

MINISTERUL EDUCATIEI SI INVATAMINTULUI  
INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA" TIMISOARA  
FACULTATEA DE ELECTROTEHNICA

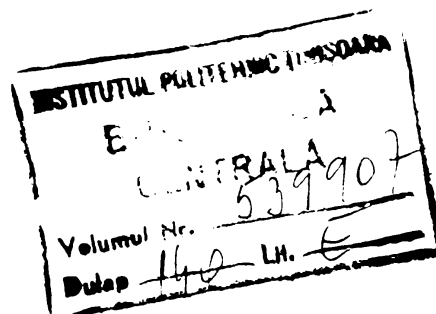
ing. STANILA VICTOR

CERCETARI PRIVIND IMBUNATATIREA  
PARAMETRILOR DE FUNCTIONARE A CUPLAJELOR SI FRI-  
NELOR ELECTROMAGNETICE CU ALUNECARE

TEZA DE DOCTORAT

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

CONDUCATOR ȘTIINȚIFIC,  
Prof.dr.ing. NOVAC IOAN



1988



## INTRODUCERE

Cuplajele și frânele electromagnetice cu alunecare, datorită avantajelor pe care le oferă, își găsesc utilizare în diverse domenii ale industriei.

Tara noastră nu are o industrie proprie de cuplaje și frâne electromagnetice cu alunecare de serie, necesitățile fiind acoperite din import. În vederea elaborării unei metodologii proprii de calcul destinată reducerii efortului valutar, o serie de autori din țară [4, 15, 19, 33] au abordat teoria cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare completând-o cu elemente noi. Lucrarea de față se înscrie în rândul acestor preocupări și este axată pe cuplajele și frânele electromagnetice cu alunecare cu inductor masiv.

În cap. I se prezintă principiul de funcționare al cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare, clasificarea acestora, metode de calcul abordate în literatura de specialitate și se precizează obiectul tezei de doctorat.

În cap. II se prezintă metoda straturilor de calcul a cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare cu inductor masiv. Se scriu ecuațiile câmpului electromagnetic, se precizează condițiile de limită și se stabilesc relațiile de bază în vederea calculării caracteristicilor mecanice și de putere.

În prima parte a cap. III se fac precizări privind particularitățile de aplicare a metodei straturilor la calculul cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare de tip homopolar cu inductor masiv feromagnetic. Pentru cuplajele și frânele cu inductor masiv de grosime finită se introduce criteriul de optimizare referitor la cuplul specific maxim. În continuare se particularizează metoda straturilor pentru cazul în care pe inductor înspre întrefier este aplicat un strat de metal neferomagnetic cu scopul îmbunătățirii performanțelor de funcționare ale acestora și se stabilește criteriul de optimizare.

Cap. IV constituie o aplicație a teoriei elaborate în cap. II și particularizată în cap. III pentru calculul optimizat al cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare cu inductor masiv feromagnetic cu sau fără strat de metal neferomagnetic aplicat pe inductorul acestora înspre întrefier. Sunt elaborate schemele logice de calcul pentru proiectarea respectiv optimizarea cuplajelor proiectate

și se realizează programele de calcul pe calculatorul numeric în Fortran. Se prezintă datele de proiectare, rezultatul proiectării și optimizării precum și caracteristicile mecanice și de putere pentru cele două variante de cuplaje realizate cu indus masiv (CEAH-60/1000) respectiv cu indus masiv și strat de metal neferomagnetic (CEAH-Cu/1000).

Cap.V. prezintă instalația de încercare a cuplajelor în vederea determinării caracteristicilor mecanice reale ale acestora. Capitolul cuprinde rezultatul experimentării de laborator, precum și confruntarea datelor obținute la experimentarea de laborator cu cele rezultate din calcul în urma aplicării metodei de calcul prezentată în teza. Se compară produsele realizate în cadrul tezei cu cele fabricate de firme străine specializate în producția de cuplaje.

Cap.VI. este capitolul de concluzii.

Fața de teoria cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare cu indus masiv feromagnetic prezentată în literatura de specialitate, teza de doctorat vine cu următoarele contribuții proprii:

1. Aplicarea într-o formă originală a metodei straturilor la calculul cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare cu luarea în considerare a caracteristicii reale de magnetizare a materialului feromagnetic din care este realizat circuitul magnetic:

1.1. Scrierea ecuațiilor câmpului electromagnetic.

1.2. Stabilirea condițiilor de limită.

1.3. Stabilirea relațiilor pentru determinarea caracteristicilor mecanice și de putere ale cuplajului.

2. Particularizarea aplicării metodei straturilor la cuplajul electromagnetic cu alunecare de tip homopolar:

2.1. Stabilirea criteriului de divizare a indusului feromagnetic masiv și de determinare a permeabilității magnetice a straturilor.

2.2. Stabilirea modelului de distribuție a inducției magnetice sub pasul polar al inductorului și determinarea expresiilor de calcul pentru inducția magnetică.

2.3. Stabilirea expresiei de calcul pentru solenația totală a inductorului cu luarea în considerare și a componentei

continue a câmpului magnetic.

2.4. Luarea în considerare a indusului feromagnetic de grosime finită și introducerea criteriului de optimizare a cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare referitor la cuplul specific maxim.

2.5. Stabiilirea metodologiei de optimizare a cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare cu indus masiv feromagnetic-folosind metoda grafo-numerică.

2.6. Studierea posibilităților de îmbunătățire a performanțelor cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare prin aplicarea pe indusul feromagnetic masiv, înspre intrefier, a unui strat de metal neferomagnetic și stabiilirea criteriului de optimizare pentru un asemenea tip de cuplaj.

3. Intocmirea schemelor logice și a programelor de calcul numeric.

3.1. Schema logică CEAH00 și program CEAH00 pentru determinarea dimensiunilor preliminare ale cuplajelor electromagnetice cu alunecare de tip homopolar cu indus masiv feromagnetic.

3.2. Schema logică CEAH01 și program CEAH01 pentru optimizarea cuplajelor electromagnetice cu alunecare de tip homopolar cu indus masiv feromagnetic și pentru calculul caracteristicilor mecanice și de putere ale cuplajelor optimizate.

3.3. Program CEAH11 pentru optimizarea cuplajelor electromagnetice cu alunecare de tip homopolar cu indus masiv feromagnetic avînd depus pe indus înspre intrefier un strat de metal neferomagnetic și pentru calculul caracteristicilor mecanice și de putere ale cuplajelor optimizate.

