiale cu ridicător electromagnetic incorporată în motorul electric ASI 7,5 kW (Contract IPTVA-OM nr. 89/76, beneficiar : Întreprinderea "6 Martie" Timișoara).

recoacerea la temperaturi cuprinse între  $950^{\circ}$  -  $1100^{\circ}$ C (încalzire și răcire lentă cu o variație a temperaturii de  $30^{\circ}$ ...  $50^{\circ}$ C/oră) contribuie la îmbunătățirea calității oțelului cu precădere în porțiunea ireversibilă a curbei de magnetizare (la inducții magnetice cuprinse între 0,3...1,4 T). Tratatamentul de recoacere la temperaturi cuprinse între  $850^{\circ}$ ... $900^{\circ}$ C (cu o răcire lentă de  $20^{\circ}$ ... $30^{\circ}$ C/oră) a condus la rezultate ce s-au situat între valorile obținute în cazurile analizate anterior.

Se poate afirma că printr-un efort minim de cercetare s-ar putea obține în producția indigenă, materiale echivalente fierului tehnic AK 3, reducându-se astfel eforturile valutare cerute de producția actuală de CEF.

Cercetarea experimentală propriu-zisă axată pe studiul proceselor de ambreiere din sistemele de acționare prevăzute cu CEF a avut ca scop principal determinarea timpilor caracteristici (timp mort  $t_m$ , timp de creștere  $t_c$ , timp de anclanșare  $t_{an} = t_m + t_c$ , timp de ambreiere  $t_a$  și timp de cuplare  $t_c$ ) definiți în § 2.1.2.

Programul experimental - finalizat prin prelucrarea a 355 oscilोगrame - pentru cele 48 regimuri de încercare (exemplificate în fig. 5.6 a...e, 5.7 a...d și 5.8 a...d) a permis obținerea de informații utile <sup>m)</sup> și pentru completarea unor date noi de catalog la 6 tipodimensiuni de CEF, frecvent utilizate îndeosebi pentru funcționarea comandată prin supraexcitație.

Tabelul 5.1 cuprinde datele respective (în valori medii) pentru cuplajul 84.003-14 Cl.

Tabelul 5.1

Nr. crt.	Denumire și simbol	U/m	Anclanșare normală	Anclanșare prin supraexcitație		
				$\alpha = 2,5$	$\alpha = 3,5$	$\alpha = 5$
1.	Timp mort $t_m$	s	0,038	0,016	0,011	0,009
2.	Timp de creștere $t_c$	s	0,100	0,025	0,012	0,010
3.	Timp de anclanșare $t_{an}$	s	0,138	0,041	0,023	0,019
4.	Timp de declanșare $t_d$	s		0,055		
5.	Tensiunea indusă la declanșare $U_1$	V		165		

<sup>m)</sup> Rezultatele primare și cele prelucrate sînt conținute de protocolul la contractul I.R.VI-UMM nr. 3205/73, fazele 1973 și 1974, beneficiar I.N.Cugir.

Se evidențiază că durata proceselor tranzitorii la pornirea unei mașini de lucru cuplată rigid cu mașina motoare (fig. 5.6 a) în raport cu situația în care mașina motoare se află în regim de mișcare stabilizată, iar pornirea mașinii de lucru se produce prin anclanșarea unui CEF interpus între arborii celor două mașini (fig. 5.6 b...e), diferă sensibil.

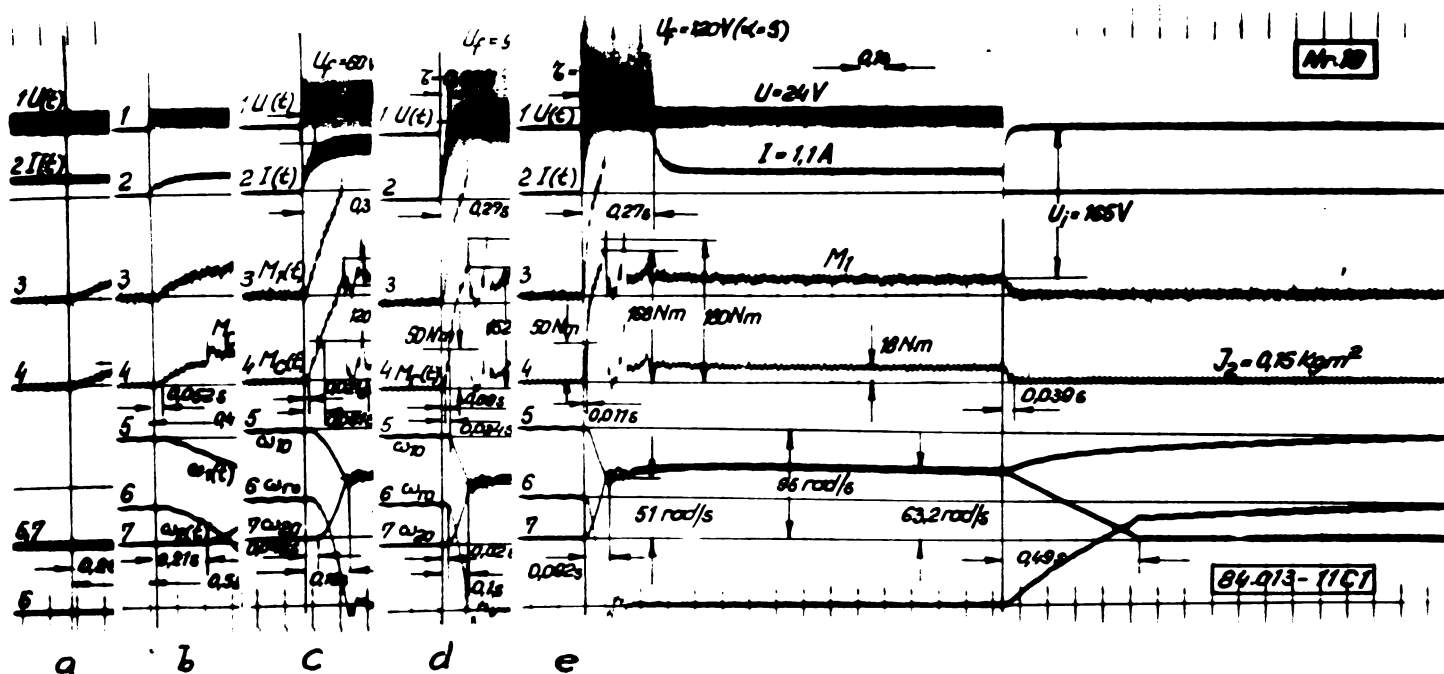


Fig. 5.6

Durata procesului tranzitoriu în cea de-a doua alternativă poate fi modificată în limite relativ largi, dependente de modul în care este comandat cuplajul (vezi fig. 5.6, b și 5.6, e).

Sistemele de acționare electrice simulate pe model funcțional (vezi fig. 4.13, în care cuplul nominal al motorului  $M_{1n} = 54 \text{ Nm}$ , momentul de inerție  $J_1 = 0,22 \text{ kgm}^2$ ; cuplul rezistent  $M_2 \leq 60 \text{ Nm}$ , momentul de inerție  $J_2 \in [0,03; 0,15] \text{ kgm}^2$  și CEF din grupele 34.003 și 34.013 marimile 11 și 14) au permis cercetarea aspectelor menționate anterior. Rezultatele prelucrate sînt sintetizate în tabelul 5.2, considerîndu-se regim de referință anclanșarea cuplajului în regim normal ( $U_n = 24 \text{ V}$ ).

Dupa cum era de așteptat, se evidențiază posibilitatea modificării și reducerii substanțiale a duratei fenomenelor tranzitorii, atunci cînd în lanțurile cinematice ale mașinilor și utilajelor se includ CEF. În cazurile analizate, timpul de ambreiere nouiu s-a micșorat proporțional cu mărirea coeficientului de supraexcitație  $\alpha$ .

Seria de oscilograme din fig. 5.7 a...d confirmă că odată cu variația vitezei unghiulare relative maxime (sau inițiale), durata procesului de ambreiere se modifică [dependența  $\omega_{r \max} = \omega_{r \max}(t_s)$  nu este liniară, vezi § 2.5.2].



Tabloul 5.2

Nr. Fieșul de accelerare crt. la acționarea directă a mașinii de lucru de către mașina motoare (1:2) [s].	Fieșul de acționare				
	Anclanșare normală	Anclanșare prin supraacțic.			
		$\alpha = 2,5$ (2:2)	$\alpha = 3,5$ (4:2)	$\alpha = 5$ (5:2)	
0	1	2	3	4	5
1.	300...1000	100	30...46	19...34	15...26

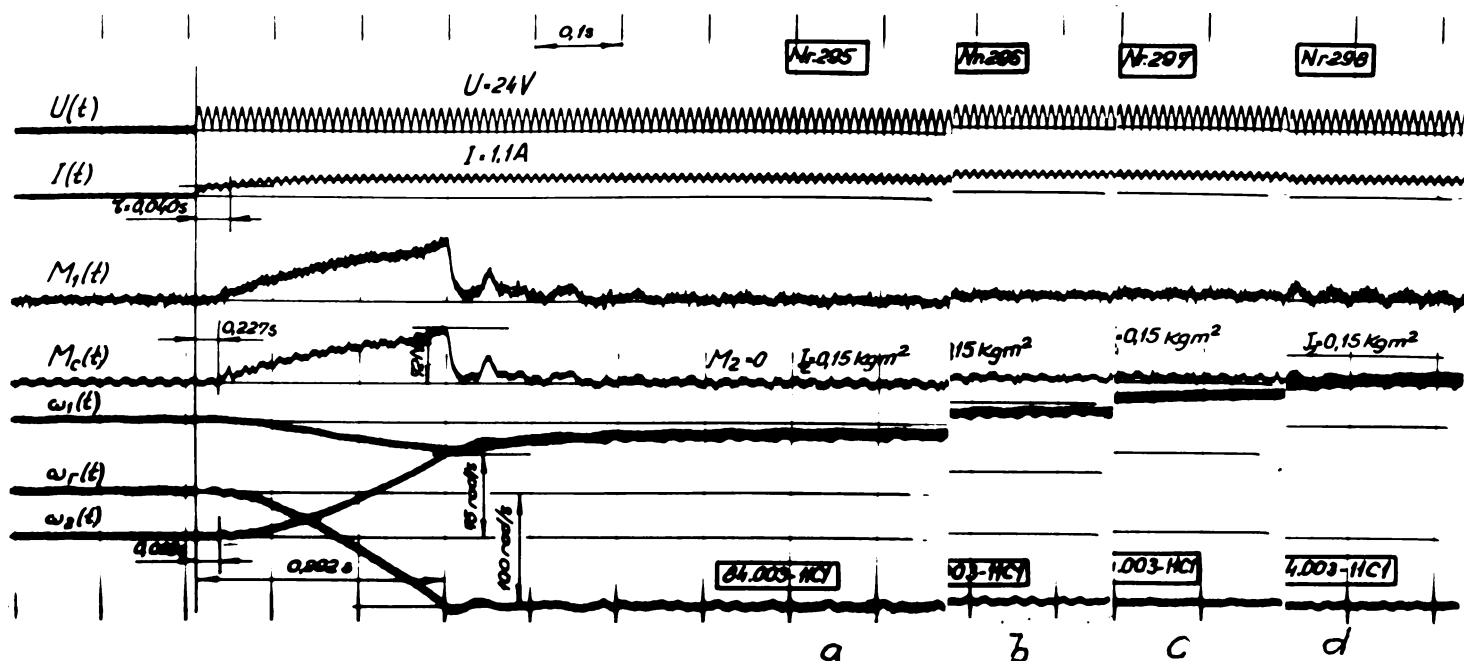


Fig. 5.7

Un mijloc economic și cu o bună fiabilitate, de modificare a duratei procesului tranzitoriu la declanșare, constă în modificarea valorilor elementelor de protecție (vezi Fig. 1.18). Oscilogrammele din fig. 5.5, a...d, ilustrează această posibilitate în cazul protecțiilor cu dioda de blocare inserată cu rezistența modificată în trepte față de cazul absenței elementului de protecție.

Se observă că pe măsura ce crește valoarea rezistenței de protecție concomitent cu reducerea timpului de declanșare crește și valoarea tensiunii inverse (induse) la bornele cuplajului, cu alte cuvinte, cu cât scade gradul de protecție, se micșorează timpul de declanșare și cel de oprire.

Realizarea unor reglaje de acționare cât mai apropiate de cerințele funcționale ale sistemelor de acționare electrice, presupune existența unei variate game tipodimensionale de I<sub>sc</sub> pentru

satisfacerea acestui deziderat, s-a trecut la reproiectarea unor cuplaje din producția actuală, cu scopul îmbunătățirii performanțelor funcționale și al diversificării gamei de fabricație. S-a analizat în această lucrare, corelația ce există între intensitatea curentului de excitație și mărimea forței electromagnetice, respectiv a cuplului comutabil. Încercările s-au efectuat pentru început pe un cuplaj prototip, proiectat cu metoda de optimizare

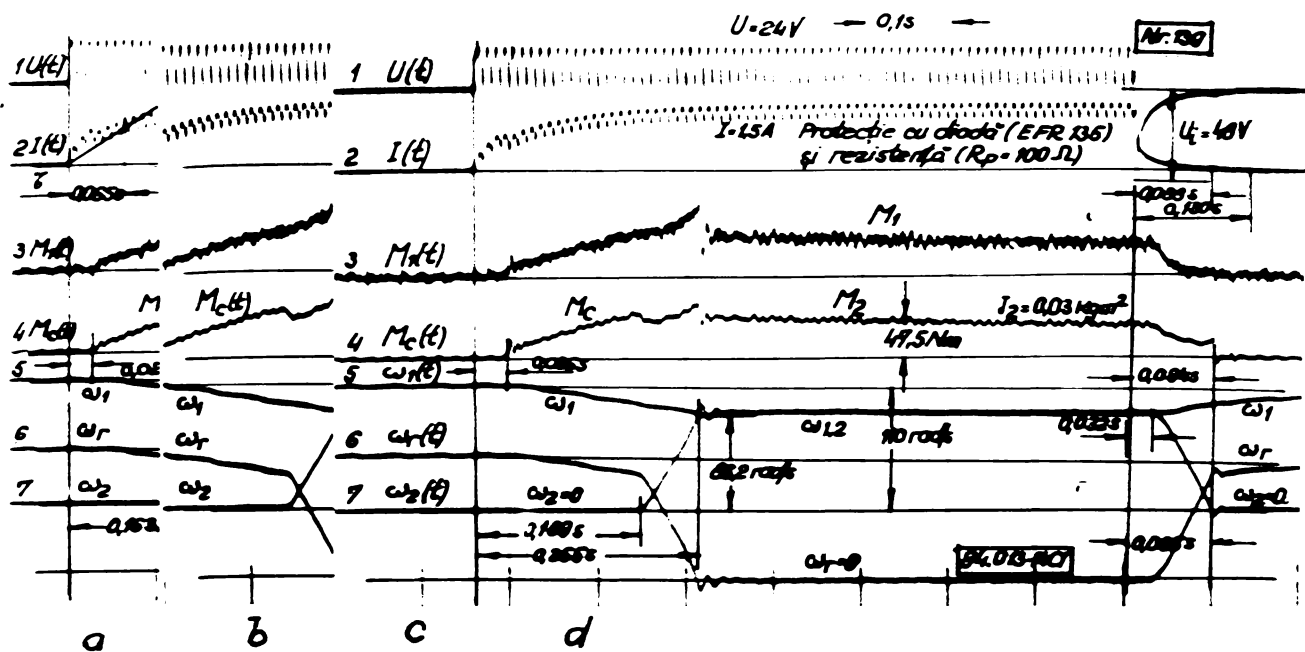


Fig. 3.3

elaborată în Cap. 3. Cercetarea a constituit totodată prima verificare calitativă și cantitativă a metodei originale de calcul. La conceperea cuplajului prototip s-a urmărit să se obțină performanțe identice cu cele ale cuplajului de referință tip IAC S2002-09 B conservându-se gabaritul dar pentru o comandă cu putere electrică redusă (minimă).

Calculul de proiectare a fost inițiat pornindu-se de la datele fundamentale ale cuplajului amintit : forța portantă  $F_0 = 590 \text{ N}$  (valoarea derivă din relația de calcul a cuplajelor cu suprafețele de fricțiune plane pentru un cuplu comutabil  $M_{cn} = 25 \text{ Nm}$  în condițiile frecării uscate, pentru perechea de fricțiune  $\text{Cl/BzS}$   $\mu_{al} = 0,23$ , cu 6 suprafețe active de rază medie  $r = 0,03 \text{ m}$ ), tensiunea de alimentare  $U_n = 24 \text{ V c.c.}$ , întrefierul în stare anclanșată identic cu rezerva de uzură  $\delta_0 = 0,2 \text{ mm}$  și diametrul interior al electromagnetului  $d_1 = 40 \text{ mm}$ . Pentru calculul electromagnetic preliminar (vezi § 3.2 desfășurat conform organigramei din fig. 3.14) și cel final ale căror rezultate sînt prezentate parțial în lucrare<sup>\*)</sup>

\*) Exemplu de calcul detaliat s-a dat în protocolul la contractul IPTVT-C... nr. 4731/72, tema 2, pag. 55-69, beneficiar : I. M. Cugir.

s-au acceptat parametrii :  $\chi = 0,9$  ;  $\gamma_1 = 0,375$  ;  $\alpha' = 13,41 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$   
 $\theta_{ad} = 75^\circ C$  ;  $h = 0,9$  ;  $f_u = 0,4$  ;  $m = 0,23$  ;  $n = 0,14$  și  
 $\rho_\theta = 2,37 \cdot 10^3 \Omega \cdot m$ .

Cu valoarea calculată a constantei  $C_1 = 19,055 \cdot 10^{-3} \frac{m^2}{N}$ , s-a determinat pe cale iterativă diametrul nucleului electromagnetului  $d_0 = 57 \text{ mm}$ . ( $\Delta^2 = 0,5075$  ;  $\varphi^2 = 1,012$ ). Verificarile intermediare ale valorii inducției magnetice din întrefier ( $B_0 = 0,74 \text{ T}$ ) și a îndeplinirii condiției puterii minime de comandă (conf. fig. 3.19, pentru  $n = 0,14$  rezultă  $\frac{d_1}{d} = 0,7 \simeq \left(\frac{d_1}{d}\right)_{ef} = 0,7017$ ) au dat o deplină satisfacție. Dimensiunile corpului feromagnetic, rotunjite din considerente tehnologice în etapa finală de calcul, precum și unele date ale înfășurării de excitație rezultă din fig. 5.9 a (în fig. 5.9, b sînt prezentate aceleași date pentru soluția de referință). *Fig. 5.9, c, reliefează rezultate apropiate.* Cu toate că puterea necesară comenzii a fost micșorată substanțial (cu cca 30 %). În consecință, s-a redus și solicitarea termică a înfășurării de excitație (vezi fig. 5.9 d în care variația temperaturii medii a bobinei  $\theta_{med}$  s-a calculat pe baza modificării rezistenței electrice  $R_\theta$  în procesul încălzirii acesteia).