4. Realizări practice.

4.1. Cuplaj CEAH-60/1000 optimizat, de tip homopolar, cu indus masiv feromagnetic.

4.2. Cuplaj CEAH-Cu/1000 optimizat, de tip homopolar, avînd aplicat pe indusul masiv înspre intrefier un strat de cupru.

5. Experimentarea de laborator a celor două tipuri de cuplaje realizate practic și compararea datelor obținute cu datele de catalog referitoare la produsele similare fabricate de firme străine specializate.

Lucrarea de față poate servi la proiectarea, executarea și în-  
cercarea unor serii de cuplaje și frîne electromagnetice cu alune-

care optimizate de tip homopolar cu indus masiv feromagnetic cu sau fără strat de metal neferomagnetic aplicat pe indus înspre intrefier, utile industriei noastre.

Cu acest prilej țin să mulțumesc mult conducătorului științific Prof.dr.ing. Ioan Novac pentru prețioasele sale îndrumări de care am beneficiat la elaborarea acestei lucrări.

Mulțumesc pe această cale conducerii Combinatului Siderurgic Hunedoara, și colectivului de oameni ai muncii de la secția Aglomerator 1, Mecanică 1 și SDV pentru sprijinul acordat la realizarea practică a cuplajelor.

Sincerele mele mulțumiri colegilor de la Institutul de Subingineri Hunedoara și îndeosebi șef lucr.ing. Francisc Weber și sing. Ioan Hodor pentru ajutorul acordat la experimentările de laborator.

## CAPITOLUL I

### CONSTRUCTIA, FUNCTIONAREA SI METODE DE CALCUL UZUALE ALE CUPLAJELOR SI FRINELOR ELECTROMAG- NETICE CU ALUNECARE

#### 1.1. Generalități.

Cuplajele (CEA) și frânele (FEA) electromagnetice cu alunecare au un istoric destul de vechi, avînd în vedere că primele exemplare au apărut la începutul secolului XX.

Primele aplicații ale cuplajelor priveau exclusiv mecanismul de acționare al navelor, unde CEA oferea avantajul amortizării sarcinilor dinamice în cazul inversării sensului de mers al navei, precum și eliminarea avariilor cauzate de apariția rezonanței în lanțul cinematic motor Diesel-reductor de turăție-elice. Acest lucru explică și faptul pentru care CEA au fost fabricate prima dată de către țările puternic dezvoltate în privința flotei maritime ca : Anglia, S.U.A. și Suedia.

Ulterior, după anul 1950, CEA au primit o largă întrebuințare la comanda acționărilor electrice ale celor mai diferite mecanisme, fiind fabricate de multe țări, într-o gamă largă de tipodimensiuni.

Domeniul de aplicare de bază al CEA îl constituie acționarea mecanismelor cu moment rezistent de tip ventilator (ventilatoare, filtre de fum, exhaustoare, pompe, etc.).

În U.R.S.S. precum și în numeroase alte țări, /2, 11, 17, 20, 23, 31, 34, 35, 36, 37, 38, 42, 43, 44, 52, 53, 54/, CEA se folosesc cu mult succes ani de-a rândul în instalațiile de ventilatoare pentru condiționarea aerului, în uzinele de fibre artificiale, la pompele stațiilor de pompare a apei, la ventilatoare.

CEA se folosesc pentru reglarea debitului ventilatoarelor suflante la cuploarele Siemens Martin, la mașini destinate producției alimentare, la mașini poligrafice, excavatoare, conveiere, foraj, în construcția de strunguri (la strungurile de așchiere pentru menținerea constantă a vitezei de tăiere sau șlefuire odată cu modificarea diametrului piesei), la prese, la acționarea

macaralelor, la frînarea troliului macaralelor turn, la acționarea electrozilor de la oțelăriile electrice, etc.

Cu ajutorul CEA se rezolvă o serie de probleme foarte greu de soluționat prin alte metode, cum ar fi: pornirea fără șoc, limitarea cuplului transmis, comanda de la distanță a ambreierii și debreierii motoarelor, măsurări de cuplu, etc. Aceasta este și cauza pentru care CEA și FEA au pătruns într-o diversitate de domenii ale industriei.

### 1.2. Principiul de funcționare.

CEA sînt organe de mașini care transmit momentul de torsiune de la motorul electric de acționare la mașina de lucru prin intermediul cîmpului electromagnetic, fără contact mecanic.

Spre deosebire de motoarele electrice care au rolul de a transforma energia electrică în energie mecanică, cuplajele electromagnetice transmit doar această energie mecanică. De energie electrică este nevoie numai pentru comanda cuplării celor două părți ale cuplajului.

În literatura tehnică, CEA se mai numesc și cuplaje de inducție din cauză că principiul de funcționare al acestora se bazează pe fenomenul de inducție electromagnetică.

În principiu, un CEA este format din două părți rotitoare, legate de arborele conducător respectiv condus, conform fig.1.1.

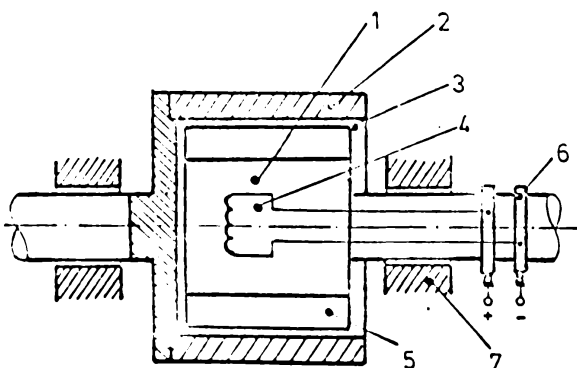


Fig.1.1. Schema de principiu pentru un cuplaj electromagnetic cu alunecare:  
1-inductor; 2-indus; 3-întrefier; 4-bobina de excitație;  
5-poli magnetici; 6-inele colectoare; 7-lagăre.

Inductorul 1 conține bobina de excitație 4, poli magnetici 5, iar indusul 2 sau armătura cum se mai numește, este separată de inductor prin întrefierul 3. Indusul 2 poate fi realizat sub formă de colivie, sau poate fi realizat sub formă de fier masiv, caz în care el poate fi considerat ca un număr infinit de conductoare ie-



gate în paralel.

Fluxul principal  $\Phi_1$  produs de bobina de excitație străbate întrefierul 3 și indusul 2 conform fig.1.2 .