După această verificare concludentă, s-a trecut la reproiectarea pentru producție a unui număr de 12 tipodimensiuni de cuplaje <sup>\*)</sup>. În toate cazurile, caile de sporire a performanțelor au rezultat din analiza relației de calcul a cuplajelor lamelare :

$$L_C = 2\pi(j-1)\mu_{al} P_{of} \int_{r_{min}}^{r_{max}} r^2 dr = \frac{2\pi}{3}(j-1)\mu_{al} P_{of} (r_{max}^3 - r_{min}^3) \quad (5.1)$$

și a relației de verificare adaptată comenzii electromagnetice :

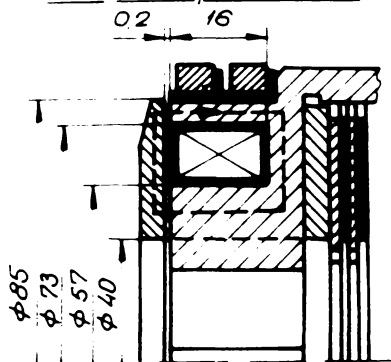
$$P_{of} = \frac{F}{\pi(r_{max}^2 - r_{min}^2)} = \frac{B^2 A}{2\pi\mu_0(r_{max}^2 - r_{min}^2)} \leq P_a \quad (5.2)$$

în care :

$r$  este raza lamelei ce ia valori între limitele  $r_{min, max}$ .

Impunîndu-se din considerente tehnologice, menținerea la soluțiile proiectate a lamelilor utilizate în prezent ( $r_{min}$ ,  $r_{max}$  și  $\mu_{al}$ ), se observă din relațiile (5.1) și (5.2) că în scopul creșterii performanțelor C.F se poate acționa doar asupra mrimii for-  
<sup>\*)</sup> într. benef.: Încușir a exec. în vederea omologării, 9 din cele 12 tipodimensiuni prototip reproiectate.

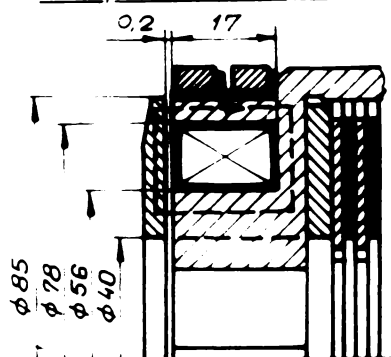
Soluția re proiectată



Material feromagnetic MK3  
 Aria polilor  $2784 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$   
 Inducția magnetică în  
 întrefier  $0,735 \text{ T}$   
 Solenția în stare  
 rece  $474 \text{ A}$   
 Diam. cond. bobină  $0,3 \text{ mm}$   
 Nr. de spire  $820 (41 \cdot 20)$   
 Rezistența ( $20^\circ \text{C}$ )  $41,5 \Omega$   
 Putere de comandă ( $20^\circ \text{C}$ )  $13,8 \text{ W}$

a

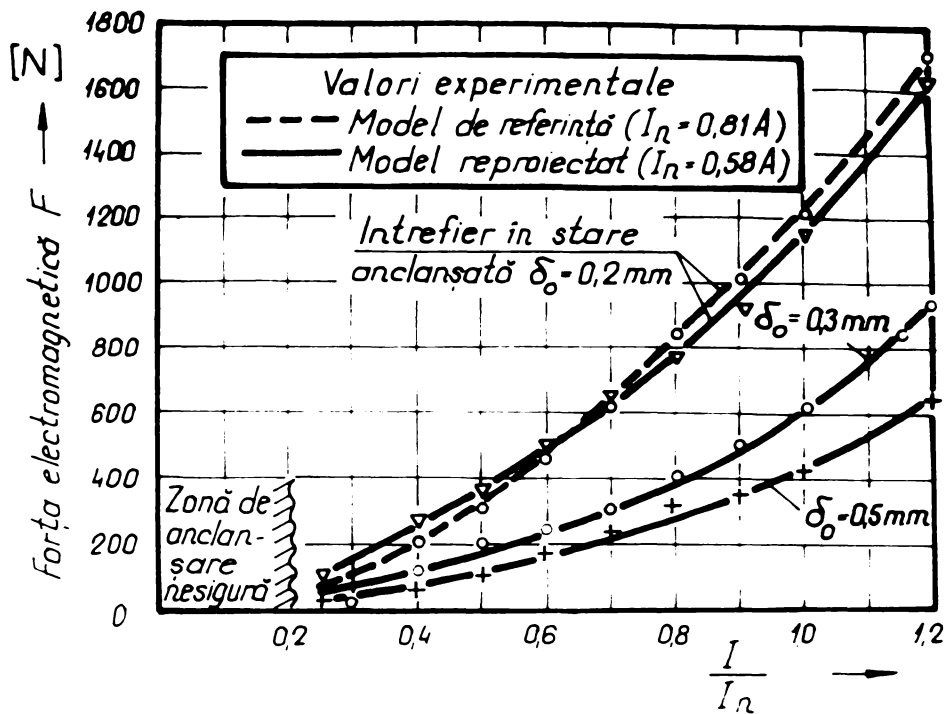
Soluția de referință



Material feromagnetic MK3  
 Aria polilor  $1793 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$   
 Inducția magnetică în  
 întrefier  $0,915 \text{ T}$   
 Solenția în stare  
 rece  $626 \text{ A}$   
 Diam. cond. bobină  $0,35 \text{ mm}$   
 Nr. de spire  $770 (35 \cdot 22)$   
 Rezistența ( $20^\circ \text{C}$ )  $29,5 \Omega$   
 Putere de comandă  $19,5 \text{ W}$

b

c



d

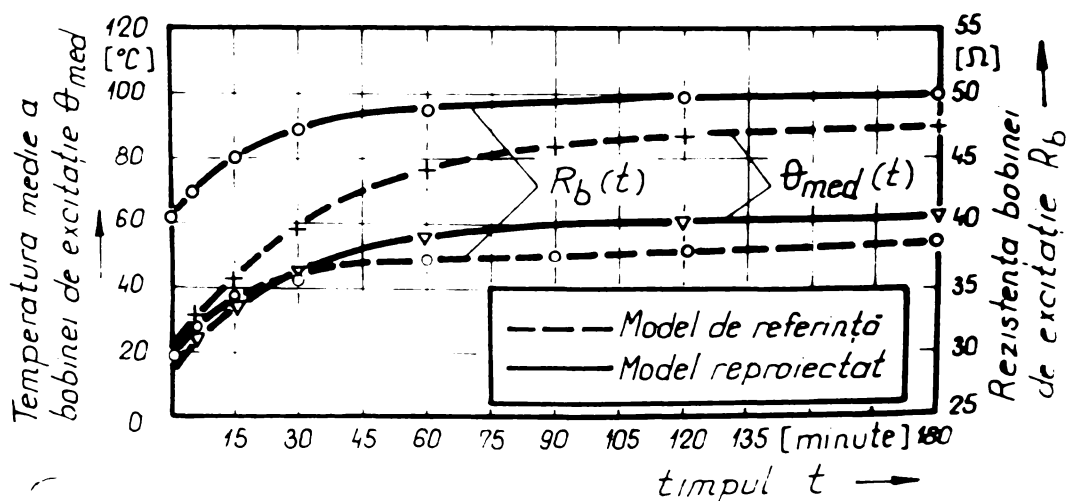


Fig. 5.9

ței electromagnetice  $F$  și a numărului de lamele  $j$  (la toate tipodimensiunile s-a adăugat prin reproiectare câte o pereche de lamele). Calculul electromagnetic efectuat, care a dus la operarea unor modificări ale formei circuitului magnetic și ale parametrilor înfașurării de excitație, a permis sporirea forței  $F$  (până la nivelul admis de relația de verificare 5.2) cu toate că gabaritul radial și axial, întrefierul în stare anclanșată și puterea de comandă au fost menținute la nivelul soluției de origine.

În tabelul 5.3 se prezintă creșterile relative ale cuplului comutabil obținute pe prototipuri pentru trei marimi de cuplaje alimentate prin clase de conexiune, cu lamele de Ol/BzS destinate funcționării în ulei <sup>\*)</sup>.

Tabelul 5.3

Nr. crt.	Tipul CEF analizat	Cuplul comutabil nominal. [Nm]	Turația de încercare [rot/min]	Creșterea cuplului comutabil prin reproiectare. [%]	
				0,7 $I_n$	0,8 $I_n$
1.	84013-11 C 1	50	235	42,6	34,6
2.	84013-14 C 1	100	180	22,2	13,7
3.	84013-16 C 1	200	128	39,4	18,9

Prin reglarea curentului de excitație la nivelul 0,7  $I_n$  și 0,8  $I_n$ , s-au reprodus condiții asemănătoare cu cele de recepție pentru aceste produse (s-a simulat funcționarea CEF cu înfașurarea de excitație în stare caldă). Valorile acceptate pentru turațiile din tabelul 5.3 au situat încercările în cele mai defavorabile regimuri din punct de vedere tribologic ( $\mu$  al minim). Din analiza creșterilor relative obținute se desprinde concluzia că cele mai mari disponibilități de cuplu comutabil le-au prezentat cuplajele de marimea 11.

Fig. 5.10 prezintă date obținute la încercarea prototipurilor de aceeași marime în urma reproiectării unei serii tipodimensionale (cu contacte alunecătoare din grupa 82 <sup>\*\*)</sup>. Deși la funcționarea în ulei valorile măsurate se plasează peste valoarea

<sup>\*)</sup> măsurat. s-au exec. pe stand. benef.: I. I. Cugir. rezult. detaliate sint conținute de protocolul la contr. I. I. V. I. - C. A. M. nr. 139/75, faza pentru anul 1975.

<sup>\*\*)</sup> măsurat. s-au exec. pe instal. experim. ale benef.: I. I. Cugir. rez. sint cuprinse în protoc. la contr. I. I. V. I. - C. A. M. nr. 139/75, faza pentru anul 1976.

INSTITUTUL POLITECNIC

nominală a cuplului comutabil, rezultatele se mențin la un nivel mediu de aproximativ 50 față de valorile ce corespund funcționării în mediu uscat

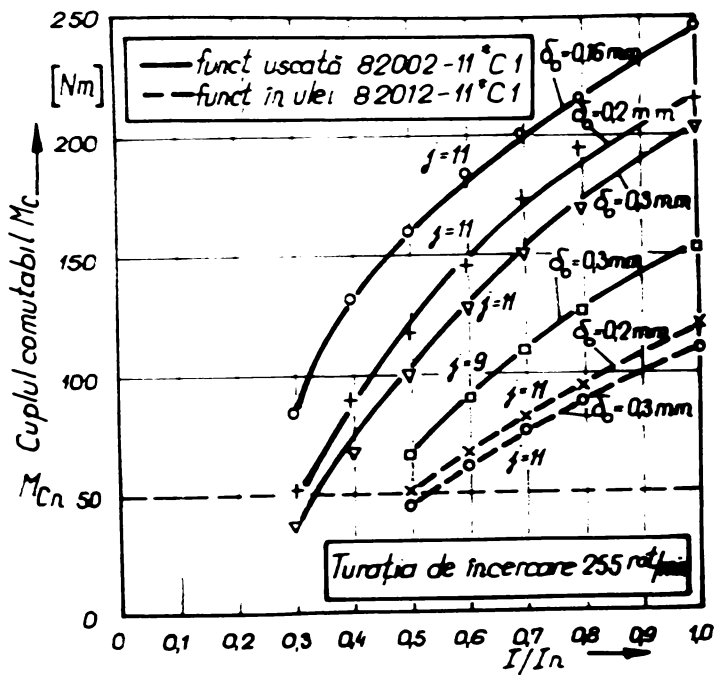


Fig. 5.10

în mediu uscat (situația este determinată în exclusivitate de mărirea coeficientului de frecare corespunzător regiunilor comparate).

Rezultatele experimentale scot în evidență totodată influența însemnată pe care o exercită mărirea la care este reglat întrefierul în stare anclanșată  $\delta_0$ , precum și aportul adus cuplului

comutabil măsurat de către perechea suplimentară de lamele.

### 5.2. Determinarea experimentală a cuplului rezidual.

După cum s-a menționat în § 2.11, funcționarea C&F lamelare în stare declanșată se caracterizează prin existența cuplului rezidual, fenomen cu consecințe în general defavorabile, când dispozitivul lucrează în mediu lubrificat. Deși problema menționată este de mare importanță pentru precizia cinematică, randamentul și fiabilitatea acționării, puțini cercetători se ocupă sistematic cu studiul acestui fenomen urmărind și căile de atenuare a efectelor sale (Arapov, A.N.<sup>\*)</sup>, Kató, A. [67] și Kaebnich, H. [68]).

Cercetarea experimentală care a constat din măsurători în peste 4.000 puncte de funcționare, a avut drept scop separarea și stabilirea ponderii factorilor determinați asupra cuplului rezidual. S-au avut în vedere cuplajele fabricate în țară cu lamele neștrăbătute și străbătute de fluxul magnetic, alimentate prin cleme de conexiuni și inele, avînd cuplul comutabil cuprins între 50...400 da, în condiții de lubrificare cu uleiuri minerale incigene. Factorii luați în considerare au fost: viteza unghiulară relativă dintre lamele; calitatea, orbital și temperatura lubrifiantului; modul concret de ungere-răcire; mărirea cuplajului, poziția de funcționa-

\*) Arapov, A.N. Mecinosti holostoga boda kerobok peredaci s mnogo-discovimi muftami. In: Stanki i instrument, nr. 9, 1969.

re și particularitățile lamelor (forma, dimensiunile, straturile de fricțiune și proprietățile magnetice).

În ipoteza că pentru starea decuplată între lamelele conjugate se formează o peliculă continuă de lubrifiant cu mișcare laminară, forța de frecare ( $F_f$ ) și implicit cuplul rezidual sînt descrise cu ajutorul legii lui Newton :

$$F_f = \eta A_L \frac{dv}{dz} ; \quad M_T = f (F_f \cdot r_m)$$

în care :

$\eta$  este coeficientul de vîscozitate dinamică ;

$A_L$  - aria de contact a celor două strate de lubrifiant ;

$\frac{dv}{dz}$  - gradientul vitezei ( $z$  fiind coordonata pe direcție normală la lamele) ;

$r_m$  - raza medie a lamelor.

Analiza se complică dacă trebuie considerat și efectul forțelor centrifuge. În această situație, preluînd ipotezele teoriei hidrodinamice a lubrificației, variația presiunii din pelicula de lubrifiant pe direcție radială între două lamele ce se rotesc cu vitezele unghiulare  $\omega_{1,2}$  este descrisă de ecuația diferențială :

$$\frac{dp}{dr} = \eta \frac{d^2 v_r}{dz^2} + \rho \omega_2^2 r + \rho (\omega_1 - \omega_2)^2 r \frac{z^2}{h_L^2} \quad (5.3)$$

în care :

$p$  este presiunea ;

$r$  - coordonata pe direcție radială ;

$v_r$  - viteza pe direcție radială ;

$\rho$  - densitatea lubrifiantului ;

$h_L$  - grosimea interstițiului dintre lamele.

Pentru condiția limită :  $z = 0 ; h ; v_r = 0$ , ecuația (5.3) permite determinarea vitezei radiale a unei particule într-un punct al filmului de lubrifiant :

$$v_r = \frac{1}{2\eta} \left( \frac{dp}{dr} - \rho \omega_2^2 r \right) (z^2 - h_L z) - \frac{\rho (\omega_1 - \omega_2)^2 r}{12\eta h_L} (z^4 - h_L^3 z) \quad (5.4)$$

Sub acțiunea forțelor masice și de frecare, la o anumită viteză relativă, filmul de lubrifianț dintre lamele poate deveni discontinuu. Acest fapt îngreunează foarte mult calculul ariei efective de contact ( $A_L$ ) și de aici calculul cuplului rezidual. Dacă se are în vedere și modul neuniform de introducere a lubrifianțului în interstițiul dintre lamele (îndeosebi la stropirea sau imersarea cuplajului) problema devine extrem de greu abordabilă pe cale analitică.

Intrucât în literatura de specialitate nu există referiri detaliate asupra cuplului rezidual mai ales la CAF cu lamelele nestrăbatute de fluxul magnetic (Ol/BzS) unse prin stropire sau imersare, autorul studiind dependențele  $M_r(\omega_r)$  (fig. 5.11 și 5.12) respectiv  $m_r(v_r)$  (fig. 5.13) obținute în urma măsurătorilor proprii a constatat existența a trei domenii distincte :

- La viteze periferice mici  $v_r \in [0, 5] \frac{m}{s}$  (fig. 5.19), ceea ce corespunde unor viteze unghiulare sub 100 rad/s (fig. 5.11 și 5.12), cuplul rezidual crește monoton. Acest rezultat confirmă ipotezele continuității filmului de lubrifianț și a regimului de curge-

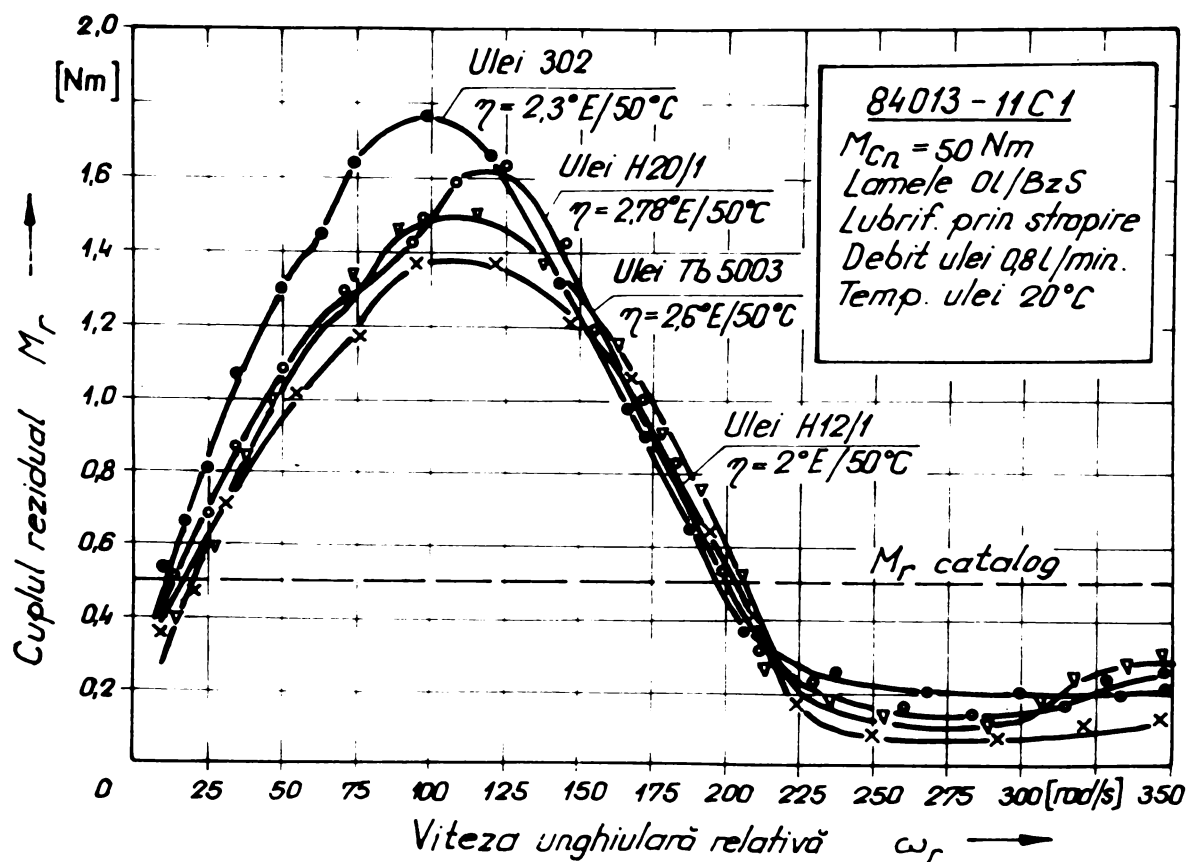


Fig. 5.11

re laminară. Efectul forțelor centrifuge se resimte doar spre limita superioară a domeniului (în zona maximumului) ;