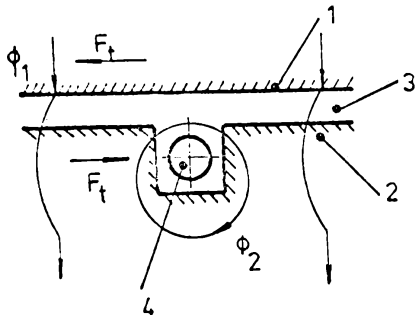


Fig.1.2 Explicativă la principiul de funcționare al unui CEA  
1-inductor; 2-indus; 3-întrefier;  
 $\Phi_1$  și  $\Phi_2$  fluxurile magnetice;  
 $F_t$ -forța tangențială.

Din cauza că între inductorul 1 și indusul 2 există o mișcare relativă, conductoarele 4 intersectează liniile de câmp magnetic ale fluxului  $\Phi_1$ , iar ca urmare a acestui lucru, în conductoare apar curenți care la rândul lor produc fluxul magnetic  $\Phi_2$ . Interacțiunea celor două fluxuri  $\Phi_1$  și  $\Phi_2$  produc forța tangențială  $F_t$  care antrenează în mișcarea de rotație partea condusă, în același sens în care se rotește partea conducătoare a cuplajului.

Constructiv, atât indusul cât și inductorul pot avea rol atât de parte condusă cât și de parte conducătoare, dar de regulă la mașina de acționare se leagă indusul.

Frânele electromagnetice cu alunecare (FEA) nu se deosebesc de cuplaje (CEA) decât prin aceea că partea condusă a cuplajului este fixă, iar partea conducătoare se leagă cu arborele care urmează a fi frânat. În momentul frînării, se alimentează înfășurarea de excitație a indusului cu curent de excitație. Întrucât în acest caz viteza relativă dintre indus și inductor este maximă și cuplul de frînare este maxim, putând căpăta valori de 2-3 ori mai mare decât cuplul nominal al cuplajului corespunzător alunecării nominale. Pe măsură ce turația scade către zero, cuplul de frînare se micșorează de asemenea și tinde către zero.

De regula, la frânele de mică putere indusul este cel care se cuplează la arborele ce urmează a fi frânat, în felul acesta fiind eliminate inelele colectoare.

La frânele de mare putere, indusul este fix, pierderile de putere din indus putând fi eliminate mai ușor prin răcire cu

apă sau alt agent de răcire.

### 1.3. Clasificare.

În fig.1.3 este prezentată schema generală de clasificare a cuplajelor electromagnetice cu alunecare.

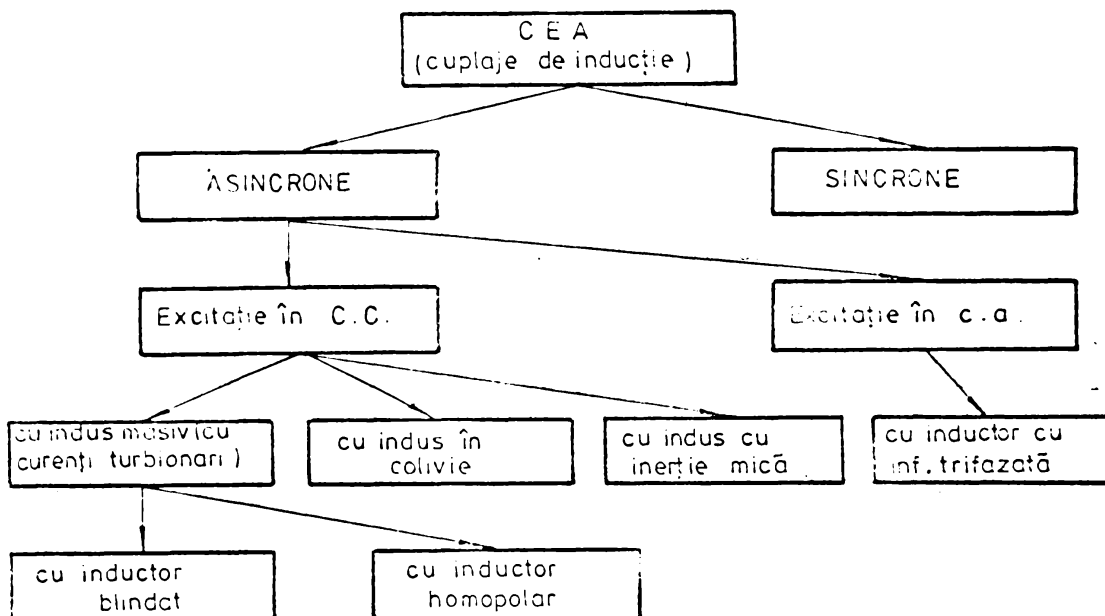


Fig.1.3. Clasificarea cuplajelor electromagnetice cu alunecare (CEA).

Conform acestei clasificări, CEA se împart în două categorii și anume în cuplaje sincrone și cuplaje asincrone.

Cuplajele asincrone pot fi realizate cu inductor prevăzut cu înfășurare de excitație alimentată în curent continuu caz în care frecvența curentului din indus la alunecarea  $s$  este dată de relația (1.1), sau pot fi realizate cu inductor prevăzut cu înfășurare de excitație alimentată în curent alternativ, situație în care aceeași frecvență este dată de relația (1.2).

$$f_2 = n_1 p s \quad (1.1)$$

$$f_2 = n_1 p s \pm s f_1 \quad (1.2)$$

unde :  $f_1$  - frecvența curentului în inductor (Hz);

$f_2$  - frecvența curentului în indus (Hz);

$p$  - numărul de perechi de poli din inductor;

$n_1$  - turația arborelui conducător (rot/s);

s-alunecarea definită prin relația (1.3);

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (1.3)$$

$n_2$ -turația arborelui condus (rot/s).

În relația (1.2) se ia semnul plus sau minus după cum sensul de rotire a câmpului magnetic dat de curenții alternativi din inductor coincide sau nu cu sensul de rotire al inductorului.

Indusul cuplajelor asincrone alimentate în curent continuu poate fi realizat sub formă de indus masiv din oțel, sau cu înfășurare în colivie. La CEA la care se impune o inerție mică, indusul este realizat sub formă de pahar, din materiale nemagnetice (de regulă aluminiu) ce se rotește în intrefierul inductorului.

Funcție de puterea care trebuie transmisă și de utilizare, CEA pot avea diferite forme constructive.

Varietatea soluțiilor constructive este prezentată în fig. 1.4.

Cuplajele pentru puteri mari se execută cu poli aparenti pe inductor, aceștia putând fi în interior (fig. 1.4.a<sub>1</sub>) sau în exterior (fig. 1.4.a<sub>2</sub> și a<sub>3</sub>), iar indusul sub formă masivă (fig. 1.4.a<sub>1</sub>), bobinat în colivie (fig. 1.4.a<sub>2</sub>) sau cu poli aparenti pentru cazul funcționării cuplajului în sincron (fig. 1.4.a<sub>3</sub>).

Cuplajele de acest tip sunt destinate acționării navelor. Ele echipează de asemenea tunele aerodinamice moderne, de mare putere pentru testarea modelelor de avioane.

La cuplajele pentru puteri mici și mijlocii, poli inductorului sunt executați sub formă unor coroane dințate de o parte și de alta a bobinei de excitație (fig. 1.4.b). Dinții unei coroane sunt de aceeași polaritate, de aceea inductorul se mai numește și homopolar. Și la aceste cuplaje, inductorul poate avea poli pe exterior (fig. 1.4.b<sub>1</sub>), pe interior (fig. 1.4.b<sub>2</sub>), sau combinați (fig. 1.4.b<sub>3</sub> sau b<sub>4</sub>). Indusul la oricare variantă prezentată, poate fi masiv sau bobinat.

În situațiile prezentate în fig. 1.4.c, indusul este executat cu poli sub formă de gheară care se interpătrund, creînd o polaritate alternativă, iar bobina de excitație este plasată sub protecția acestor poli. Aceste tipuri de cuplaje se mai numesc și cu-

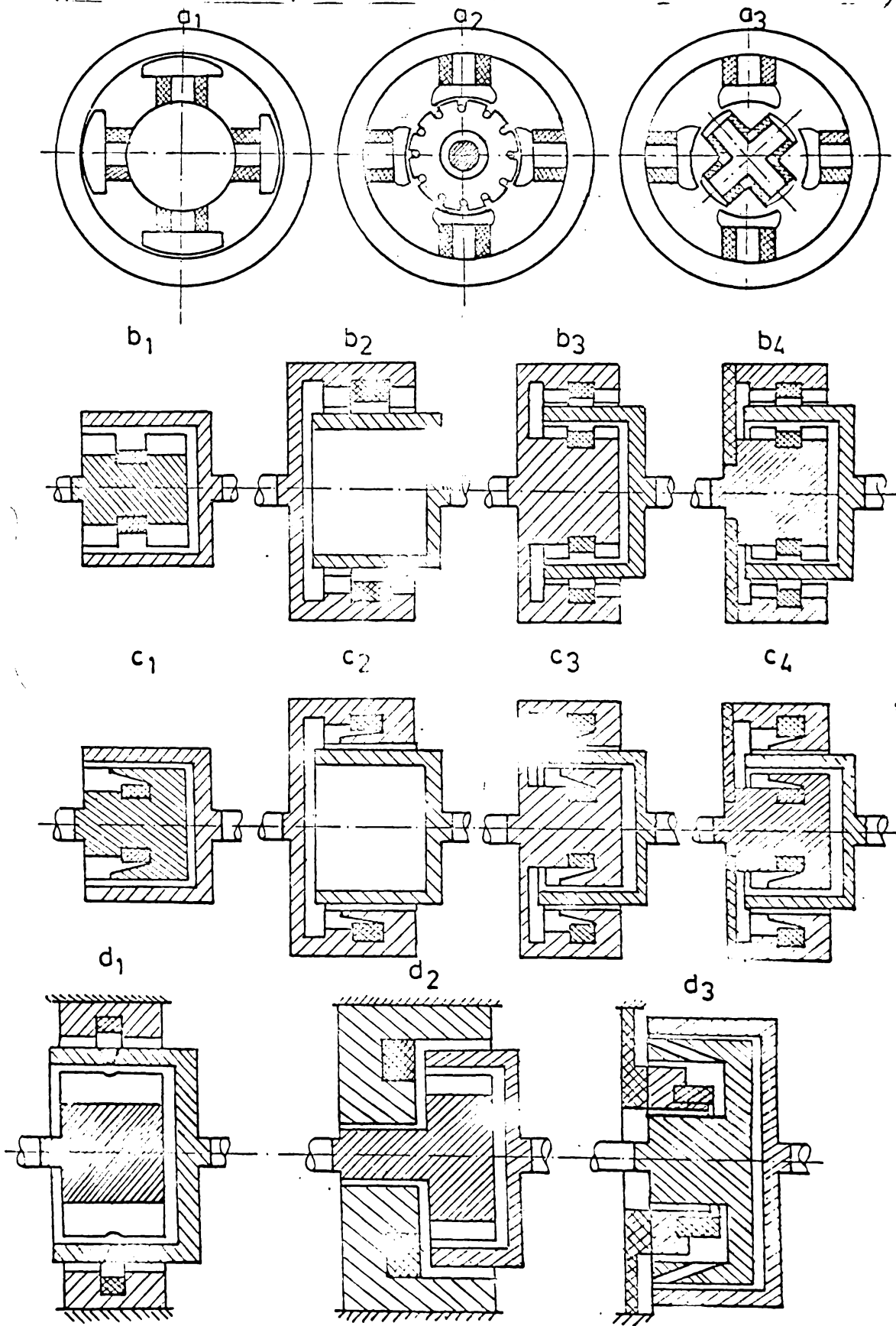


Fig.1.1. Cuplaje electromagnetice cu alunecare-tipuri constructive

plaje cu inductor blindat sau cuplaje Lundell, dacă au indusul masiv.

Inductorul față de indus poate fi plasat în interior (fig. 1.4.C<sub>1</sub>), în exterior (fig. 1.4.C<sub>2</sub>) sau combinat (fig. 1.4.C<sub>3</sub> sau C<sub>4</sub>).

În fig. 1.4.d sunt prezentate variantele constructive ale CEA la care bobina de excitație este fixă. Se observă că bobina de excitație poate fi montată în exteriorul cuplajului (fig. 1.4.d<sub>1</sub>) lateral (fig. 1.4.d<sub>2</sub>) sau în interiorul acestuia (fig. 1.4.d<sub>3</sub>).

Cuplajele cu indus exterior se execută pentru putere mică și prezintă principalul avantaj că permit evacuarea căldurii din indus prin ventilație naturală.

Indusul interior al cuplajelor, dat fiind dimensiunile sale geometrice mici în raport cu indusul exterior, prezintă moment de inerție de valoare mică. El se pretează la acționările la care procesele tranzitorii trebuiesc să fie de scurtă durată, cum este cazul acționării electrozilor de la oțelariile electrice. Evacuarea căldurii se face prin ventilație forțată.