- La viteze periferice mijlocii  $v_r \in [5 ; 12] \frac{m}{s}$ , sub acțiunea forței centrifuge, curgerea devine turbionară ; aria de contact a straturilor de lubrifiant scade cu creșterea vitezei (se produce golirea treptată de ulei a interstițiilor dintre lamele) și în consecință cuplul rezidual scade monoton;

- La viteze periferice mari  $v_r \geq 12 \frac{m}{s}$  cuplul rezidual prezintă o ușoară creștere cu creșterea vitezei relative

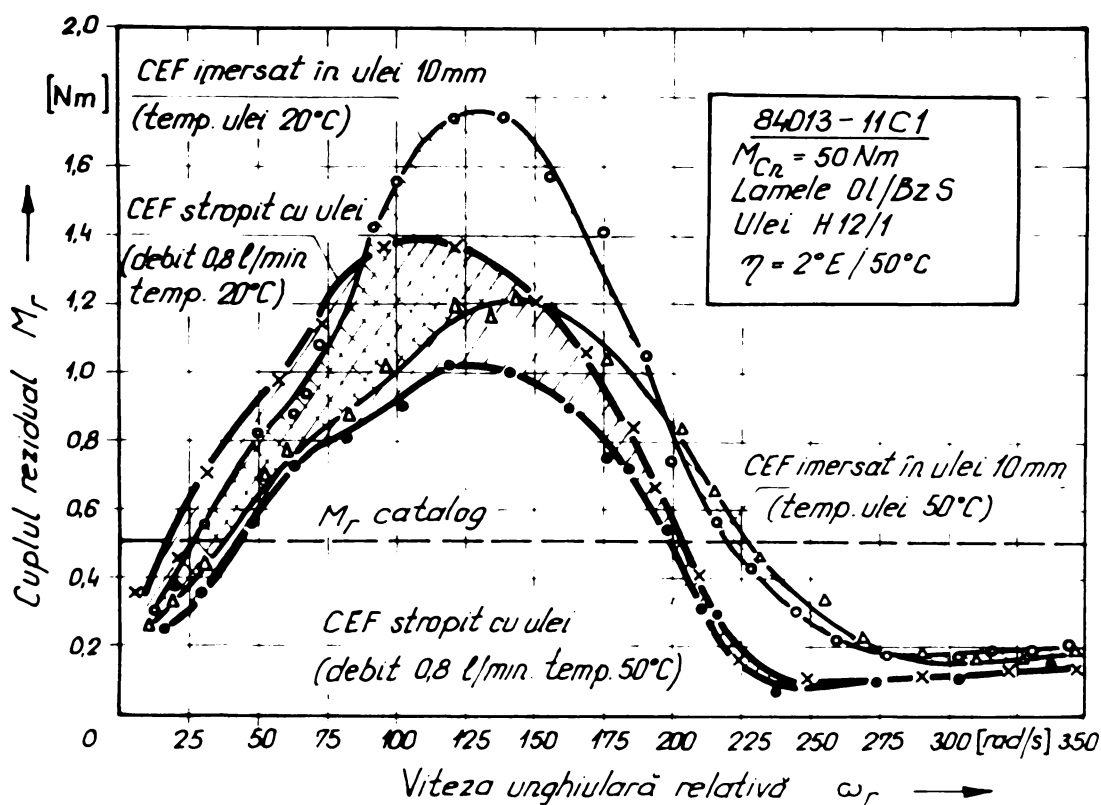


Fig. 5.12

dar se situeaza la valori relativ mici. Se apreciază că în acest domeniu ponderea maximă o au pierderile prin ventilație.

Dacă se conserva calitatea lubrifiantului și modul de ungere, odată cu creșterea temperaturii, cuplul rezidual scade datorită reducerii viscozității (fig. 5.12). Schimbând calitatea de lubrifiant, forma dependenței rămâne aceeași însă alinierea valorilor extreme nu mai respecta în toate cazurile ordonarea după viscozitate, fapt constatat și la cuplajele cu lamelele străbătute de fluxul magnetic (v. fig. 5.11 și 5.15). Explicația acestei excepții ar putea fi pusă pe seama diferențelor de onctozitate și de aditivare.

Din analiza datelor experimentale se desprind cerințele principale ce trebuie îndeplinite de uleiurile folosite pentru ungerea-răcirea cuplajelor electromagnetice cu fricțiune cu lame-

le străbătute și nestribătute de fluxul magnetic :

a). Viscositate în general scăzută  $\eta \leq 3^{\circ} \text{E}/50^{\circ}\text{C}$   
( $\eta_{\text{max}} \leq 4...4,5^{\circ} \text{E}/50^{\circ}\text{C}$ ), iar dependența  $\eta(\theta)$  cât mai plată.

La  $v_r \leq \frac{10}{s}$  se recomandă folosirea unor lubrifianți cu  $\eta < 2...2,5^{\circ} \text{E}/50^{\circ}\text{C}$ , pentru a se evita întreruperea filmului de lubrifiant. Restricția anterioară se referă îndeosebi la cuplajele cu lamelele străbătute de fluxul magnetic, la care în absența uleiului există pericolul griparii.

La  $v_r > 12 \frac{10}{s}$  pierderile cresc foarte mult (v. fig. 5.16), situație periculoasă de asemenea pentru cuplajele cu lamelele străbătute de fluxul magnetic. În aceste cazuri este recomandabilă folosirea unor uleiuri cu  $\eta \leq 1,5...2^{\circ} \text{E}/50^{\circ}\text{C}$ .

Condițiile restrictive enunțate nu se pot însă respecta întotdeauna. Se știe că la funcționarea cuplajelor și Țrinelor în cutiile de viteză, trebuie să se facă un compromis între cerințele contradictorii ale ungerii-răcirii cuplajelor pe de o parte și ale ungerii angrenajelor respectiv rulmenților, pe de altă parte.

b). Comportare electrochimică neutră față de oțel, cupru și izolația bobinei de excitație chiar și în prezența unor cantități mici de apă de condensare și la temperaturi ridicate.

c). Să prezinte calități antispumante ;

d). Să nu fie aditivată pentru onctuositate (inadmisibilă folosirea bisulfurii de molibden);

e). Rezistență bună la îmbătrânire ;

f). Calități cât mai bune de transmitere a căldurii.

Procedul de ungere prin imersarea parțială a Csf (barbotaj) în raport cu cel prin stropire, conduce la creșterea cuplului rezidual în domeniul vitezelor relative mijlocii și mari (fig. 5.12).

La funcționarea cuplajelor în alte poziții decât cea orizontală (fig. 5.13), componenta greutății pachetului de lamele pe direcția normalei suprafețelor de contact provoacă o creștere sensibilă a cuplului rezidual în întregul domeniu de funcționare. Dacă pozițiile înclinate nu se pot evita, se recomandă folosirea unor mijloace speciale de reducere a cuplului rezidual. În fig. 5.14 este ilustrată eficiența arcurilor de distanțare în cazurile ungerii prin stropire și din interiorul Csf.

Lamelele străbătute de fluxul magnetic prezintă decupaje (pentru pătrunderea și acumularea lubrifiantului) și onulații pe circumferință (lamele sinus) în scopul amorșării sustentăției hidrodinamice și a îndepărtării armăturii în starea decuplată. Datorită

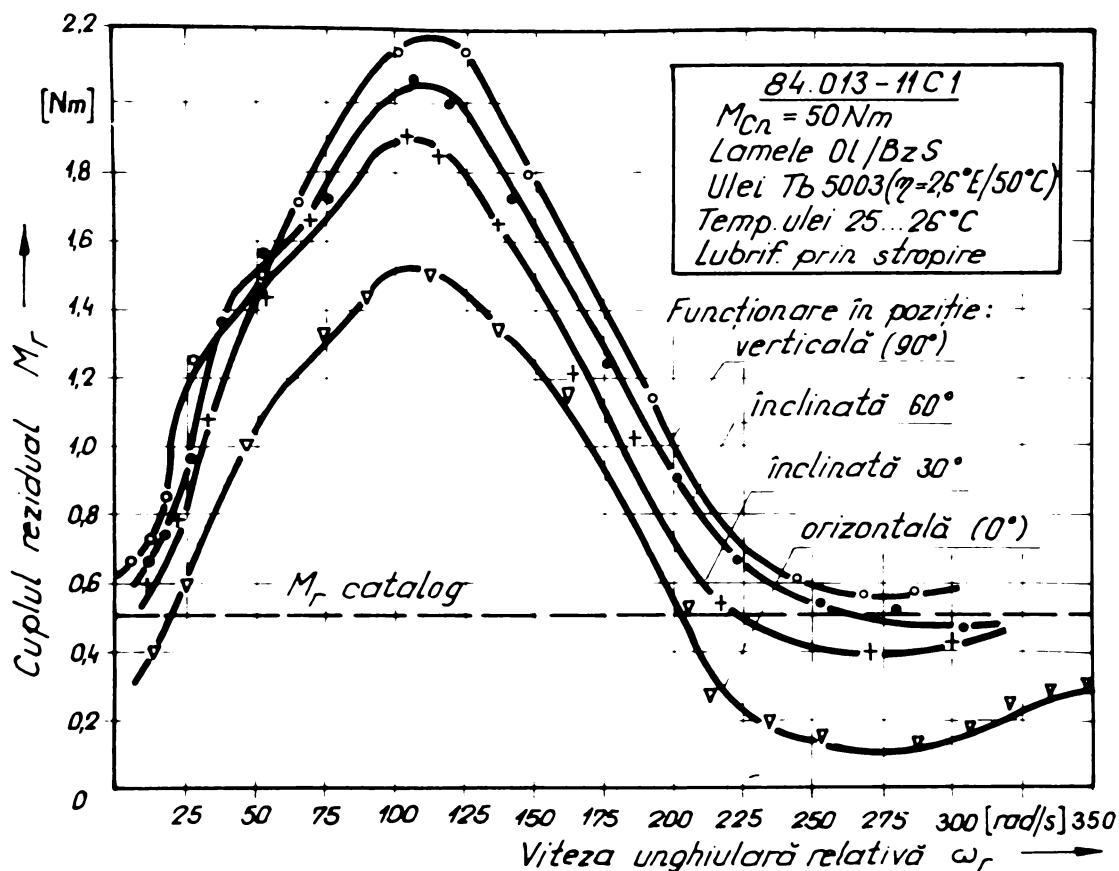


Fig. 5.13

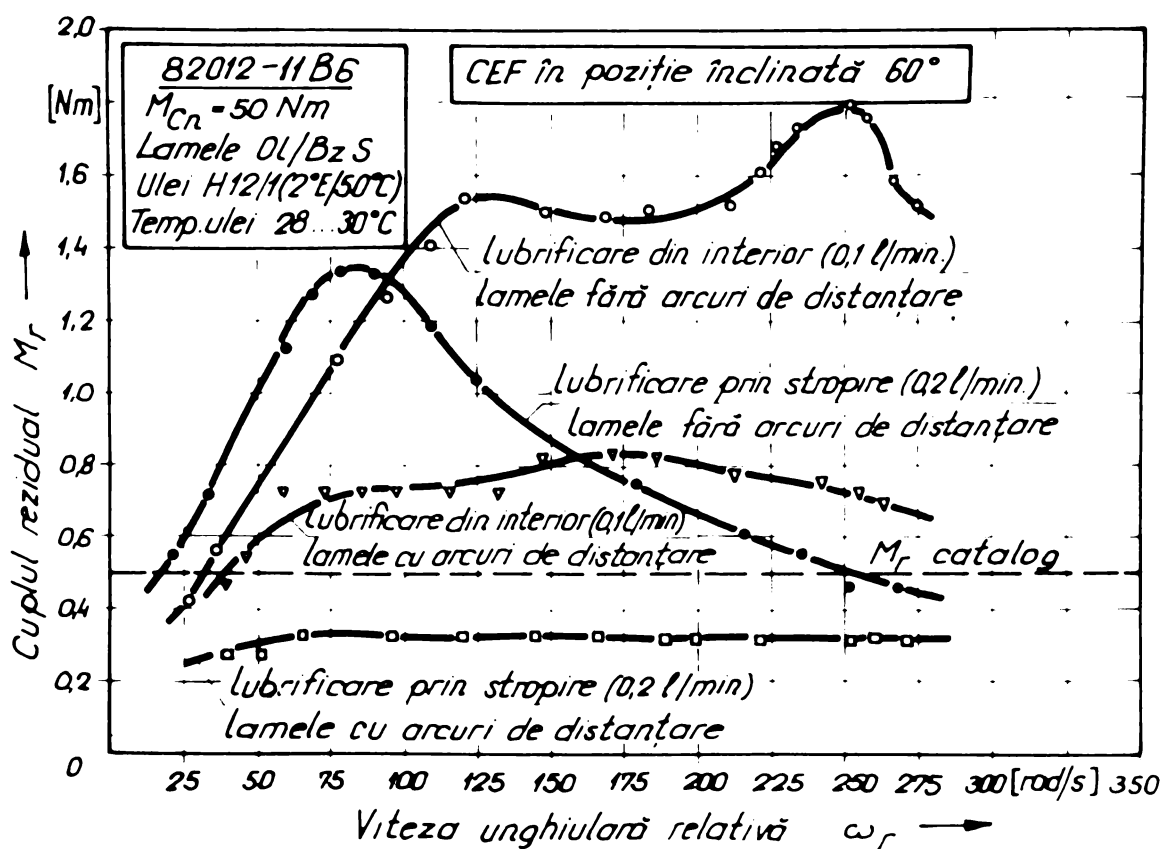


Fig. 5.14

acestor particularități constructive și a magnetizării remanente, dependența  $M_r(\omega_r)$  (fig. 5.13) este mult mai plată. În consecință, la viteze ridicate pierderile provocate de cuplul rezidual sînt

mult mai mari decât cele ce se înregistrează la cuplajele cu lamelele nestratificate de fluxul magnetic. Figura 5.15 confirmă observația anterioară și dovedește în plus că la funcționarea CEF în mediu uscat valoarea cuplului rezidual și nivelul pierderilor sînt extrem de coborîte.

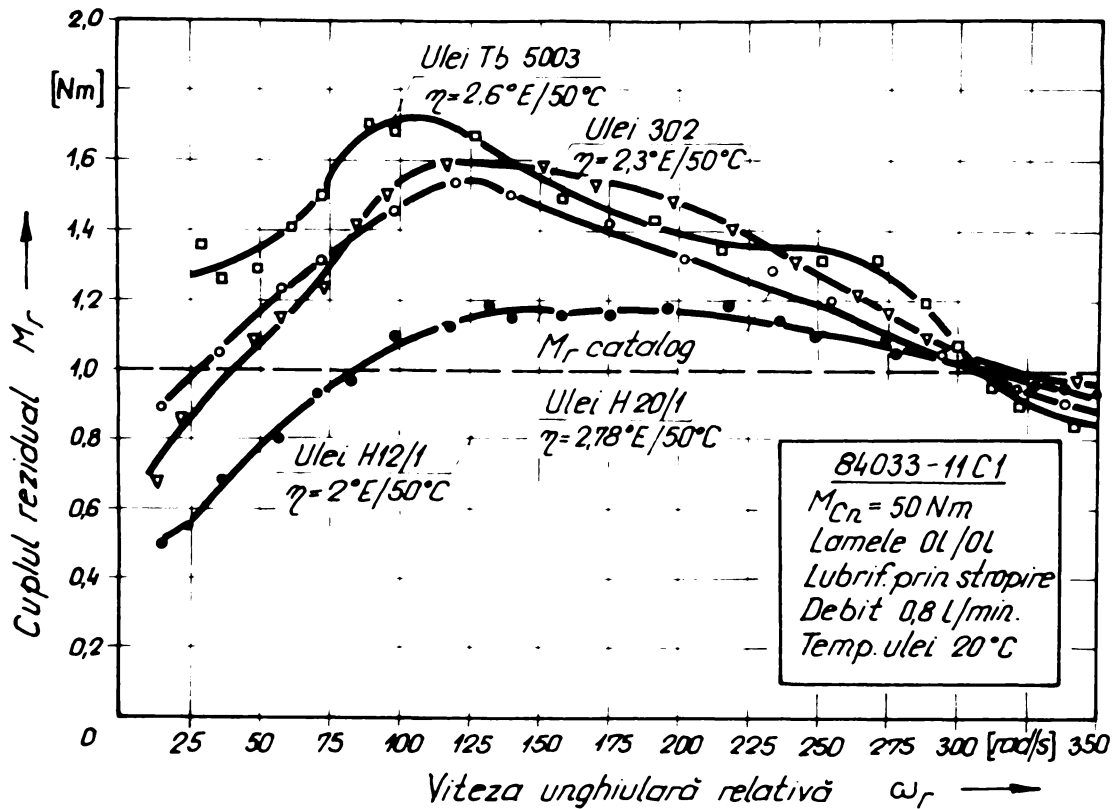


Fig. 5.15

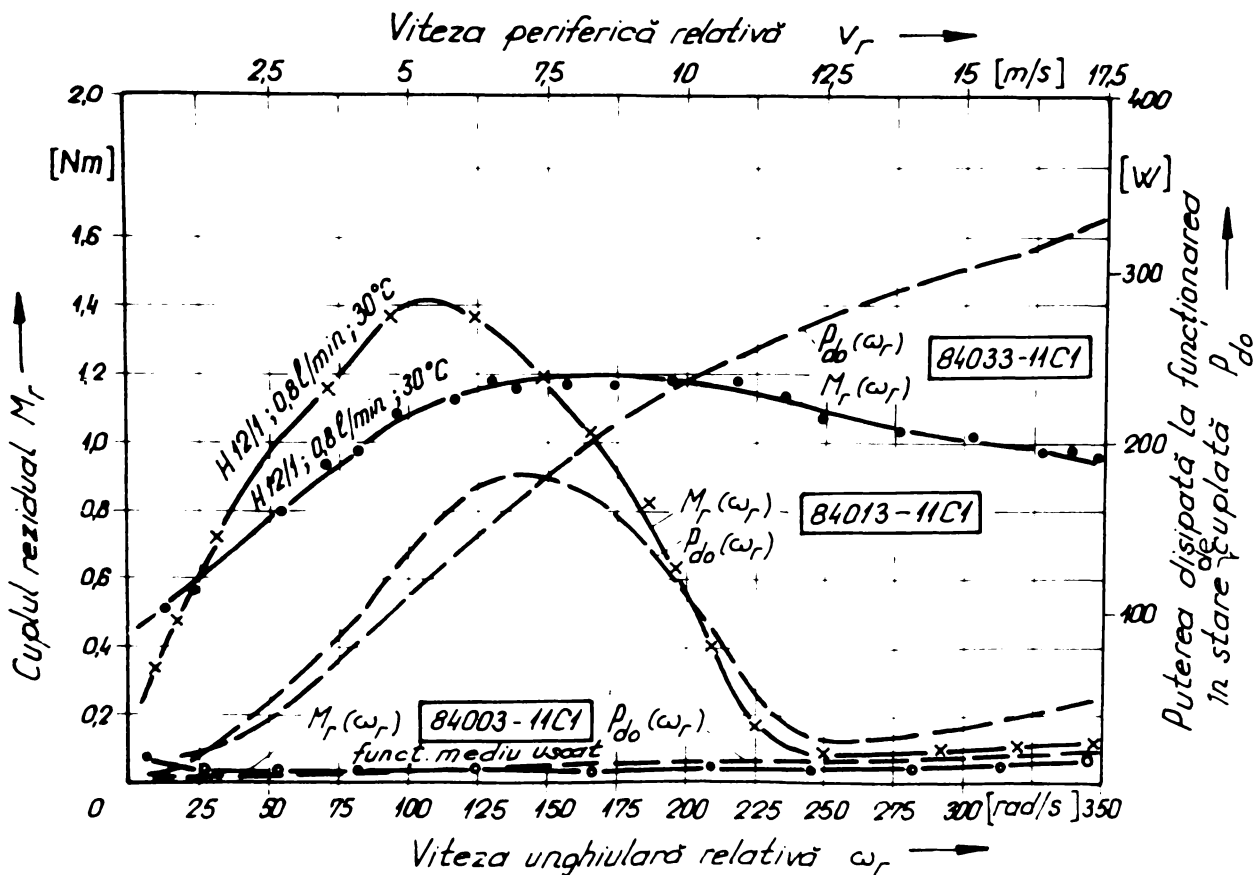


Fig. 5.16

În fig.5.17 se prezintă influența ondulației lamelor (cu danturare interioară) asupra mării cuplului rezidual. cea mai avantajoasă situație corespunde cazului când pachetul de lamele are (prin selectare) abaterea de la planeitate cuprinsă între 0,1...0,2 mm. Pentru lamelele netede sau cu abateri foarte mici de la planeitate (0...0,1 mm), onctuoșitatea lubrifiantului provoacă