Comparativ cu cuplajele cu un singur inductor cele cu două inductoare sunt de putere mai mare (puterea se dublează). Ele au în schimb dimensiuni radiale mari ceea ce limitează aria lor de utilizare.

Cuplajele cu bobină de excitație fixă prezintă principalul avantaj că elimină sistemul de alimentare prin inele și perii colectoare, ceea ce-l face util la acționările din medii cu pericol de explozie.

După cum a reieșit din clasificarea generală a CEA (fig. 1.3.), din punct de vedere funcțional acestea pot fi deci de tip asincron cu indus masiv de oțel, de tip asincron cu indus prevăzut cu înfășurare sub formă de colivie și de tip sincron. În fig. 1.5 este ilustrat principiul constructiv funcțional al acestor trei tipuri de cuplaje folosite în prezent, iar în fig. 1.6. caracteristicile lor de funcționare.

Cuplajul din fig. 1.5.a, este de tip asincron cu indusul masiv din oțel, față de care se mișcă polii aparenti ai inductorului. Cuplajul funcționează ca urmare a apariției curenților turbionari în indusul masiv. Momentul transmis de cuplaj crește cu valoarea alunecării  $s$  (fig. 1.6 curba a).

Schema din fig. 1.5.b corespunde cuplajului de inducție

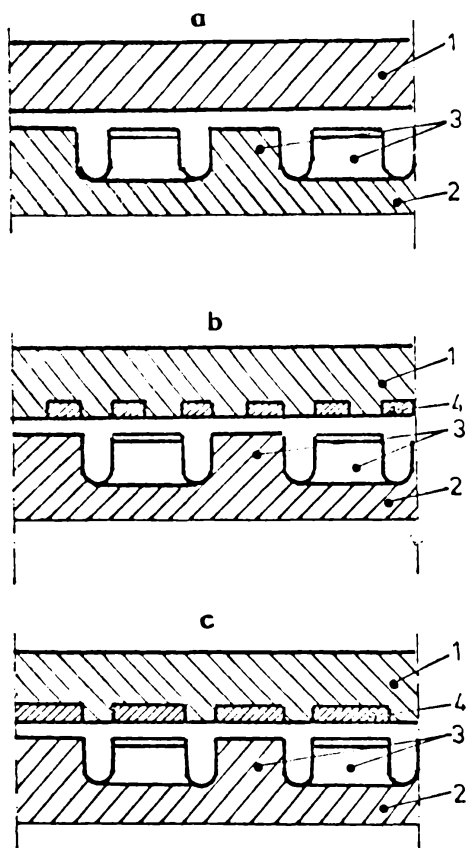


Fig.1.5. Explicativă la tipurile constructive de CEA.  
 a-cuplaj asincron cu indus masiv;  
 b-cuplaj asincron cu indus în colivie;  
 c-cuplaj sincron;  
 1-indus; 2-inductor; 3-poli;  
 4-barele coliviei.

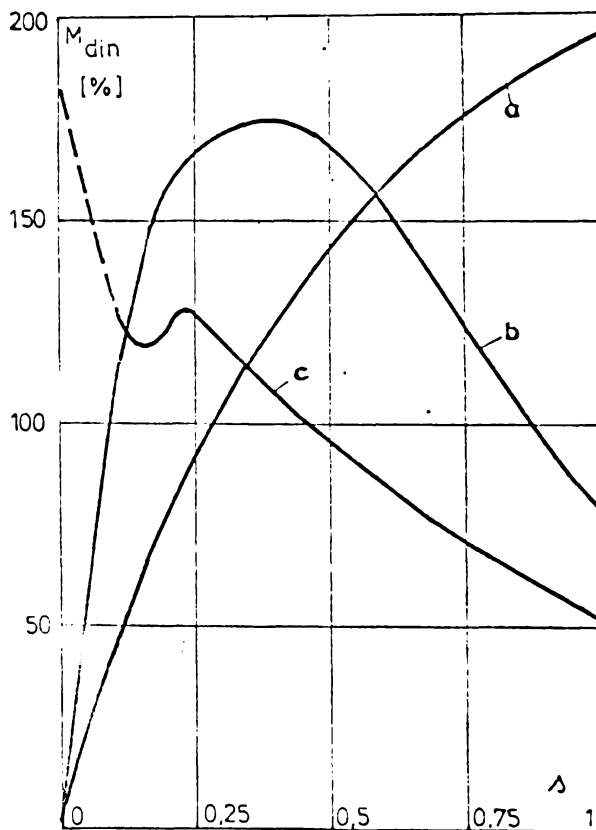


Fig.1.6. Variația momentului dinamic transmis de cuplaj funcție de alunecarea s.  
 a-cuplaj asincron cu indus masiv;  
 b-ideea cu indus în colivie;  
 c-cuplaj sincron

asincron cu înfășurare tip colivie pe indus. Numărul barelor coliviei este mai mare decât cel al poliilor din inductor. Principiul de funcționare al acestui tip de cuplaj este acela al mașinilor asincrone cu rotorul în colivie. Variația momentului transmis de cuplaj în funcție de valoarea alunecării s este prezentată în fig.1.6. curba b.

La cuplajul electromagnetic de tip sincron (fig.1.5.c), pasul unghiular al barelor coliviei indusului este egal cu cel al poliilor inductorului, adică numărul barelor din colivie este egal cu numărul

de poli din inductor. Acest tip de cuplaj poate funcționa atât în sincron cât și în asincron.

În cazul funcționării în asincron, variația momentului transmis de cuplaj funcție de alunecarea  $s$  este prezentată în fig.1.6. curba c. Cuplajul poate funcționa în acest regim numai la alunecări mari. În literatură, momentul transmis de cuplajul sincron în regim de alunecare nenulă se numește moment dinamic.

Dacă cuplajul este pornit în gol, după pornire se ajunge la o diferență de turație nula între cele două semicuple. În acest caz se realizează o transmisie statică a momentului. În literatură acesta este denumit moment static.

Transmiterea momentului static la cuplajul sincron se explică prin aceea că un circuit magnetic are întotdeauna tendința de-a ocupa acea poziție pentru care fluxul magnetic atinge valoarea maximă.

Semicuplajul condus se va așeza întotdeauna cu polii în dreptul polilor semicuplajului conducător (fig.1.5.c), astfel încât fluxul magnetic să fie maxim.