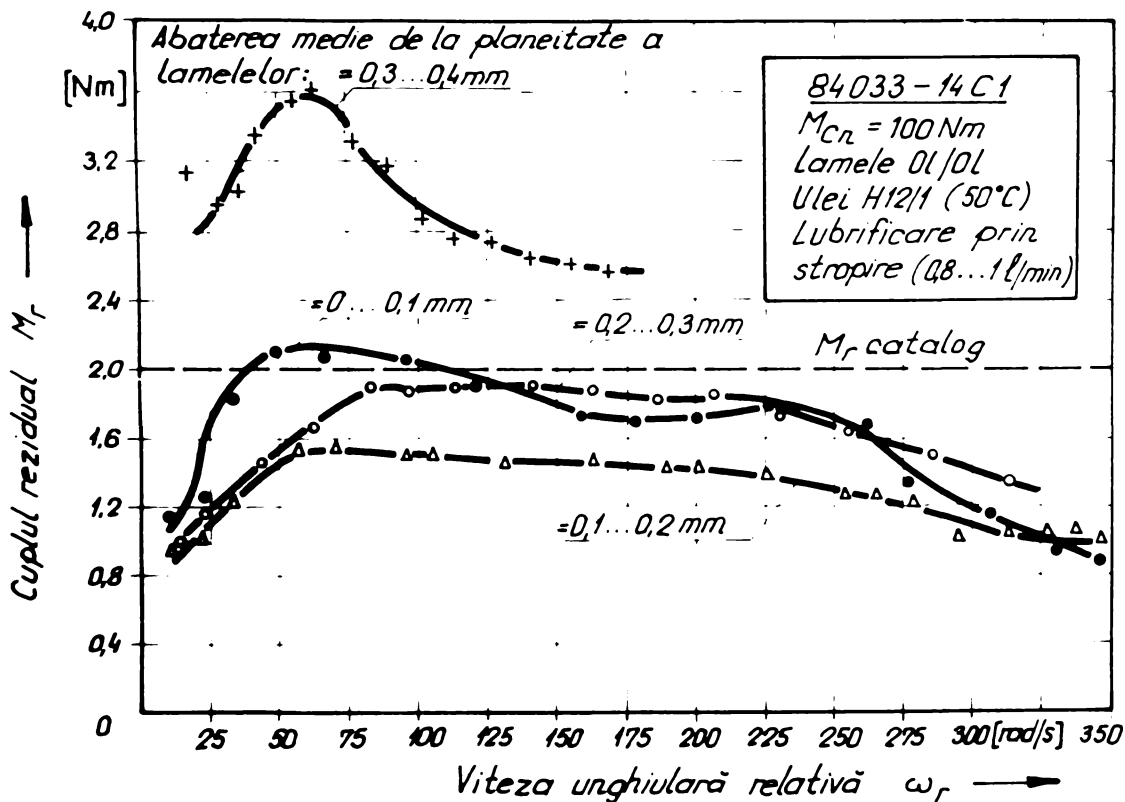


Fig.5.17

creșteri suplimentare cuplului rezidual. Ondulațiile mari (abateri de la planeitate  $> 0,2 \text{ mm}$ ) sporesc de asemenea cuplul rezidual datorită creșterii presiunii și implicit a forțelor de frecare în zonele de contact dintre lamele.

Prelucrând datele referitoare la cuplul rezidual, pentru cuplaje ce corespund unei grupe constructive date lubrificate-răcite în condiții similare (fig.5.18), se obține o dependență unică cu proprietăți de caracteristică universală în sistemul de coordonate  $m_r (v_r)$ . Pe baza acestora s-au delimitat domeniile funcționale discutate anterior. Dispersia punctelor de dependenței  $m_r (v_r)$  din fig. 5.19 se datorește caracterului aleatoriu al modului în care se dispun lamelele în stare decuplată și eventual faptului că în ceea ce privește debitul de lubrifiant, nu s-au putut impune condiții riguroase de similitudine.

Un criteriu rațional pentru delimitarea debitului necesar

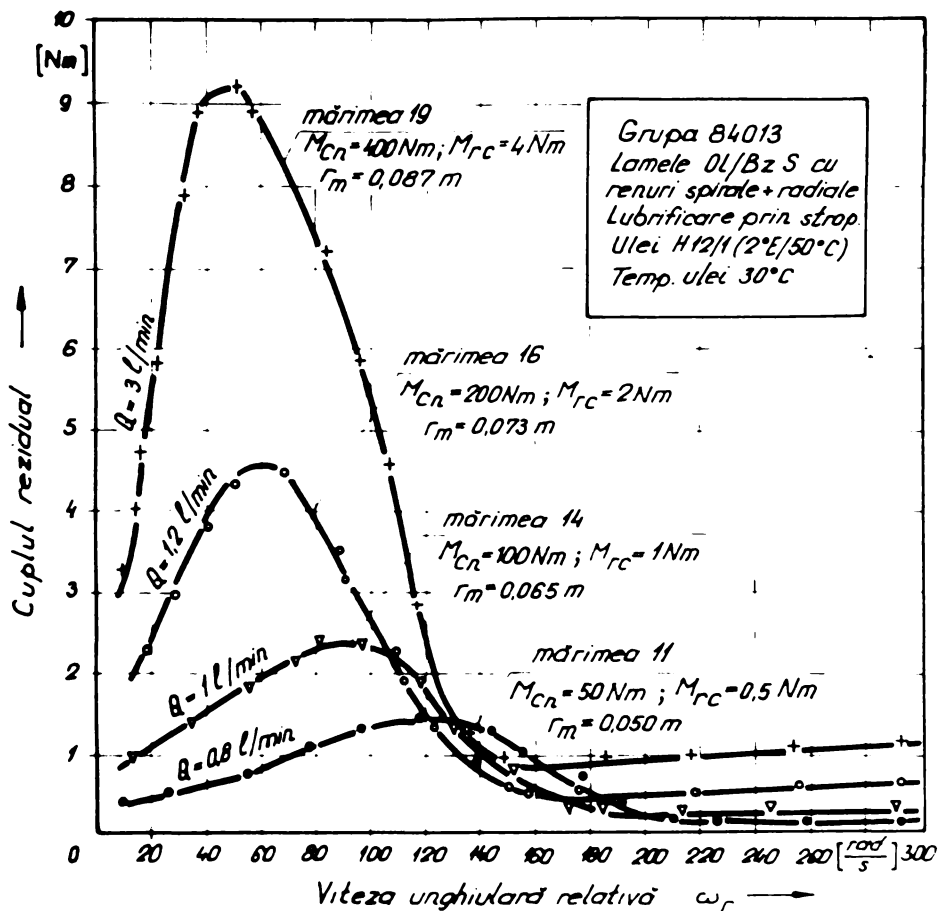


Fig. 5.18

debit ce îndeplinesc condițiile enunțate (fig. 5.20).

ungerii-răcirii cuplajelor este acela al limitelor de temperatură la care poate lucra pachetul (și implicit bobina de excitație) respectiv mediul lubrifiant. Pe baza experimentărilor, conform procedurii analizat în § 4.2.2, rezultă pentru o tipodimensiune concretă de CCF, într-un anumit punct de funcționare, valorile de

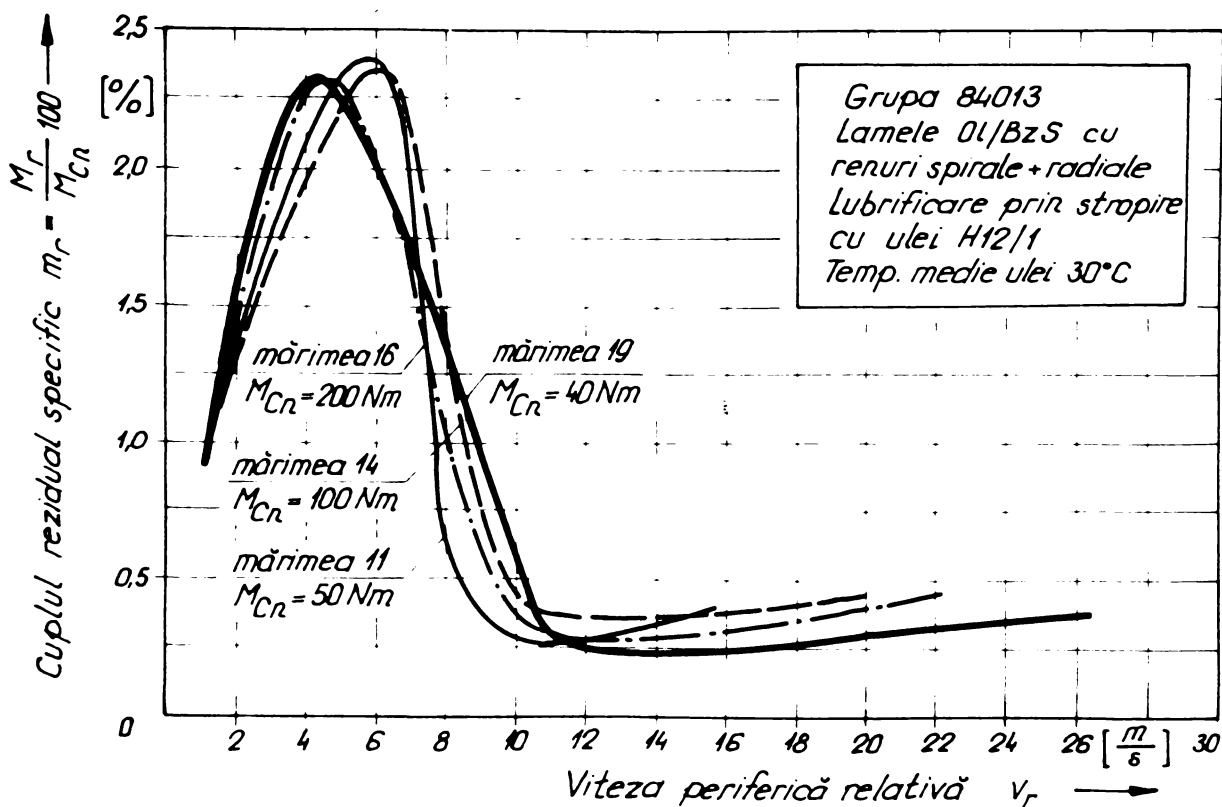


Fig. 5.19

Din ecuația de echilibru termic al CCF în stare declan-

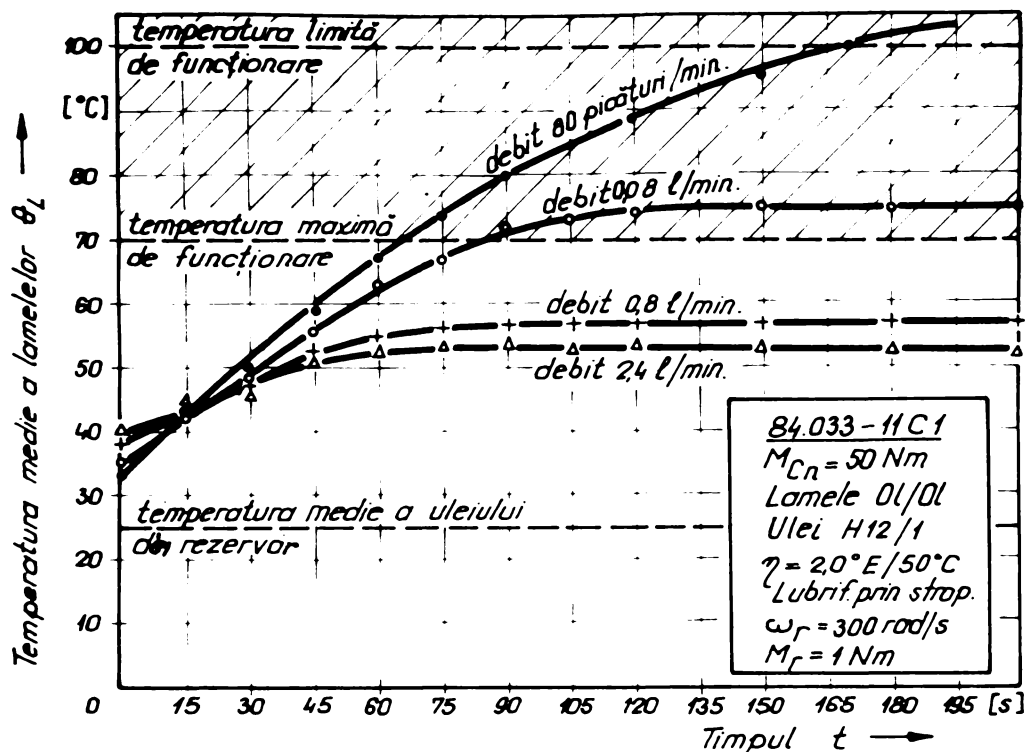


Fig. 5.20

șată :

$$\frac{1}{\omega} q_u \rho_u C_u \Delta t_u = M_T (\omega_r) \omega_r - \frac{m_L C_L \Delta t_L}{T} \quad (5.5)$$

în care :

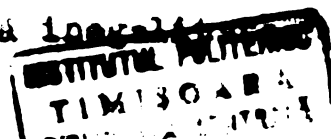
- $q_u$  - este debitul de ulei (l/min) ;
- $\rho_u$  - densitatea uleiului ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ ) ;
- $C_u, C_L$  - căldura specifică a uleiului respectiv a materiei lului lamelor ;
- $m_L$  - masa pachetului de lamele ;
- $\Delta t_u$  - supratemperatura medie admisibilă a uleiului (la răcire naturală  $\Delta t_u \in [3 ; 4]^\circ\text{C}$ , la răcire forțată prin schiabat de căldură  $\Delta t_u \in [10 ; 12]^\circ\text{C}$  [159] ;
- $\Delta t_L$  - supratemperatura medie admisibilă a lamelor (în ulei  $40 (70)^\circ\text{C}$  ; în mediu uscat limitare impusă de izolația bobinei sau de materialele de fricțiune) ;

$T$  - timpul de funcționare în stare declanșată ,

se poate explicita o mărime convențională denumită cuplu termic  $M_T$ :

$$M_T (q_u) = \frac{P_d}{\omega_r}$$

Funcționarea cuplajului sub aspectul lubrificației-răcirii este admisibilă atît timp cît se respectă inegalitățile



$$M_T(\omega_u) > M_T(\omega_r).$$

În fig. 5.21 s-au suprapus funcțiile  $M_T(\omega_u)$  și  $M_T(\omega_r)$  pentru o serie de tipodimensiuni de cuplaje cu lăzile străbătute și nestrăbătute de fluxul magnetic, rezultând o metodă rapidă de apreciere a debitului de lubrifiant pentru condiții constructive și de funcționare bine precizate.

Autorul consideră că această metodă vine în sprijinul proiectanților din domeniul construcției de mașini, înlocuind indicațiile de catalog care sînt sumare (se prevede în cele mai multe cazuri debit constant independent de regimul funcțional) și adesea contradictorii. Se subliniază că problema avînd caracter de optimizare prezintă un interes major deoarece acceptarea unui debit de lubrifiant exagerat - deși limitează favorabil încălzirea C&P - sporește cuplul rezidual, iar debitul insuficient periclitează integritatea cuplajului și menținerea calităților de ungere ale mediului de răcire.

La definitivarea debitului de lubrifiant trebuie luată înăi în considerare și energia disipată în procesele de ambreiere, care la regimuri grele, ar putea deveni determinantă.

În orice caz, pe baza diagramei din fig. 5.21 se deduc debitele minime necesare.

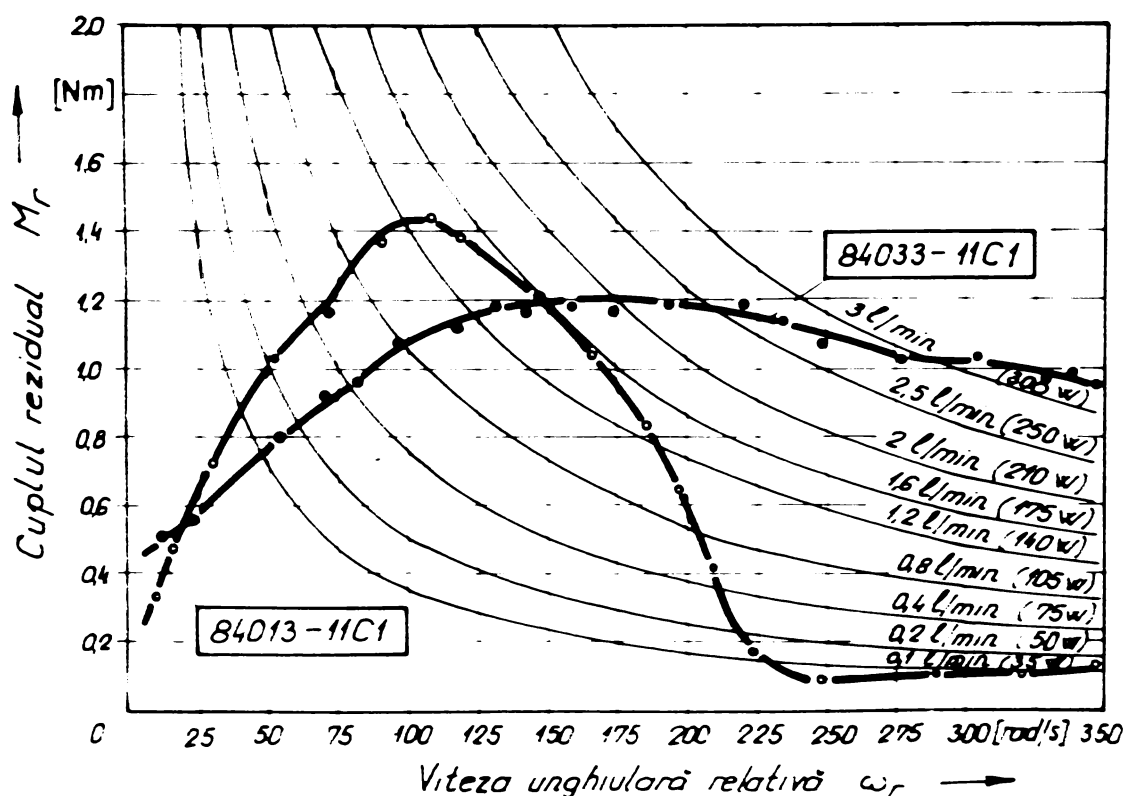


Fig. 5.21



**5.3. Verificarea teoretică și experimentală a funcționării cuplajelor în sistemul de acționare al unui strung. <sup>\*)</sup>**

În concordanță cu obiectivele cercetării precizate în § 4.2.3 s-au stabilit pentru cele 16 trepte ale cutiei de viteze:  
- valorile cuplului motor  $M_{10}$ , ce corespund funcționării strungului fără sarcină, măsurate la arborele de intrare (fig. 5.22).

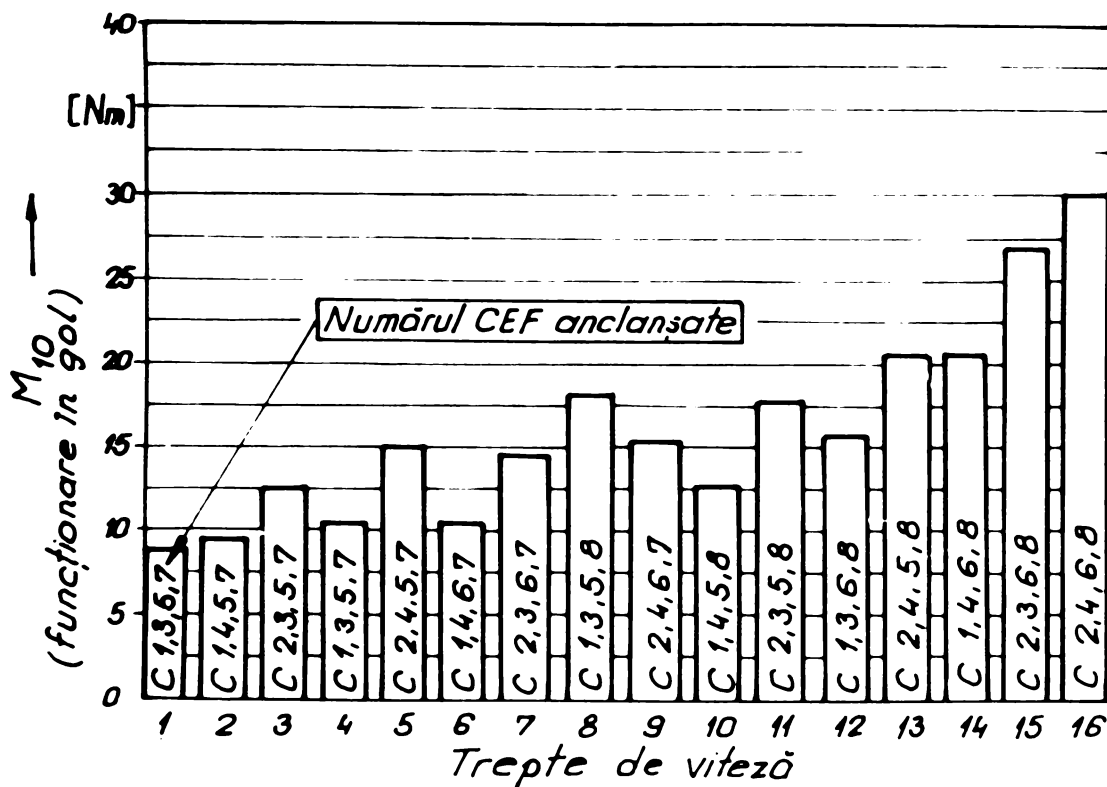


Fig. 5.22

Aceste măsurători au permis delimitarea globală a procesului disipativ la mersul în gol. Pentru localizarea zonelor, apoi a elementelor din lanțul cinematic (cuplaje, angrenaje, lagăre ș.a.m.d.) care introduc pierderi semnificative, s-au executat și măsurători parțiale cuplând succesiv - prin intermediul CEF - <sup>partuni</sup> ~~partuni~~ <sup>partuni</sup> lanțului cinematic ;

- prin măsurători similare, în sarcină progresiv crescătoare, s-a determinat cuplul maxim disponibil la arborele principal al mașinii ( $M_{2M}$ ) și cel corespunzător la arborele motor ( $M_{1M}$ ). rezultatele sînt prezentate în fig. 5.23 ;

<sup>\*)</sup> Incercări efectuate asupra strungului revolver SkO-40.

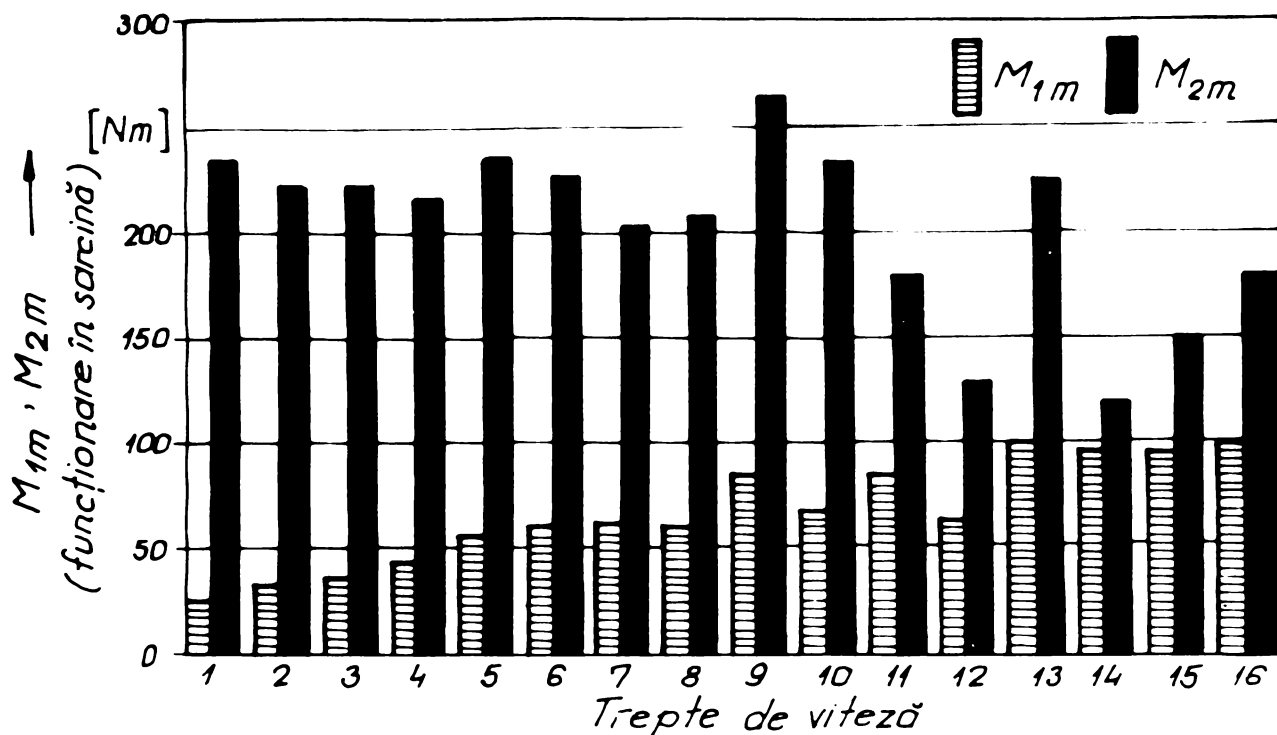


Fig. 5.23

Fenomenele tranzitorii, în fazele de pornire pînă la încărcarea transmisiei la sarcina maximă s-au analizat cu ajutorul oscilogramelor de tipul celei din fig. 5.24, în care unele notații au semnificația :

$M_{1a}, M_{2a}$  sînt cuplarile la arborele motor respectiv la arborele principal în faza de limitare datorită patinării (alunecării) unui CEF din lanțul cinematic ;

$t_{a0}$  - timpul de accelerare cu toate CEF declanșate ;

$t_a$  - timpul de accelerare al arborelui principal (unele cuplaje sînt comandate cu temporizare) ;

$t_f$  - timpul de frinare.

Importanța deosebită a cunoașterii timpului  $t_a$ , rezidă în

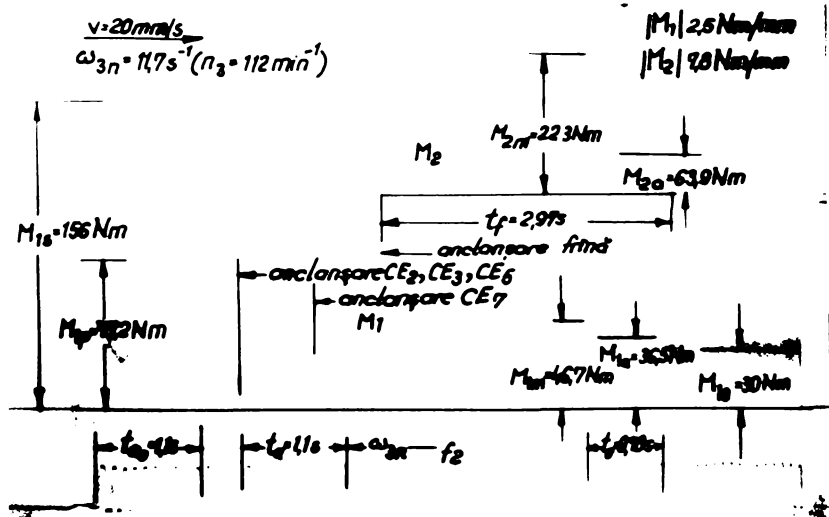


Fig. 5.24

faptul că acesta este unul dintre factorii care determină productivitatea mașinii (mai ales dacă se are în vedere faptul că strungul se utilizează cu precădere pentru prelucrări în ciclu automat). Se știe că în fazele de accelerare la pornire sau

schimbări de viteze, mașina nu poate funcționa în sarcină cit timp nu s-au încheiat procesele de ambreiere. Valorile măsurate ale timpilor de accelerare sînt prezentate în fig. 5.25.

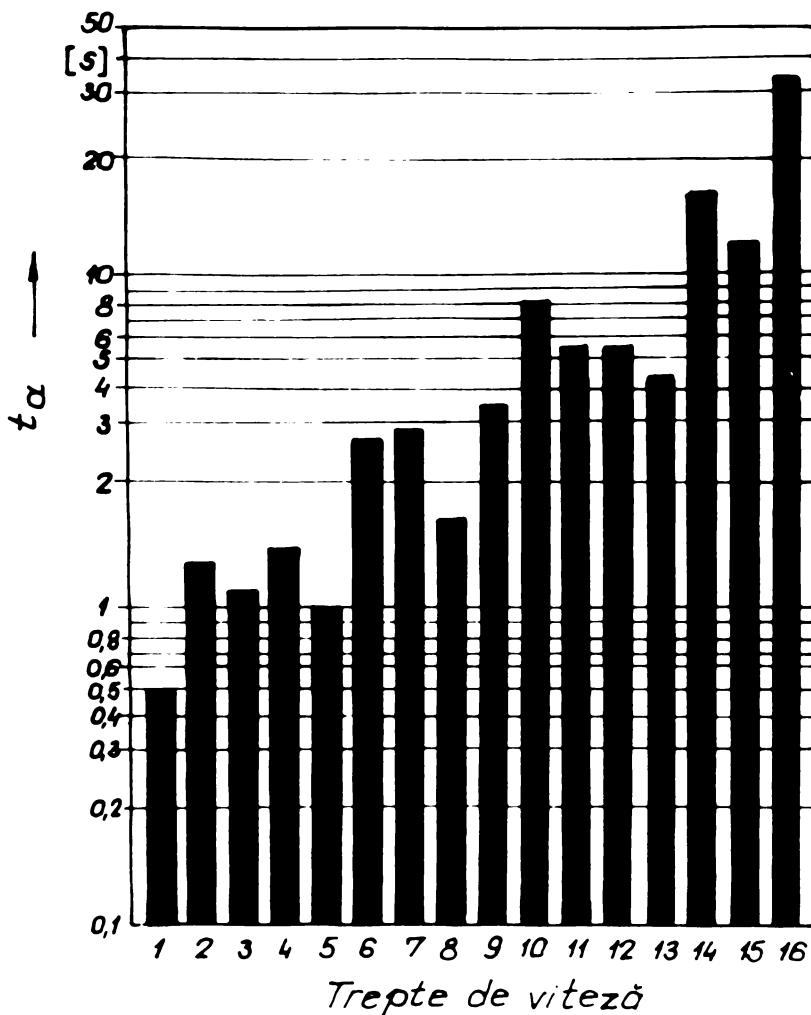


Fig. 5.25

dependentei  $M_T = \text{const.}$  (conform recomandărilor de catalog [150] și [151] s-au utilizat dependentele  $M_T = M_T(\omega_T)$ , determinate de autor în § 5.2).

Fondul problemei a constat în modul nou în care au fost privite condițiile de formare ale cuplurilor rezistente și a proceselor disipative însoțitoare pe porțiuni ale lanțului cinematic [43]. Principiile acceptate care conduc la mărirea preciziei calculului, se pot folosi și la rezolvarea unor probleme asemănătoare înosebi la cutiile de viteze sincronizate de tip graf arboreșcent cu bifurcație în noduri. Astfel de cutii de viteze - constituite din trenuri de angrenaje ordinare - prezintă din punct de vedere energetic, mai ales, câteva particularități de comportament remarcabile, datorate în ultima analiză, naturii și legilor de compoziție ale proceselor disipative. Se observă (v. tabelul 4.2) că la funcționarea pe o treaptă de reglare dată, minimum jumătate din numărul CEF se află - din punct de vedere electric - în stare declanșată. Intrucît CEF sînt în majo-

\* Contract 3205/73 I.P.N.I.-C.M.I., beneficiar I.I.I. Cugir.

Simpla cercetare experimentală nu putea elucida integral cauzele ce determină procese disipative în transmisia principală precum și nivelul cuplurilor rezistente aferente. Ca urmare, în paralel, s-a efectuat și un studiu analitic cuprinzător \*) al acestor procese.

Rezultatele calculului confruntate cu valorile măsurate se prezintă în fig. 5.26 și 5.27.

Compararea datelor relevă o concordanță satisfăcătoare numai atunci cînd în locul

ritatea cazurilor de tipul cu lazele și funcționează în ulei, stării decuplate îi corespunde o rezistență la rotație a cărei măsu-

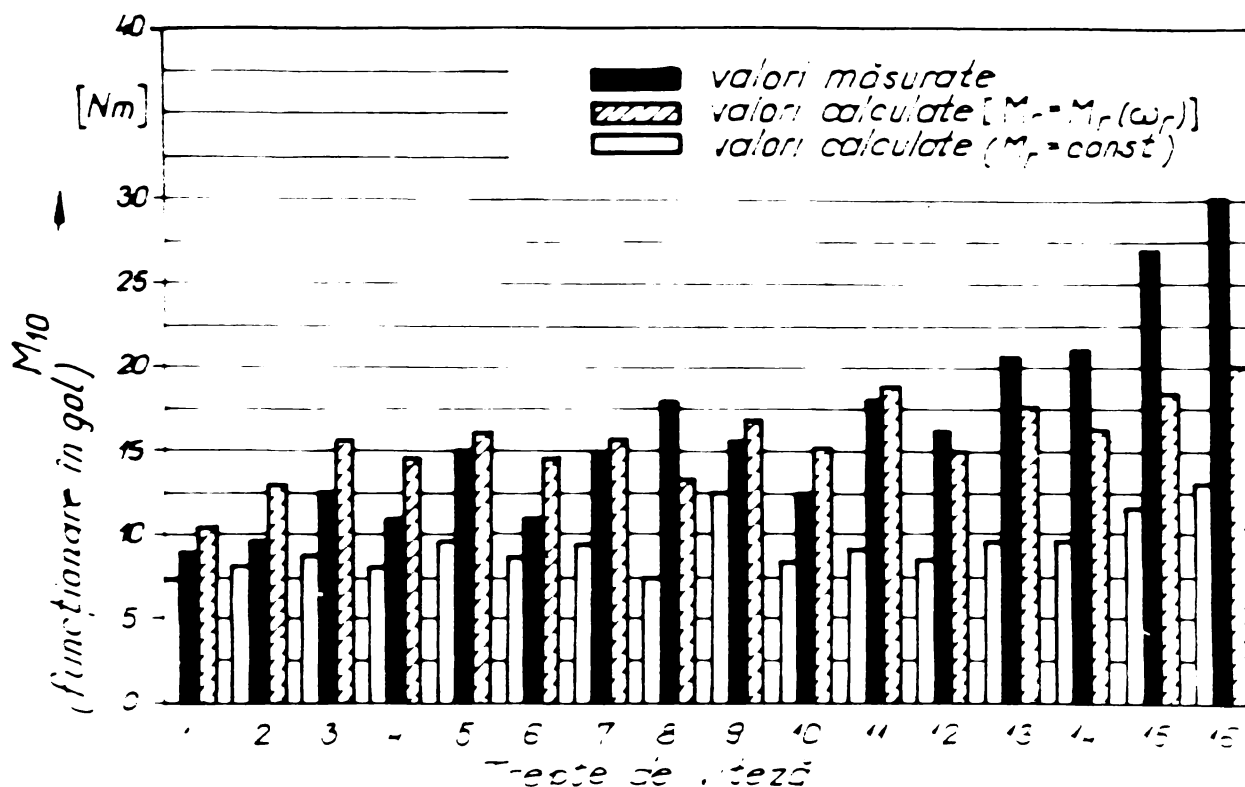


Fig. 5.26

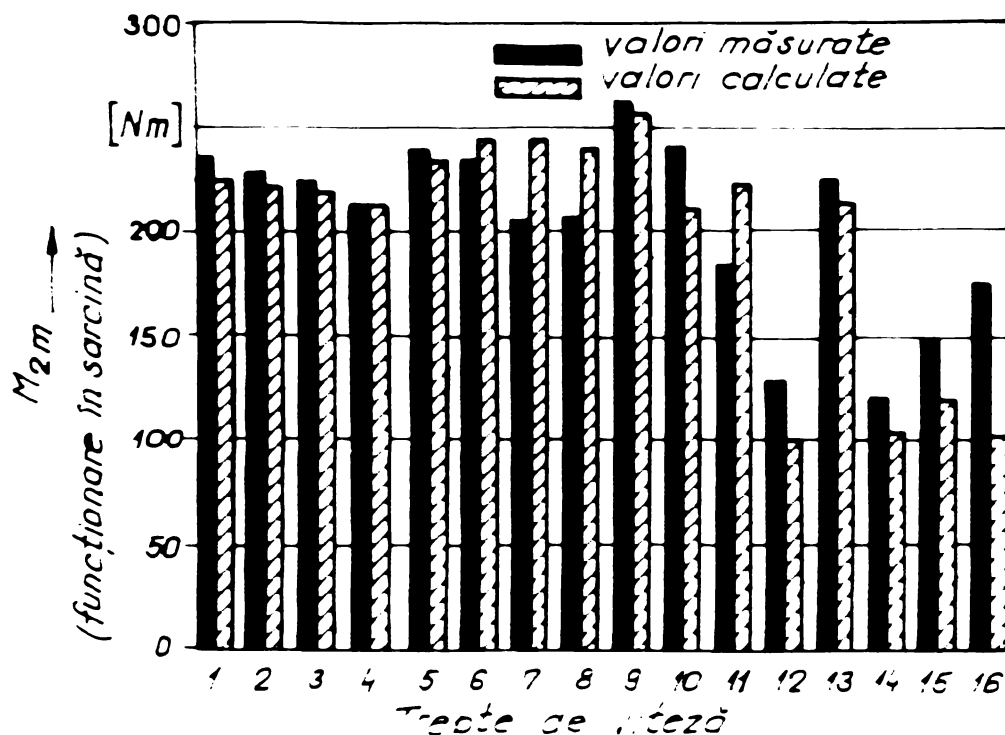


Fig. 5.27

ră este dată de cuplul rezidual  $M_r = M_r(\omega_r)$ . Ca urmare, fiecare zonă a lanțului cinematic ce permite reglarea discretă a vitezei unghiulare, se comportă analog unui divizor de energie cu una sau mai multe bucle disipative. În astfel de situații, particularitățile

transferului energetic se pot cerceta analitic prin detașarea unei porțiuni din trenul de angrenaje ordinară cuprinsă între arborii consecutivi de rang  $k$  și  $k + 1$  (fig. 5.28).