Pe măsura ce momentul rezistent crește, crește și momentul static, ceea ce va conduce la modificarea poziției relative dintre polii inductorului și barele coliviei cu unghiul  $\gamma$ , (fig.1.7.a).

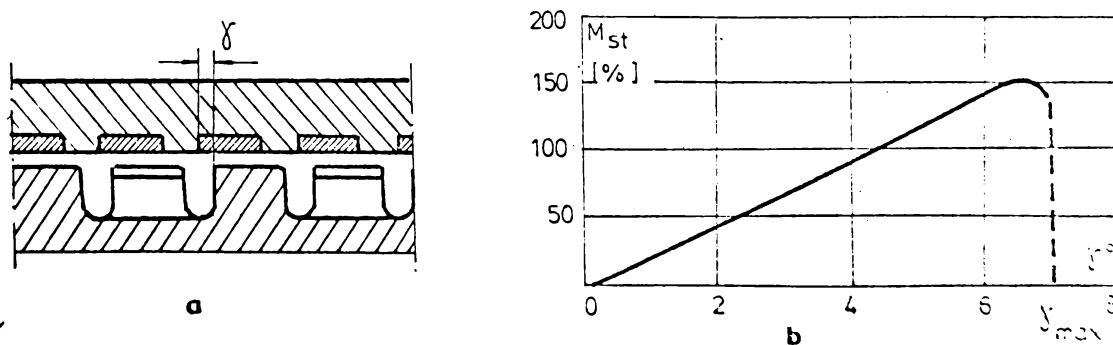


Fig.1.7 Variația momentului static transmis de cuplajul sincron în funcție de unghiul  $\gamma$ .

În fig.1.7.b, este dată variația momentului static transmis de cuplajul sincron în funcție de unghiul de decalaj  $\gamma$  al părții conduse a cuplajului, în raport cu partea conducătoare.

Din curbă se observă că  $M_{st}=0$  la  $\gamma=0$ , iar momentul static maxim corespunde unui unghi  $\gamma_{max}$ , după care cuplajul "se

răstoarnă",adică trece la funcționarea în regim asincron.

Din punct de vedere fizic,mărimea lui  $\gamma$  corespunde unei "întinderi" a liniei de forță,iar la  $\gamma_{\max}$  se produce "ruperea"ei. La cuplajele fabricate de firma Stromag ,  $\gamma_{\max} = 7^\circ$ .

În fig.1.8.a,b,și c se reprezintă modul de variație a momentului dinamic transmis de cuplaj funcție de valoarea curentului de excitație, pentru cuplajele asincrone cu indus masiv, în colivie și cuplajele sincrone funcționând în asincron.

În fig.1.8.d se prezintă modul de variație a momentului static transmis de cuplajul sincron în regim sincron funcție de valoarea curentului de excitație.

Față de clasificarea generală a cuplajelor electromagnetice cu alunecare prezentate în fig.1.3, se menționează în continuare că fiecare tip constructiv de cuplaj poate fi realizat într-o diversitate de variante constructive, prin fiecare variantă urmărind să se obțină anumiți parametri de funcționare.

Astfel, indusul masiv al cuplajelor asincrone poate fi realizat cu suprafața netedă sau cu canale axiale sau radiale pe suprafața dinspre inductor, polii inductorului homopolar pot fi realizați față în față sau decalajați cu jumătate de pas polar, iar uneori pentru mărirea rigidității caracteristicilor mecanice, pe indus se aplică o cămașă din material neferomagnetic (Cu, Al, etc.).

#### 1.4. metode de calcul tratate în literatura de specialitate referitoare la cuplajele și frânele electromagnetice cu alunecare .

##### 1.4.1. Problemele pe care le ridică conceperea cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare și modul, în care acestea au fost soluționate în lucrările apărute în literatura de specialitate.

Din trecerea în revistă a cuplajelor electromagnetice cu alunecare prezentate în fig.1.3, a rezultat că din punct de vedere funcțional acestea pot fi împărțite în trei categorii: cuplaje sincrone, cuplaje asincrone cu indus bobinat și cuplaje asincrone cu indus masiv feromagnetic sau cu curenți turbionari. Cuplajele sînt executate într-o diversitate de forme constructive în scopul de a obține performanțe dorite. După cum s-a specificat în paragraful precedent, frânele se tratează ca și cuplajele asincrone cu alunecarea  $s=1$ .