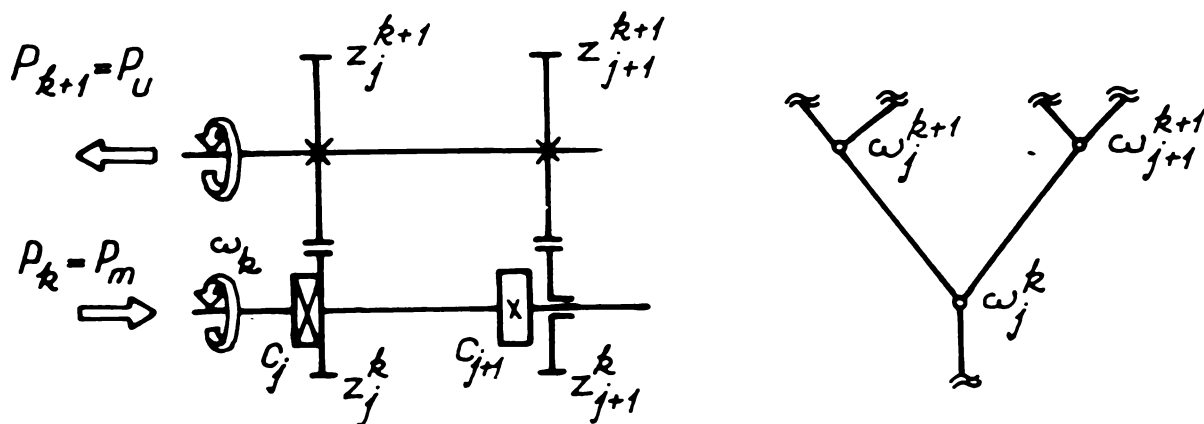


Fig. 5.28

Pentru starea anelantată a cuplajului  $C_j$  și rotația arborelui  $k$  ( $\omega_k = \omega_j^k$ ), viteza unghiulară relativă dintre lamelele cuplajului  $C_{j+1}$ :

$$\omega_{j,j+1}^k = \omega_j^k - \omega_{j+1}^k = \omega_j^k \left(1 - \frac{1}{i_j}\right) \quad (5.6)$$

poate fi pozitivă sau negativă funcție de valorile relative ale raportelor de transmitere:

$$i_j = \frac{s_{j+1}^{k+1}}{s_j^k} \quad ; \quad i_{j+1} = \frac{s_{j+1}^{k+1}}{s_{j+1}^k} \quad (5.7)$$

Conturul cinematic constituit din roțile dințate  $s_j^k, s_j^{k+1}, s_{k+1}^{k+1}$  și  $s_{j+1}^k$ , se închide sub acțiunea cuplului rezidual  $M_{R(j+1)}$  și a pierderilor din angrenaje, formându-se astfel o buclă disipativă.

Puterea recirculată  $P_R$  ca și sensul de parcurgere al conturului buclei disipative depind de sensul lui  $\omega_{j,j+1}^k$  (fig. 5.29 a) care atribuie în opoziție rolul de element motor/conduc celor două perechi de roți dințate.

La antrenarea în gol a conturului cinematic, prin arborele  $k$  se absoarbe puterea  $\Delta P_k$  ce reprezintă consumul energetic al buclei disipative.

Sistemul de ecuații format prin aplicarea principiului conservării energiei și a condiției de închidere prin frecare a conturului:

$$\left. \begin{aligned} \forall \omega_{j,j+1}^k > 0 \quad \Delta P_k + P_R &= \frac{1}{\eta_j \eta_{j+1}} P_R + \Delta P_{j+1} \\ \Delta P_k + P_R &= M_{R(j+1)} \omega_j^k \end{aligned} \right\} (5.8)$$

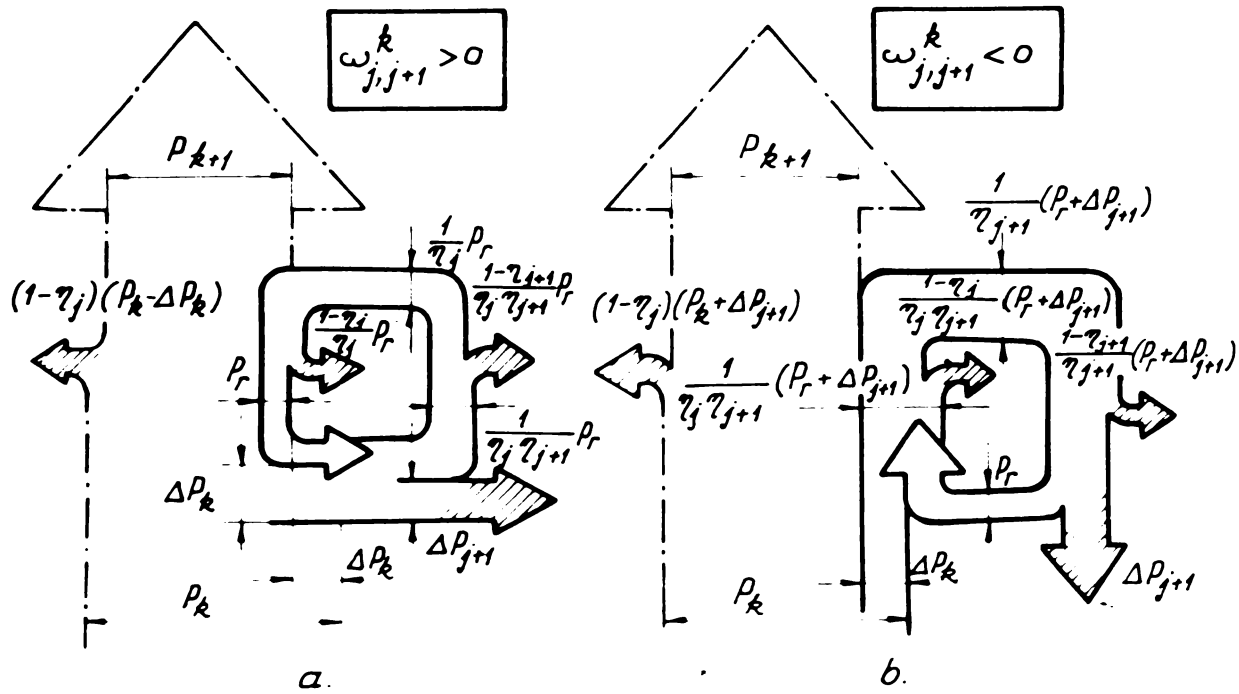


Fig. 5.29

$$\forall \omega_{j,j+1}^k < 0 \Rightarrow \Delta P_k + P_F = \frac{1}{\eta_j \eta_{j+1}} (P_F + \Delta P_{j+1}) \quad (5.9)$$

$$P_F + \Delta P_{j+1} = M_F (j+1) \omega_{j+1}^k$$

permite determinarea analitică a marilor  $P_F$  și  $\Delta P_k$  :

$$\forall \omega_{j,j+1}^k > 0 \Rightarrow P_F = M_F (j+1) \omega_j^k \frac{i_{j+1}}{i_j} \eta_j \eta_{j+1} \quad (5.10)$$

$$\Delta P_k = M_F (j+1) \omega_j^k \left( 1 - \frac{i_{j+1}}{i_j} \eta_j \eta_{j+1} \right)$$

$$\forall \omega_{j,j+1}^k < 0 \Rightarrow P_F = M_F (j) \omega_j^k \quad (5.11)$$

$$\Delta P_k = M_F (j+1) \omega_j^k \left( \frac{i_{j+1}}{i_j} \frac{1}{\eta_j \eta_{j+1}} - 1 \right)$$

unde :  $\eta_j, \eta_{j+1}$  reprezintă randamentele mecanice ale celor două angrenaje ;

$\Delta P_{j+1} = M_F (j+1) |\omega_{j,j+1}^k|$  este puterea disipată de cuplajul  $C_{j+1}$ .

La comparația relațiilor (5.10) și (5.11) se observă că în condiții constructive identice, funcționarea cea mai defavora-

bilă, sub aspect energetic, corespunde cazului  $\omega_{j,j+1}^k < 0$ .

Pentru rețelele structurale cu numărul de ramificații mai mare decât doi, modelele funcționale din fig. 5.29 a și b se pot generaliza. În acest caz trebuie stabilite sensurile posibile de recirculare a puterii în buclele disipative conjugate, verificându-se totodată compatibilitatea principiului suprapunerii efectelor.

Dacă de la arborele  $k$ , prin angrenajul de ordinul  $j$  se transferă puterea motoare :

$$P_k \leq M_j \omega_j^k,$$

(limitată de cuplul transmisibil al cuplajului  $C_j$ ) atunci, conform fig. 5.28 și a relațiilor (5.10) și (5.11), la arborele  $k+1$  se obține puterea utilă  $P_{k+1} = (P_k - \Delta P_k) \eta_j$ .

Conform raționamentelor anterioare, randamentul mecanic pe porțiunea analizată are valoarea :

$$\forall \omega_{j,j+1}^k > 0 \quad \eta_{k,k+1} = \left[ 1 - \frac{M_{k(j+1)}}{M_j} \left( 1 - \frac{i_{j+1}}{i_j} \eta_j \eta_{j+1} \right) \right] \quad (5.12)$$

respectiv :

$$\forall \omega_{j,j+1}^k < 0 \quad \eta_{k,k+1} = \left[ 1 - \frac{M_{k(j+1)}}{M_j} \left( \frac{i_{j+1}}{i_j} \frac{1}{\eta_j \eta_{j+1}} - 1 \right) \right] \quad (5.13)$$

Analizându-se calitativ fig. 5.29 a, b și relațiile randamentului mecanic (5.12) și (5.13), se observă că pentru cazul cel mai defavorabil ( $\omega_{j,j+1}^k < 0$ ) în afară de creșterea sensibilă a pierderilor apare o supraîncărcare accentuată a ramurii active a buclei disipative.

Restricțiile stabilite permit, prin aplicarea într-un caz concret, calculul analitic al pierderilor, verificarea încărcării efective și a încălzirii C&F cu lamele, respectiv determinarea cuplurilor transmisibile maxime la arborele de ieșire.

Pentru alegerea corectă a mărimii cuplajelor trebuie să se aibă în vedere felul în care variază cuplurile ce se transmit în zona considerată a lanțului cinematic pe fiecare treaptă de viteză.

În lipsa caracteristicii mecanice a sarcinii [4, 11, 125, 151 și 159], cum se întâmplă în numeroase cazuri, drept bază pentru calculul alegerii C&F poate servi cuplul nominal al motorului electric redus la fiecare din arborii pe care sînt montate cuplaje ( $M_n^k$ ). Efectele neuniformității sarcinii [95, 102, 125, 155 și 159] sînt

luate în considerare printr-un coeficient de suprasarcină  $k_s \in [1, 2; 4]$ . În consecință, cuplul comutabil necesar a fi asigurat de cuplajul ce funcționează pe arborele de rang  $k$  se calculează cu relația :

$$M_{Cj}^k = k_s M_N^k \quad (5.14)$$

pe baza căruia se alege din catalog primul cuplaj în ordine crescătoare a mărimilor din condiția :

$$M_{Cnj}^k \geq M_{Cj}^k \quad (5.15)$$

Pentru verificarea corectitudinii alegerii cuplajelor pe această bază, este necesar ca pe lângă calculul de verificare a încălzirii, să se stabilească dacă condiția restrictivă privitoare la nedeșășirea vitezei unghiulare maxime din catalog este îndeplinită pentru toate treptele de viteză.

Explicarea completă a cauzelor pentru care cuplurile disponibile la arborele principal al strungului s-au situat la nivelele măsurate (fig. 5.23), a necesitat conform precizărilor anterioare, efectuarea unui calcul laborios. În acest scop s-a utilizat calculatorul electronic FELIX C-256 programat în limbaj FORTRAN 4 pe baza organigramei redată simplificat în fig. 5.30.

Informațiile obținute au permis precizarea :

- cuplului comutabil necesar a fi dezvoltat de fiecare cuplaj, pe fiecare treaptă de viteză, iar pe baza valorii maxime, din catalog s-a ales cuplajul corespunzător ;
- turațiilor absolute și relative pentru stările cuplat/decuplat pe toate treptele de viteză ; valorile obținute s-au comparat cu cele admise de catalog.

Calculul s-a efectuat avînd valorile  $k_s = 1,5 ; 1,8 ; 2,1 ;$

2,4.

Semnificația notațiilor ce nu rezultă din organigramă este următoarea :

$n_{uj}$  sînt turațiile absolute și relative ale cuplajului  $j$  pe treapta de viteză  $u$  ;

$i (K)$  - raportul de transmitere de la motor la cuplajul considerat pe o anumită treaptă de viteză ;

$\Delta i (K)$  - diferența rapoartelor de transmitere de la motor la arborele considerat pe de o parte pentru cuplajul anclanșat și pe de altă parte, pentru cel declanșat ;

$K$  - o matrice pătrată prin care se exprimă schema de cuplare pe fiecare treaptă (derivată din tabelul 4.2).

Pentru alegerea cuplajelor necesare și confruntarea lor cu cele existente, s-au introdus anticipat, în memoria calculatorului, caracteristicile de catalog.



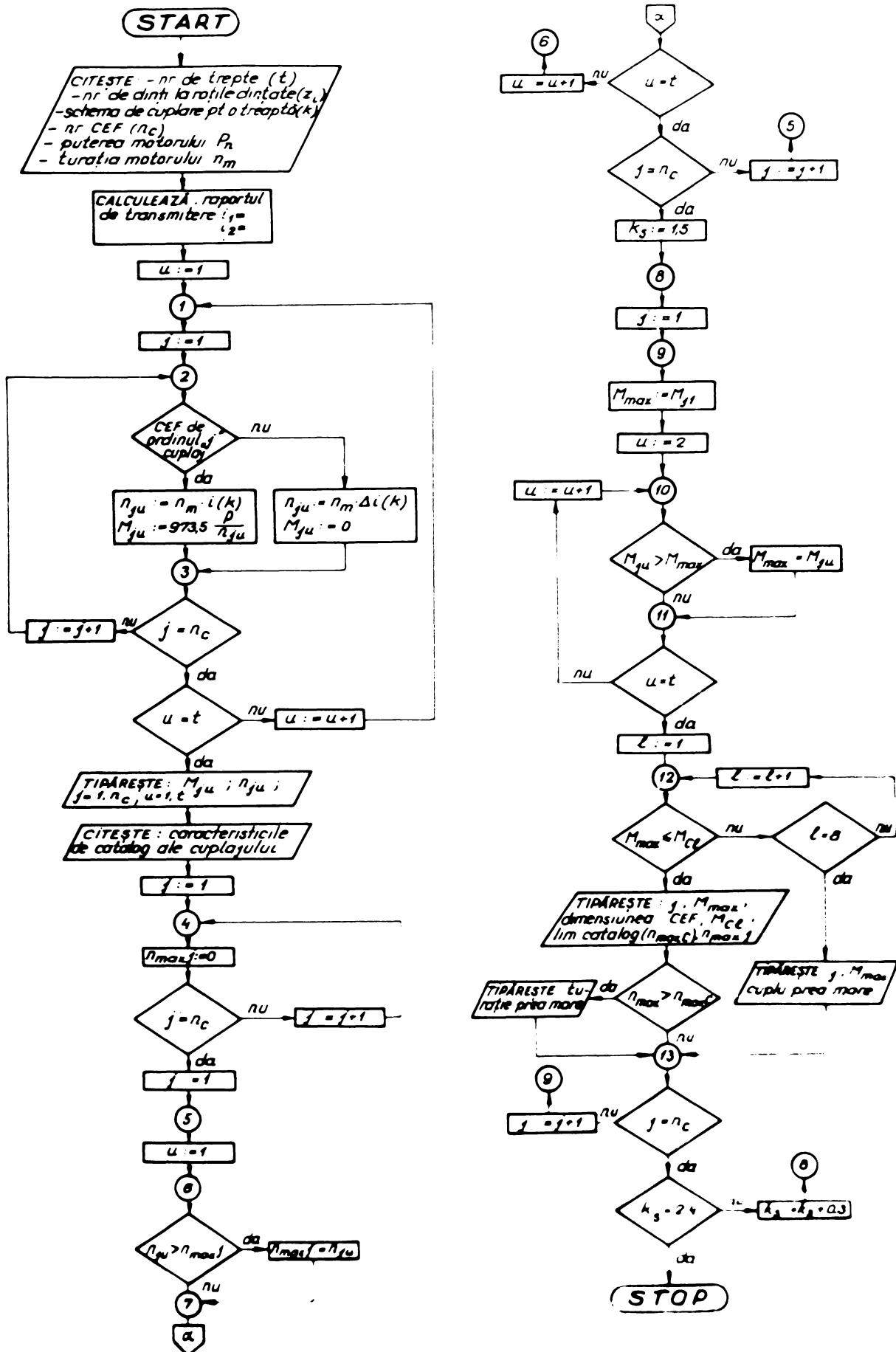


Fig. 5.30

Pe baza principiilor formulate anterior devine posibilă deopotrivă verificarea unei soluții existente cit și optimizarea din punct de vedere energetic (cuplu rezidual minim) a unei soluții noi, știind ca în general, la o cutie de viteze dată, cu funcțiuni impuse, îi corespund mai multe variante structurale a treptelor de viteză. De asemenea, se pot evita încă din etapa de concepție neconcordanțele ce ar putea să apară între tipodimensiunea de CEF cu lană

și condițiile locale de funcționare.

Forma de tipărire tabelară a rezultatelor în cazul analizat este exemplificată în fig. 5.31.