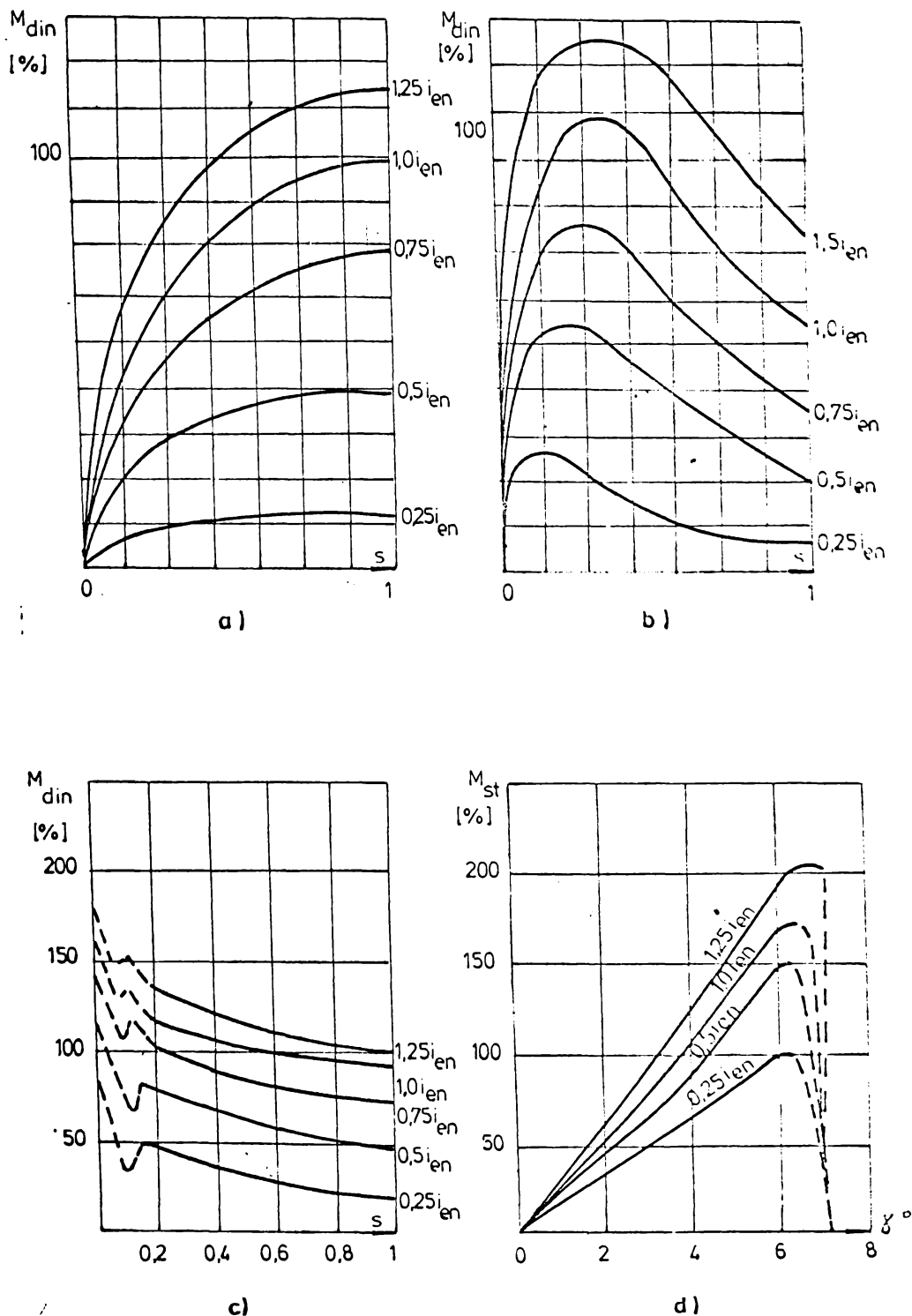


Fig.1.8. Variația momentului transmis de CEA funcție de valoarea curentului de excitație  $i_e$   
 a-cuplaj asincron cu indus masiv; b-cuplaj asincron cu indus în colivie; c-cuplaj sincron în regim asincron; d-cuplaj sincron în regim sincron.

După datele prezentate în literatura de specialitate /41, 50/ la calculul cuplajelor sincrone și a cuplajelor asincrone cu indus bobinat se aplică teoria de la calculul mașinilor electrice sincrone, respectiv asincrone.

Calculul cuplajelor electromagnetice cu curenți turbionari se bazează pe rezolvarea ecuației diferențiale care descrie propagarea câmpului electromagnetic în medii feromagnetice masive. Rezolvarea analitică a ecuației diferențiale a impus necesitatea efectuării unor simplificări în calcule după cum urmează:

a) Deoarece cuplajele se execută cu un număr relativ mare de perechi de poli  $p$ , diametrul  $D$  a indusului se poate considera mult mai mare decât pasul polar  $\tau$  (se are în vedere relația de definiție a pasului polar  $\tau = \frac{\pi D}{2p}$  din care rezultă  $D = \frac{2p\tau}{\pi}$ , deci  $D \gg \tau$ ). În felul acesta la calculul componentelor câmpului electromagnetic se ia în considerare sistemul de axe de coordonate carteziene, conform fig. 1.9 și fig. 1.10

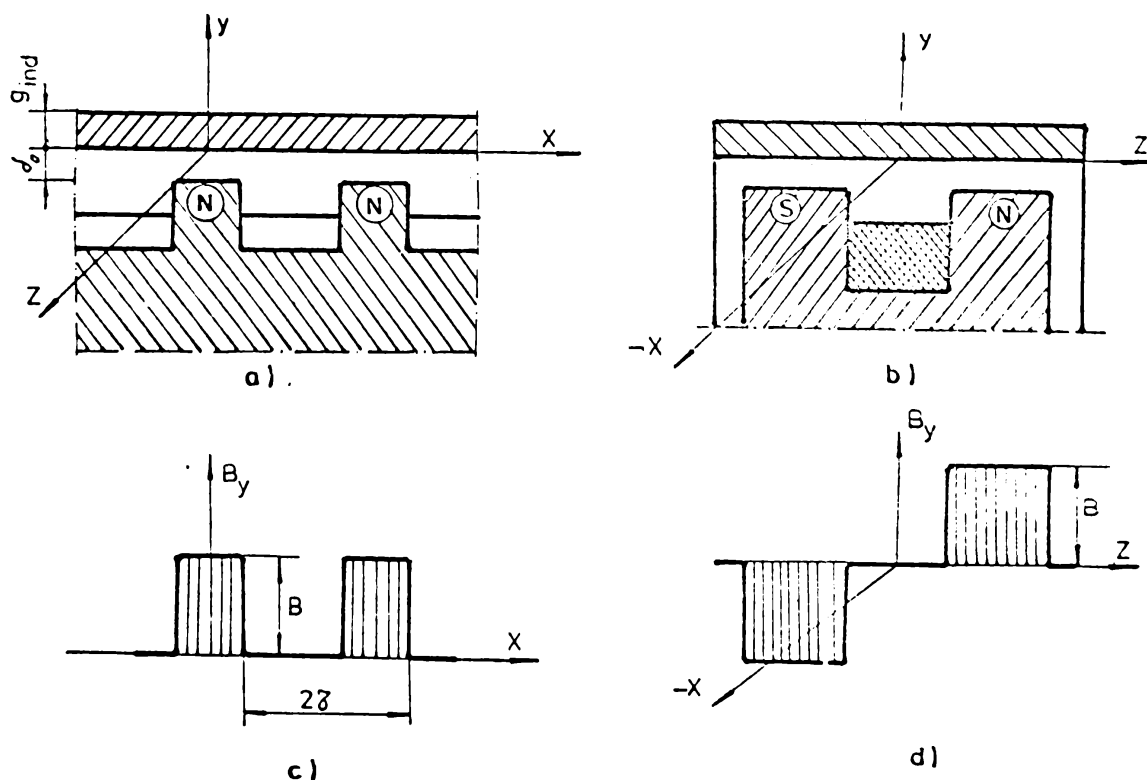


Fig.1.9. Configurarea inducției magnetice în întrefierul cuplajului electromagnetic cu alunecare cu inductor homopolar. Reprezentare în sistemul de coordonate carteziene.