POTEREA MOTORĂ 7.50 kW  
TURATIA MOTORULUI 1440 RPM

TABELUL NR. 1

	CUPLAJ C1	CUPLAJ C2	CUPLAJ C3	CUPLAJ C4	CUPLAJ C5	CUPLAJ C6	CUPLAJ C7	CUPLAJ C8
1	MOMENT	4.76	3.398	4.451	5.246	21.523	127.614	298.55
	TURATIE	1040.00	2148.63	1718.91	1381.92	358.76	57.21	298.55
2	MOMENT	4.76	3.398	4.451	5.246	12.831	79.427	190.00
	TURATIE	1040.00	2148.63	1718.91	1381.92	568.74	171.26	91.66
3	MOMENT	4.76	3.398	4.451	5.246	10.316	64.145	158.00
	TURATIE	1040.00	2148.63	1718.91	1381.92	727.78	108.427	113.93
4	MOMENT	4.76	3.398	4.451	5.246	8.106	51.402	127.00
	TURATIE	1040.00	2148.63	1718.91	1381.92	545.00	101.17	755.91
5	MOMENT	4.76	3.398	4.451	5.246	6.453	40.124	100.00
	TURATIE	1040.00	2148.63	1718.91	1381.92	1131.49	1733.35	181.97
6	MOMENT	4.76	3.398	4.451	5.246	5.070	31.528	100.00
	TURATIE	1040.00	2148.63	1718.92	1381.92	871.26	1441.00	231.58
7	MOMENT	4.76	3.398	4.451	5.246	4.074	25.374	100.00
	TURATIE	1040.00	2148.63	1718.91	1381.91	1084.27	1792.05	288.20
8	MOMENT	4.76	3.398	4.451	5.246	21.523	127.614	20.523
	TURATIE	1040.00	2148.63	1718.91	1381.92	358.76	545.00	298.55
9	MOMENT	4.76	3.398	4.451	5.246	2.549	15.847	100.00
	TURATIE	1040.00	2148.63	1718.91	1381.92	1733.35	2864.84	480.72
10	MOMENT	4.76	3.398	4.451	5.246	12.831	79.427	12.831
	TURATIE	1040.00	2148.63	1718.91	1381.92	568.74	171.26	127.28
11	MOMENT	4.76	3.398	4.451	5.246	10.316	64.145	10.316
	TURATIE	1040.00	2148.63	1718.91	1381.91	727.78	108.427	593.96
12	MOMENT	4.76	3.398	4.451	5.246	8.106	51.402	8.106
	TURATIE	1040.00	2148.63	1718.91	1381.91	545.00	101.17	755.91
13	MOMENT	4.76	3.398	4.451	5.246	6.453	40.124	6.453
	TURATIE	1040.00	2148.63	1718.91	1381.91	1131.49	1733.35	181.97
14	MOMENT	4.76	3.398	4.451	5.246	5.070	31.528	5.070
	TURATIE	1040.00	2148.63	1718.92	1381.92	871.26	1441.00	1441.00
15	MOMENT	4.76	3.398	4.451	5.246	4.074	25.374	4.074
	TURATIE	1040.00	2148.63	1718.91	1381.91	1084.27	1792.05	1503.85
16	MOMENT	4.76	3.398	4.451	5.246	2.549	15.847	2.549
	TURATIE	1040.00	2148.63	1718.91	1381.92	1733.35	2864.84	2864.84

Fig. 5.31

TABELUL NR. 2

	TURATIA	MOMENT	TURATIA	TURATIA	OBSERVAȚII
	MAXIMA	NOMINAL	ADMISA	MAXIMA	
C1	12.169	8.013-16C1	20.000	3200.00	2148.63
C2	6.117	8.013-14C1	10.000	3900.00	2148.63
C3	15.211	8.013-16C1	20.000	3200.00	2747.91
C4	9.515	8.013-14C1	10.000	3900.00	2747.91
C5	36.941	8.013-19C1	40.000	2800.00	2864.84 TUR. PNEA MARE
C6	14.590	8.013-16C1	20.000	3200.00	2864.84
C7	72.224	8.013-24C1	80.000	2100.00	2864.84 TUR. PNEA MARE
C7	90.724	8.013-29C1	160.000	1700.00	2864.84 TUR. PNEA MARE
C7	115.960	8.013-29C1	160.000	1700.00	2864.84 TUR. PNEA MARE
C7	143.688	8.013-29C1	160.000	1700.00	2864.84 TUR. PNEA MARE
C7	229.705	8.013-33C1	320.000	1400.00	2864.84 TUR. PNEA MARE
C8	36.941	8.013-19C1	40.000	2800.00	2864.84 TUR. PNEA MARE

Fig. 5.31

Se subliniază că pentru un tren de angrenaje cu ramificații sincronizate, deci cu bucle disipative, legea de compoziție a pierderilor nu mai este liniară, ca în cazul trenurilor de angrenaje cu ramificații <sup>ne</sup>sincronizate sau fără ramificații. Omiterea acestui principiu conduce la o apreciere eronată a pierderilor de energie, valorile calculate fiind cu mult inferioare celor reale.

## CAP. 6. CONCLUZII FINALE.

Cercetările întreprinse în cadrul prezentei lucrări au urmărit extinderea și aprofundarea cunoștințelor asupra funcționării și construcției CEF. Valorificarea acestor studii au avut drept obiective principale punerea la dispoziția proiectanților, a unor metode de calcul mai precise, cu posibilități de optimizare, precum și a unor informații utile care să permită exploatarea cât mai avantajoasă a calităților sistemelor de acționare electrice ce înglobează CEF.

Concluziile cercetărilor izvorâte din principalele contribuții aduse de autor sînt următoarele :

1. Noua metodă de calcul electromagnetic cu posibilități de optimizare, permite reducerea substanțială a puterii de comandă, ceea ce conduce implicit la realizarea unor cuplaje de gabarit minim. Cu alte cuvinte, în condiții identice de gabarit, putere de comandă și întrefier în stare anclanșată, cuplajele proiectate prin metoda originală dezvoltă cele mai mari valori ale forței electromagnetice. Prototipurile derivate din cuplajele fabricate în serie, prin reproiectare, au prezentat în toate cazurile o creștere sensibilă a performanțelor funcționale (creșterile cuplului comutabil nominal măsurate pe prototipurile fabricate la I.M. Cugir) au înregistrat valori medii de cca 30 %).

2. Caracteristica mecanică dinamică a CEF stabilită de autor, prin forma exponențială particulară (rel. 2.45) și prin modul în care poate fi valorificată în calculul analitic, grafo-analitic și de modelare analogică a procesului de ambreiere, constituie o nouă descoperire în domeniu.

Analiza comportamentului cuplajului în regim nestaționar a permis generalizarea prin exprimarea adimensională a acestei caracteristici. Noua teorie bazată pe ecuațiile mișcării arborilor ce trebuie cuplați - dependențe implicite de caracteristica propusă - oferă o imagine completă și unitară asupra funcționării sistemelor de acționare în decursul fazelor de ambreiere.

3. Teoria elaborată privitoare la funcționarea CEF în regim tranzitoriu, a fost verificată printr-un variat program de încercări. Concordanța bună dintre dependența teoretică și valorile măsurate confirmă valabilitatea principiilor acceptate în elaborarea tezei, precizia relativ ridicată și gradul de generalitate al acesteia. Cercetările au condus totodată la concluzia că pentru a descrie fidel caracteristica mecanică dinamică reală, este necesar să se ia în considerație - cu toate dificultățile ce le implica - și variațiile constante-

lor fizice  $\mu_{ai}$  și  $\mu$ , precum și efectele impactului armătură-pachet de lamele.

4. Cuplajele electromagnetice cu fricțiune din structura transmisiilor mecanice, conferă acestora, printre altele, calități ameliorate în privința timpilor de accelerare și sarcinii. În raport cu acționările la care motoarele electrice antrenează mașinile de lucru prin intermediul cuplajelor permanente fixe sau mobile, la cele cuplate prin CEF este posibilă reducerea duratei proceselor transitorii de 3...10 ori în cazul comenzi normale a cuplajului. Dacă comanda se realizează prin supraexcitație, reducerea duratei poate fi de 50...60 ori (chiar mai mare). În astfel de cazuri, virfurile de sarcină înregistrează valori importante, motiv pentru care trebuie să se acorde o atenție deosebită calculului de dimensionare sau de verificare a elementelor componente din lanțul cinematic. Trebuie menționat de asemenea că în cazul comenzi CEF, prin supraexcitație, și timpul de reacție se reduce substanțial.

5. Răcirea-lubrifierea CEF are consecințe deosebite asupra funcționării în stare declanșată. Cercetările experimentale au condus la stabilirea unor condiții optime de ungere și răcire, astfel ca la o viteză unghiulară relativă dată și o anumită tipodimensiune de cuplaj, procesele disipative, respectiv valcarea cuplului rezidual, să devină minime.

6. Sinteza monografică întocmită asupra structurii și performanțelor funcționale actuale ale CEF, precum și ale dispozitivelor de alimentare și protecție, oferă proiectanților informații sistematizate pentru alegerea celui mai potrivit tip de cuplaj în funcție de cerințele și particularitățile concrete ale sistemului de acționare.

7. Pe baza modelului mecanic echivalent acceptat de autor, s-au precizat și caracterizat factorii ce definesc regimurile stabilizat cuplat și decuplat precum și cel tranzitoriu de ambreiere și debreiere. Pe această bază s-a studiat bilanțul energetic al CEF în scopul reducerii la minim posibil a pierderilor din sistemul de acționare. Programul experimental, mai ales în regim stabilizat decuplat, a permis evidențierea factorilor principali ce contribuie la înrăutățirea proceselor disipative și la producerea eventuală a antrenărilor false.

8. Dispozitivele de comandă ale CEF realizate și experimentate de autor, aflate în curs de omologare [50 și 52], prin care se poate evita impactul unor dispozitive cu rol funcțional simi-

lar, oferă posibilitatea reglării în limite largi a duratei și a frecvenței regimurilor tranzitorii de ombrelere din sistemele de acționare ale mașinilor și utilajelor.

9. Cercetarea experimentală complexă a cuplajelor electromagnetice cu fricțiune pe instalații de încercare specializate, a dovedit că în astfel de cazuri, acționările cu variatoare de viteză electrice cu motoare de curent continuu, prezintă avantaje incontestabile din punctul de vedere al preluării sarcinilor, al mărimii gamei de reglare și al facilității comenzii.

10. Urmărirea continuă a variației parametrilor electri-ci, cinematici și dinamici a necesitat folosirea unor tractoare active și pasive, din care o parte au fost de concepție originală, incluse în lanțurile de măsurare și înregistrare a informației. Echipamentele impuse de astfel de cercetări, axate îndeosebi pe măsurători în regim tranzitoriu, trebuie să îndeplinească condiții severe de fidelitate și precizie.

11. Pe baza cercetărilor experimentale asupra materialelor magnetice și a condițiilor funcționale cerute electromagneților integrați în structura cuplajelor electromagnetice cu fricțiune, se desprinde concluzia că printr-un efort minim de cercetare, există posibilitatea realizării la scară industrială în țară, a unui fier tehnic echivalent celui importat, reducându-se astfel eforturile valutare impuse de producția actuală de CAF.

12. În cercetările executate asupra sistemului de acționare al unui strung, s-a reușit să se evidențieze că numai printr-o alegere, montare și exploatare corectă a cuplajelor electromagnetice cu fricțiune dintr-o cutie de viteze, este posibilă obținerea unor valori relativ ridicate ale randamentului global al transmisiei mecanice. Se precizează, în aceeași ordine de idei, că valori relativ mari ale cuplurilor disponibile la arborele principal al mașinii unelte se obțin prin micșorarea pierderilor din buclele disipative. Acest fapt devine posibil dacă se iau în considerație, pe lângă valoarea efectivă a cuplului rezidual, și cerințele unei ungeri și răcirii optime.

x

x

x

Autorul își exprimă prețuirea și recunoștința față de tovarășul Prof.dr.ing. Eugen Seracin, pentru conducerea științifică competentă și sprijinul deosebit acordat în pregătirea și finali-

zarea acestei lucrări.

Aplicarea în producție a rezultatelor obținute se datorește muncii pline de abnegație a specialiștilor din cadrul Întreprinderii mecanice Cugir, care au realizat prototipurile proiectate și au asigurat o parte din baza materială necesară cercetării. Pentru elaborarea exemplară, autorul aduce mulțumiri conducerii Întreprinderii mecanice Cugir.

De asemenea, aduce mulțumiri tuturor colegilor din colectivul Catedrei de Organe de mașini, mecanisme și desen tehnic, pentru schimbul de idei, sprijin acordat în realizarea instalațiilor experimentale și sugestiile valoroase exprimate în cursul elaborării tezei de doctorat.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Baum, H. - Drehmomentübertragung durch Reibung. In : Binder Magnete Informationen, Grupa 7, Nr.104, 1966, p.2-4.
- 2 Baum, H. - Schwingungen beim Bremsen mit Federdruckbremsen. In: Binder Magnete Informationen, Nr.105, 1967, p.2-5.
- 3 Baumann, W. - Bauarten und Eigenschaften elektromagnetisch gelüfteter Bremsen an Stoppmotoren. In : Konstruktion, Nr.4, apr., 1969, p.137-147.
4. Baumann, W. - Elektromagnet-Lamellenkupplungen als Schaltelement im Haupt - und Vorschub - Antrieb, von Werkzeugmaschinen. In : Klepsig Fachberichte, Nr.5, 1957, p.187-188.
5. Baumann, W. - Elektromagnetische Geräte für verschiedene Betriebsbedingungen. In : Binder Magnete Informationen, Nr.2, 1967, p.41-45.
- 6 Baumann, W. - Elektromagnetisch gelüftete Bremsen an Stoppmotoren. In : Binder Magnete Informationen, Nr.5, febr., 1968, p.77-88.
- 7 Baumann, W. - Elektromagnetische Geräte mit Anker. München, Carl Hanser Verlag, 1965.
- 8 Baumann, W. - Elektrische Steuerungen mit und an Kupplungen. In : Binder Magnete Informationen, Nr.3, sept., 1967, p.1-4.
- 9 Baumann, W. - Die Magnetkreisgestaltung bei Elektromagnetkupplungen mit magnetisch durchfluteten Lamellen. In : Binder Magnete Informationen, Nr.18, 1971, p.2-4.
- 10 Baumann, W. - Elektromagnetisch betätigte Federdruckbremsen. In : Industrie-Anzeiger, Nr.96, nov., 1962, p.30-33.
- 11 Baumann, W. - Größenbestimmung von elektromagnetisch betätigten Reibungskupplungen. In: Klepsig Fachberichte, Nr.12, dec., 1960, p.440-445.
- 12 Baumann, W. - Kurshubige Magnetysteme für Kupplungen und Bremsen. In : Elektrotechnische Zeitschrift, Nr.19, Sept., 1963, p.521-526.
- 13 Baumann, W. - Magnetkreisgestaltung bei Elektromagnetkupplungen. In : Werkstatt und Betrieb, Nr.2, 1969, p.69-71.
14. Baumann, W. - Konstruktionsmerkmale und Auswahl von schleifringlosen Elektromagnet-Lamellenkupplungen. In : Werkstatt und Betrieb, Nr.5, 1958, p.233-242.

- 15 Baumann, W. - Praktische Hinweise für Planung und Steuerung zur Anwendung von elektromagnetisch betätigten Kupplungen. In : Klopzig Fachberichte, nr. 11, nov. 1960, p. 416-422.
- 16 Becker, G. - Druckluftgesteuerte Reibungskupplungen System "Airflex". In : Binder Magnete Informationen, Nr. 3, sept., 1967, p. 63-65.
- 17 Block, P., Hennings, D. - Automatic switching control with electric clutches and brakes. In : Elektro-Technologie, 1961.
- 18 Bennetot, M. - Accouplements magnétiques. In : Industrie Technique, nr. 4, martie, 1969.
- 19 Hirsch, A. - Elektromagnetisch geschaltete Zahnkupplungen. In : Klopzig Fachberichte, Nr. 6, 1965, p. 242-245.
- 20 Bolangiu, D., Paizi, G., Gavrilas, I. - Cuplaje. Bucuresti, Editura tehnica, 1962.
- 21 Bolek, A., Krejci, V. - Hridelove Spolky. Praga, SNTL, 1967.
- 22 Botez, N. ș. a. - Mașini unelte. Bucuresti, editura didactică și pedagogică, 1970.
- 23 Boțan, N. V. - Bazele calculului acționărilor electrice. Bucuresti, editura tehnica, 1970.
- 24 Brașovan, M. - Acționări electromecanice. Bucuresti, Editura didactică și pedagogică, 1967.
- 25 Brașovan, M., Seracin, B., Bogoevici, M. - Acționări electrice. Probleme și aplicații industriale. Bucuresti, editura tehnica, 1963.
- 26 Brașovan, M., Seracin, B. - Metode noi de proiectare a acționărilor electrice. Bucuresti, editura Academiei R. S. România, 1968.
- 27 Brinkmann, H. - Schaltvorgänge bei elektromagnetisch geschalteten Lamellenkupplungen. In : Maschine-Werkzeug, Nr. 7, martie, 1963, p. 15-18.
- 28 Brendel, J. - Accouplements joints de cardan encliquetages. Paris, Dunod, 1961.
- 29 Bunesou, V. ș. a. - Raționalizarea calculului în proiectare. Ed. 2, Bucuresti, editura tehnica, 1967.
- 30 Busch, H. J. - Elektromagnetisch durchflutete Einscheiben - Kupplungen und Bremsen für hohe Schaltzahlen. In : Antriebstechnik, Sonderheft Zürich, Nr. 8, p. 25-28.
- 31 Caganov, I. L. - Autatori electronici și ionici (Traducere din limba rusă), Bucuresti, editura energetică de stat, 1953.
- 32 Cernavachi, S. A. ș. a. - Cursevoie proiectirovanie detali mașin. Moscova, mașinostroenie, 1970.



- 33 Giganek, L. - Predezny navroch stojanovnoho elektromagnetu. D. Obz, Nr. 3, 1954.
- 34 Coirier, Y. - Les embrayages dans les machines outils. In : La machines- outil Francaise, Nr. 175 și 176, aprilie-mai, 1962, p. 141 - 151 și 375-377.
- 35 Constantinescu, A. - Indreptar de fonte și oțeluri. București, editura Tehnică, 1969.
- 36 Dobrovolschi, V. A. - Detali mașin, Moscova, Maghiz, 1962.
37. Doncev, B. I. - Elektromagnitni mnogodiskovi soediteli. In : BDR pri OPP, Kazanik, 1969.
38. Felea, I. ș.a. - Circuite cu tranzistoare în industrie. Vol. I, București, Editura tehnică, 1963.
- 39 Feyer, S., Precup, I. - Aditivi pentru uleiuri minerale. București, editura tehnică, 1964.
- 40 Finkelburg, H. H. - Kupplungen - Eine Übersicht. In : Klepzig Fachberichte, iunie, 1963, p. 364-372.
- 41 Flegariu, S., Balekics, M. și Gligor, O. - Caracteristici mecanice ale lignofolului LSD-C impregnat cu grafit, utilizabil în construcția roților dințate. In : Materiale plastice, vol. 5, Nr. 6, 1963, p. 310-313.
- 42 Fontenay, R. - Freins et embrayages électromagnétiques dans les automatismes industriels. In : Electronique Industrielle, iul-aug, 1967.
- 43 Gheorghiu, M., Gligor, O. și Ionescu, M. - Processe dissipative specifice cutiilor de viteze sincrone. Comunicare prezentată la cea de-a 3-a Sesiune de comunicări tehnico-stiințifice, jubiliară, I. M. Cugir, oct. 1974.
- 44 Gheorghiu, M., Gligor, O. ș.a. - Familia de reductoare inversoare de putere medie pentru acționări navale. In : Simpozionul de mecanisme și transmisii mecanice, vol. 2, Reșița, oct. 1972, p. 474-500.
45. Gibson, J. E. - Sisteme automate neliniare. București, editura Tehnică, 1967.
- 46 Gligor, O. - Contribuții la studiul cuplului rezidual al cuplajelor electromagnetice cu fricțiune (comunicare prezentare la Sesiunea I. r. Măișoara, nov. 1974).
- 47 Gligor, O. - Asupra anclanșării rapide a cuplajelor și frinelor electromagnetice cu fricțiune. In : Simpozionul de mecanisme și transmisii mecanice, Vol. 2, Reșița, oct. 1972, p. 666-673.
- 48 Gligor, O. - Optimizarea calculului de dimensionare a dispozitivelor pentru acționarea cuplajelor electromagnetice cu fricțiune și cu dinți. In : Simpozionul de mecanisme și transmisii mecanice, vol. 2, Reșița, oct. 1972, p. 673-683.

- 49 Gligor, O.,  
Feimer, I. - Unele probleme ale construcției și utilizării cuplajelor electromagnetice cu fricțiune și a variatoarelor cu element flexibil (Comunicare prezentată la Sesiunea științifică organizată în cinstea celei de a XXV-a aniversări a proclamării Republicii, I.P.F., dec.1972).
- 50 Gligor, O. - Dispozitiv electronic pentru supraexcitare a cuplajelor și frinelor electromagnetice cu fricțiune (Propunere de invenție nr.71871/5.08.1972, în curs de omologare).
- 51 Gligor, O. - Particularități ale funcționării acționărilor cu cuplaje electromagnetice cu fricțiune comandate prin supraexcitație (Comunicare prezentată la a 3-a sesiune de comunicări tehnico-științifice, jubiliară, I.A. Cugir, oct.1974).
- 52 Gligor, O. - Dispozitiv semielectronic universal pentru comanda cuplajelor și frinelor electromagnetice cu fricțiune (Propunere de invenție nr.80581/4.12.1974, în curs de omologare).
- 53 Gligor, O. - Modelarea analogică a sistemelor de acționare ce includ cuplaje electromagnetice cu fricțiune. In : Cel de-al doilea simpozion de mecanisme și transmisii mecanice, Reșița, oct.1976, vol.6, p.1537-1541.
- 54 Gligor, O.,  
Gheorghiu, N. - Analiza criterială a funcționării cuplajelor electromagnetice cu fricțiune în regim tranzitoriu. In : Cel de-al doilea Simpozion de mecanisme și transmisii mecanice, Reșița, oct.1976, p.1542-1549.
- 55 Haug, H. - Der Abbau der remanenten Induktion bei elektromagnetischen Spanngeräten. In : Binder Magnete Informationen, Nr.1, 1966, p.14.17.
- 56 Heinz, E. - Kupplungslamellen auf Sintemetallbasis. In: Maschinenmarkt, Nr. 54, 1969, p.1233 - 1234.
- 57 Hille, F. - Reibschlüssige Elektromagnet-Kupplungen-und bremsen. In : Antriebstechnik, Nr.7, 1969, p.256-261
- 58 Horovitz, B.,  
Gligor, O. - Vorspannung von Nienentrieben. In : Maschinenmarkt, Nr.33, 1970, p.1874-1878.
- 59 Horovitz, B.  
Gligor, O. - Metodă și aparat pentru măsurarea continuă a uzurii. Brevet de invenție nr.58677/1968.
- 60 Horovitz, B.,  
Gligor, O. - Metodă și dispozitiv electromagnetic de tensionare automată a curelelor de transmisie. Brevet de invenție nr.55995/1972.
- 61 Hortopan, G.,  
ș.a. - Aparate electrice de joasă tensiune, București, Editura tehnică, 1969.
- 62 Ioanovici, F. - Contribuții la studiul caracteristicilor materialelor plastice în condițiile frecării uscate, cu aplicații la segmentii de frână auto (Disertație). I.P. București și Centrul de Mecanica Solidului, 1973.

- 63 Ionescu, B.,  
Gligor, U. - Instalație universală pentru încercarea transmisțiilor mecanice. In : Simpozionul de mecanisme și transmisii mecanice, vol. 2, Meșița, oct., 1972, p. 758-764.
- 64 Ivan, I. D. - Contribuții la studiul ambreiajelor cu discuri circulare plane pe baza criteriului de uzură cu luarea în considerare a regimului de lucru (Disertație). Institutul de Construcții, București, 1972.
- 65 Ivanov, E. I. - Mufti privodov. Ed. a II-a, Moscova, Mashin, 1959.
- 66 Lure, S. I.,  
Flancik, E. S. - Dinamicheskie protsesy v sistemah avtomaticheskovo upravleniya s elektromagnitnymi muftami. In : Elektrotehnika, Nr. 11, 1970, p. 1-3.
- 67 Kapp, A. - Das Leerlaufmoment elektromagnetisch betriebiger Lamellen-Kupplungen mit durchfluteten Lamellen. In : Konstruktion, Nr. 5, 1963.
- 68 Kaebnick, H. - Verteilung des Kiihlöls im Lamellenpaket von ölgekiihlten Kupplungen. In : Industrie Anzeiger, 96, Nr. 106, 1974, p. 2382-2383.
- 69 Khragan, E. H. - Bremsysteme für Stoppmotore. In : Binder Magnete Informationen, Nr. 102, 1968, p. 2-6.
- 70 Krause, H. - Selbsterregte Keilungsschwingungen bei Kupplungslamellen eine experimentelle Untersuchung (Disertation). I. H. Karlsruhe, 1965.
- 71 Kross, H. - Einscheiben - Permanentmagnet - Bremsen mit elektromagnetischer Lüftung. In : Binder Magnete Informationen, Nr. 7, apr., 1968, p. 125-130.
- 72 Kross, H. - Elektromagnetische Einscheiben-Kupplungen uno-Bremsen. In : Binder Magnete Informationen, Nr. 2, 1967, p. 21-28.
- 73 Kross, H. - Vorgänge beim Schalten von Inaktivitäten. In : Binder Magnete Informationen, Nr. 1, 1966, p. 3-7.
- 74 Kross, H. - Stromversorgung und Schaltzeitverkürzung bei elektromagnetischen Geräten für Gleichstrom. In : Binder Magnete Informationen, Nr. 1, 1966, p. 6-13.
- 75 Kross, H. - Der Lichtbogen beim Abschalten von elektromagnetischen Geräten. Entstehung und Beseitigung. In : Binder Magnete Informationen, Nr. 3, 1967, p. 57-58.

- 76 Kuner, H. - Elektronische Baueinheiten zum Betrieb elektromagnetischer Geräte. In : Binder Magnete Informationen, Nr. 2, aprilie, 1967, p. 37-38.
- 77 Liubeik, M. A. - Electromagneți de curent continuu și alternativ - Calcul de proiectare - (Traducere din limba rusă), București, Editura tehnică, 1963.
- 78 Lehr, F. W. - Kupplungs-Atlas, Ludwigsburg AGT Verlag, 1960.
- 79 Manea, G. ș.a. - Organe de mașini, vol. 1 și 2, București, Editura tehnică, 1956.
- 80 Manolescu, N., Kovács, F. Orănescu, A. - Teoria mecanismelor și a mașinilor. București, Editura didactică și pedagogică, 1972.
- 81 Neghievski, V. G. - Cuplaje și frine electromagnetice cu pulbere (Traducere din limba rusă), București, Editura tehnică, 1966.
- 82 Nazarenko, A. P. - Tehnocet zavodschiu laboratorii. HMMZ, 1958.
- 83 Neininger, W. - Elektromagnet-Kupplungen. Beispiele aus der Praxis. In : Binder Magnete Informationen, Nr. 107, 1968, p. 2-10.
84. Neininger, W. - Federdruck-Bremsen. In : Binder Magnete Informationen, Nr. 103, 1968.
- 85 Nicolau, T. ș.a. - Măsurări electronice în industrie. București, Editura tehnică, 1964.
- 86 Niemann, G. - Maschinenelemente. Berlin-Göttingen-Heidelberg, Springer Verlag, 1958.
- 87 x x x - Noi materiale electrotehnice și folosirea lor. Materiale conductoare și magnetice, vol. 1, București, I. D. T., 1963.
- 88 Nitsche, C. - Die Schaltvorgänge bei Elektromagnet-Lamellenkupplungen. In : Technik und Betrieb, Nr. 10, 1962.
- 89 Nitsche, C. - Schnelles Schalten mit Elektromagnet-Lamellenkupplungen. In : Maschinenwelt und Elektrotechnik, Nr. 10, 1962.
- 90 Nitsche, C. - Schaltkupplungen in Diesel-Sofortaggregaten. In : Industrie-Anzeiger-Nr. 61, Iulie, 1964.
- 91 Nitsche, C. - Elektromagnetisch geschaltete Zahnkupplungen-Aufbau und Einsatzmöglichkeiten. In : Maschinenwelt und Elektrotechnik, Nr. 1, 1960.
- 92 Oberecker, W. - Elektromagnetisch betätigte Zahnkupplungen. In : Binder Magnete Informationen, Nr. 105, 1968, p. 2-4.
- 93 Oberecker, W. - Die Bauformen von elektromagnetisch betätigten Reibungskupplungen. In : Binder Magnete Informationen, Nr. 104, 1968, p. 1-6.
- 94 Opelt, W. - Tehnica reglării automate. București, Editura tehnică, 1965.

- 95 Pampel, W. - Kupplungen. Berlin, T.I. Verlagtechnik, 1958.
- 96 Pavelescu, D. - Concepții noi, calcul și aplicații în frecarea și uzura solidelor deformabile. București, Editura Academiei R.S.R., 1971.
- 97 Peterewski, W. - Spiegla elektro-magnetyczne. Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1966.
- 98 Poliacov, V.C. - Mufti. Construcția i rascet. Moscova, Mashiz 1964.
- 99 Pommersheim, A., Gligor, O. - Asupra utilizării calculatorului numeric în alegerea și verificarea cuplajelor electromagnetice cu fricțiune pentru cutiile de viteză (Comunicare prezentată la a 3-a sesiune de comunicări tehnico-stiințifice, jubiliară, I.M. Cugir, oct. 1974).
- 100 Peters, G. - Electromagnetische Mechanismen. Moscova, Gosenergoizdat, 1949.
- 101 Pozdeev, A.B., Kozman, I.B. - Cuplaje și frine electromagnetice cu inductiv masiv (Traducere din limba rusă). București, Editura tehnică, 1965.
- 102 Procopovici, B. - Cuplaje electromagnetice cu fricțiune și cu dinți. București, Editura tehnică, 1968.
- 103 Răduleț, R. - Bazele electrotehnicii - probleme - vol. I, București, Editura didactică și pedagogică, 1963.
- 104 Rüggen, W. - Über die verschiedenartige Einschaltung von Lamellenkupplungen und die sich daraus ergebenden Besonderheiten. In : Maschine und Werkzeug/Europa Technik, Nr. 7, martie, 1962.
- 105 Rüggen, W., Stübner, K. - Stoßfaktoren und ihr Einfluss auf die Bestimmung der Kupplungsgröße. In : Maschine und Werkzeug/Europa Technik, Nr. 7, martie, 1962.
- 106 Rüggen, W., Stübner, K. - Gumikupplung mit Axialausgleich durch Verzahnung, dargestellt am Beispiel der Periflex-Kupplung. In : Werkstatt und Betrieb, Nr. 1, 1962, p. 16-20.
- 107 Rüggen, W., Stübner, K. - Sicherheit im Maschinenbau durch Präzisionskupplungen und Überlastsicherungen. In : Werkstatt und Betrieb, Nr. 6, 1961, p. 309-319.
- 108 Rüggen, W., Stübner, K. - Kupplungen in Pressen und Scheren. In : Bänder Bleche Rohre, aug. 1961, p. 354-363.
- 109 Rüggen, W., Stübner, K. - Elektromagnetisch geschaltete Lamellenkupplungen. In : Maschinenwelt, Nr. 3, 1965.
- 110 Samal, I. - Tehnica reglării. Manual practic. București, Editura tehnică, 1966.
- 111 Schach, W. - Kupplungen-konstruktive Gestaltung und Anwendung im Betrieb. In : Technik und Betrieb, Nr. 2-6, 1962.

- 112 Schach, W. - Kupplungen in Notstromaggregaten. In :  
Maschinenwelt und Elektrotechnik, Nr.1, 1962.
- 113 Schach, W. - Die Sicherheitskupplung als Überlastsicherung.  
In : Wo-Maschinen-Funk, Nr.12, 1962.
- 114 Schach, W. - Berechnung der drehelastischen Kupplung für  
Maschinensätze mit Dieselmotoren. In : Wo-  
Maschinenfunk, Nr.2, 1961.
- 115 Scheid, W. - Einscheiben - und Mehrscheibenkupplungen in  
Maschinen der Blechumform - und Trenntechnik.  
In : Blech, Nr.10, oct. 1969.
- 116 Scheid, W. - Elektromagnetisch - und drückölgeschaltete  
Lamellenkupplungen in Werkzeugmaschinenbau.  
In : Die Maschine, Nr.9, 1967, p.72-75.
117. Scheid, W. - Einscheiben-Lamellen-Kupplungen und Bremsen  
in Baumaschinen. In : Deutsche Hebe- und For-  
dertechnik, Nr.10, oct., 1967.
- 118 Scheid, W. - Schaltgetriebe - Einheiten für Werkzeugmaschi-  
nen. In : Die Maschine, Nr.2, febr. 1969.
- 119 Scheid, W. - Reibkupplungen und-Bremsen in Schiffbau. In :  
Schiffbau-Hafen, Messe-Sonderheft, aprilie,  
1968.
- 120 Schunk, I. - Die Sicherheitskupplung als Überlastsiche-  
rung. In : Wo-Maschinen-Funk, Nr.12, 1962.
- 121 Seracin, B.,  
Bartzer, St. - Studiu cu privire la modelarea analogică a  
unor fenomene tranzitorii descrise prin solu-  
țiile unor ecuații diferențiale de ordinul  
doi. In : Buletinul științific și tehnic al  
IPT, Tom 12 (26), 1967, p.541-551.
- 122 Seracin, B. - Contribuțiuni cu privire la metodele de di-  
mensionare ale acționărilor electrice cu me-  
canism bielă-manivelă (Disertație). I.P.F.,  
1963.
- 123 Seracin, B. - Utilajul electromecanic al întreprinderilor  
industriale. București, Editura didactică și  
pedagogică, 1973 .
- 124 Sindermann, H. - Die Schaltzeit von Elektromagnet-Kupplungen  
und-Bremsen und massnahmen zu ihrer Beein-  
flussung. In : Antriebs-und Getriebe Technik,  
Nr.4, 1969, p.49-51.
- 125 Stübner, R.,  
Rüggen, W. - Kupplungen. Einsatz und Berechnung. München,  
Carl Hanser Verlag, 1961.
- 126 Stübner, R.,  
Rüggen, W. - Elektromagnetisch geschaltete Lamellen-  
Kupplungen. In : Maschinenwelt, Nr.3, 1965.
- 127 Stübner, R.  
Rüggen, W. - Kupplungen im Einsatz bei Kunststoff und  
Gummi-Verarbeitungsmaschinen. In : D.I.M.A.,  
Nr.4, 1969, p.49-51.
- 128 Stübner, R.,  
Rüggen, W. - Kupplungen in Notstromaggregaten. In :  
Maschinenwelt und Elektrotechnik, Nr.1, 1962.
- 129 Stupeli, F.A. - Elektromechaniceskie rele. Izdatelstvo  
Harkov, 1956.

- 130 Tatar, O.N.,  
Flidlider, G.M. - Dinamiceskie harakteristiki bistro-  
deistvniuschih elektromagnitnih muft.  
In : Vestnik elektropromislenosti,  
1963, Nr. 7, p. 13-20.
- 131 Tetelbaum, I.M. - Elektricescoe modelirovanie. Moscova,  
Fizmatgizdat, 1959.
- 132 Tokareva, V.D. - Perehodnie protsesi v elektroprivo-  
de toka s bistrodeistvniuschimi elek-  
tromagnitnimi muftami. In : Elektrici-  
cestvo, 1967, Nr. 5, p. 58-62.
- 133 Vogel, W. - Hidraulisch oder pneumatisch betätig-  
te Bremsen. In : Binder Magnete  
Informationen, Nr. 7, aprilie, 1968,  
p. 131-133.
- 134 Voigt, B. - Fortschritte in der Anwendung von  
Elektromagnetkupplungen. In : Technik  
und Betrieb, Nr. 5, mai, 1960.
- 135 Voigt, B. - Elektronisch gesteuerte Induktions-  
kupplungen. In : Maschinenwelt und  
Elektrotechnik, Nr. 8, 1960.
- 136 Voigt, B. - Elektroantriebe mit Induktions-  
kupplungen. In : Maschinenwelt und  
elektrotechnik, Nr. 9, 1961.
- 137 Voigt, B. - Schnell- und Ultra-Schnellschalt-  
geräte für Elektromagnet-Kupplungen.  
In : Elektro-Anzeiger, Nr. 15, aug.,  
1961.
- 138 Vorobieva, T.M. - Elektromagnitnie mufti. Moscova, Lenina-  
grad, Gosenergoizdat, 1960.
- 139 Wiedmann, L. - Elektromagnetische Kupplungen- Aus-  
führungsformen und Grundlagen für ihre  
Verwendung. In : T.Z. für praktische  
Metallbearbeitung, Nr. 7, iulie, 1962,  
p. 387-391.
- 140 Wiedmann, L.,  
Straub, R. - Elektro-Lamellen-Kupplungen in Ge-  
trieben. In : Elektrotechnische Zeit-  
schrift, Nr. 18, sept., 1957, p. 652-654.
- 141 Winkelmann, W. - Rinscheiben-Kupplungen und-Bremsen.  
Berechnung, Aufbau, Anwendung. In :  
Deutsche Maschinenwelt, Nr. 10, 1969.
- 142 Witenberg, M.I. - Raschet elektromagnitnih rele dlia  
aparaturi avtomatiki i sviaki. Moscova,  
Gosenergoizdat, 1956.
- 143 Werthing, A.C.,  
Geffner, J. - Prelucrarea datelor experimentale.  
București, Editura tehnică, 1958.
- 144 Zaimowski, A.S.,  
Jsov, V.V. - Metale și aliaje electrotehnice (Tra-  
ducere din limba rusă). București, Edi-  
tura energetică de stat, 1952.
- 145 Ziesel, K. - Antrieb von Ventilatoren mit Induktions-  
kupplungen. In : Technik und Betrieb,  
febr., 1961.

- 146 Ziesel, K. - Antrieb von Mehrfachdrahtziehmaschinen mit elektromagnetischen Schlupfkupplungen. In : We-Maschinenfunk, Nr. 9 și 10, 1965.
- 147 Ziesel, K. - Aufbau und Einsatz von Induktionskupplungen. In : Industrie-Anzeiger, Nr. 13 și 26, 1962.
- 148 x x x - Lamellenkupplungen mit selbsttätiger Nachstellung. In : Antriebstechnik, Nr. 12, 1969, p. 470-471.
- 149 x x x - Organe de mașini. Standarde și Comentarii. Vol. 1, București, Editura tehnică, 1970.
150. x x x - Prospectele întreprinderii mecanice Cugir.
- 151 x x x - Prospectele firmei Binder Magnete, Villingen, R.F.G.
- 152 x x x - Prospectele firmei Becking, Hamburg, R.F.G.
- 153 x x x - Prospectele firmei F.N.C., Milano, Italia.
- 154 x x x - Prospectele firmei Häussermann, Gama, Elveția.
- 155 x x x - Prospectele firmei Hela, Viena, Austria.
- 156 x x x - Prospectele firmei Matrix, Brechin, Scoția.
- 157 x x x - Prospectele firmei Mayl & Ziesel, Unna, R.F.G.
- 158 x x x - Prospectele firmei Mönninghoff, Bochum, R.F.G.
- 159 x x x - Prospectele firmei Ortlinghaus, Wermelskirchen, R.F.G.
- 160 x x x - Prospectele firmei Pintsch Bomag, Berlin.
- 161 x x x - Prospectele firmei Simplatroll, Böslingfeld, R.F.G.
- 162 x x x - Prospectele firmei Stromag, Unna, R.F.G.
- 163 x x x - Prospectele firmei Guco, Bissingen, R.F.G.
- 164 x x x - Prospectele firmei VMB Elektromotorenwerk, Dessau, R.D.G.
- 165 x x x - Prospectele firmei Warner Electric LTD, Lausanne, Elveția (licență S.U.A.).
- 166 x x x - Prospectele firmei Warner France, Courbevoie Franța (licență S.U.A.).
- 167 x x x - Prospectele firmei ZF Siemens, Friedrichshafen, R.F.G.