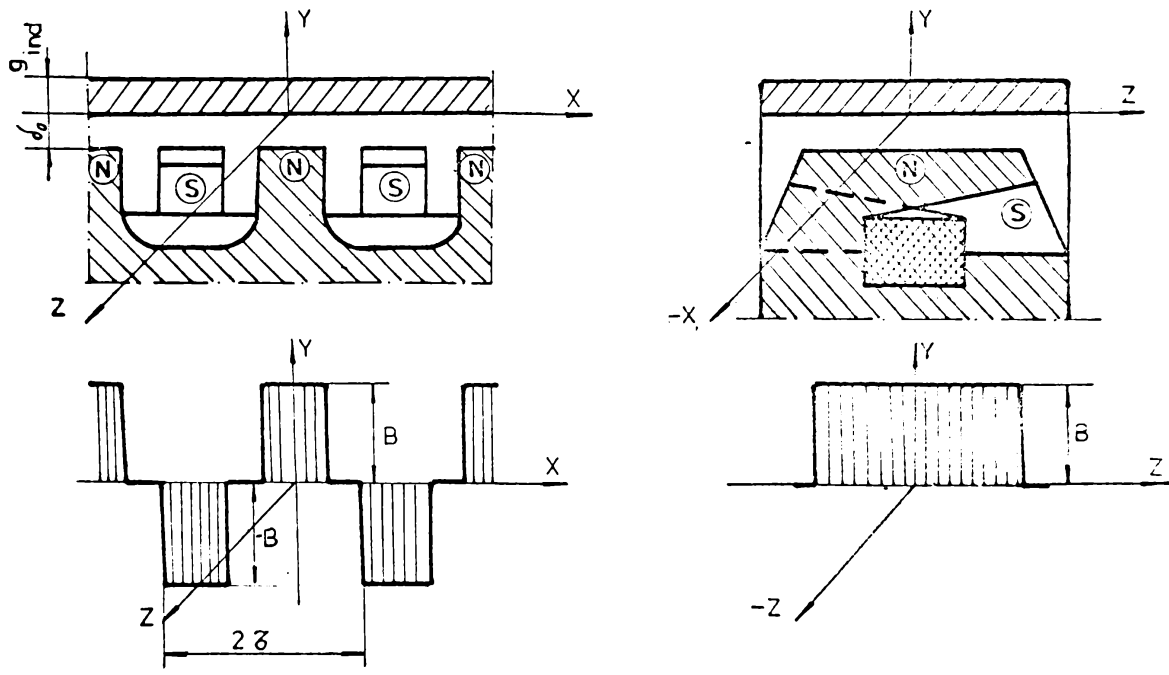


Fig.1.10 Configurația inducției magnetice în intrefierul cuplajului electromagnetic cu alunecare cu inductor cu poli complet intercalați. Reprezentare în sistemul de coordonate carteziene.

b) În general inducția magnetică este considerată ca având o repartiție dreptunghiulară în direcția axei x și constantă după axa z. În intrefier inducția are componentă numai după axa y. În calcule se ia în considerare numai armonica fundamentală din dezvoltarea în serie Fourier [6,7,8,9,16,31] a repartiției spațiale reprezentată în fig.1.9 și 1.10. În materialul indusului feromagnetic inducția magnetică este constantă după axa z și are componente după axele y și x.

În alte lucrări [21] inducția magnetică se descompune în serie dublă Fourier, inducția în intrefier având componente după toate cele trei axe de coordonate, astfel că în calcule este aplicată teoria tridimensională de repartiție a inducției magnetice.

c) În lucrarea [31] curba de magnetizare este aproximată prin funcția exponențială  $B = kH^{1/n}$ , unde  $k = 0,65 \div 0,7$  și  $n = 7,5 \div 10$ . În lucrările [6,7,8,9] curba de magnetizare este aproximată prin aceeași funcție exponențială unde  $k = 0,9$  și  $n = 13$ . Aceste aproximații sînt considerate a fi valabile pentru porțiunea care cuprinde

539907  
140E

cotul curbei de magnetizare, deci unde se alege punctul de funcționare al frânelor și cuplajelor.

În lucrarea /16/ pentru permeabilitatea indusului se consideră legea de variație  $\mu = \mu_s \exp(\lambda y)$ , unde  $\mu_s$  reprezintă permeabilitatea magnetică de la suprafața indusului.

În alte lucrări /21/ permeabilitatea magnetică se ia cu valoare constantă, corespunzătoare punctului de funcționare de pe curba de magnetizare. În general pentru inductor, permeabilitatea magnetică relativă fie că se consideră infinită fie că se consideră constantă și cu valoarea corespunzătoare punctului de funcționare de pe curba de magnetizare.

d) Indusul magnetic se consideră în toate lucrările omogen și seminfinit.

e) Rezistivitatea  $\rho$  a materialului indusului și permeabilitatea magnetică  $\mu$  sînt presupuse invariabile cu temperatura, luîndu-se în considerare valoarea acestora la temperatura de funcționare a indusului.

f) Efectul de capăt este minimalizat în majoritatea lucrărilor de specialitate. De mărirea rezistivității indusului din cauza închiderii liniilor de curent în regiunile frontale, în lucrarea /31/ se ține seama prin introducerea în calcul a rezistivității  $\rho_p = \xi \rho$ , unde:  $\rho$  este rezistivitatea indusului la temperatura teoretică de funcționare a acestuia, iar  $\xi$  este un coeficient care ține seama de efectul de capăt și se determină funcție de configurația geometrică a cuplajului.

g) De regulă în calcule se ia întrefierul real din cuplaj măsurat în dreptul pieselor polare. În lucrarea /21/ se ține seama de faptul că întrefierul este neuniform și în calcule este folosit un întrefier echivalent  $\delta'$ , determinat prin egalarea permeanțelor pe perechea de poli în cele două situații: a întrefierului neuniform și a întrefierului echivalent  $\delta' = k \delta$ .

1.4.2. Modul în care au fost determinate componentele câmpului electromagnetic în indusul feromagnetic masiv, în conformitate cu cele prezentate în literatura de specialitate.

a) În lucrarea /31/, care reprezintă o sinteză a teoriilor apărute în literatura sovietică referitoare la calculul cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare, precum și în lucrările

/7,8,9,10/, componentele câmpului electromagnetic se determină din ecuațiile lui Maxwell scrise pentru indusul feromagnetic masiv:

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{J} \text{ și } \text{rot } \vec{E} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \text{ unde } \vec{B} = \mu \vec{H} \text{ și } \vec{E} = \rho \vec{J} \quad (1.4)$$

La rezolvarea ecuațiilor diferențiale se ține seama de aproximarea curbei de magnetizare prin parabola  $B = kH^{1/2}$ .

reacția indusului  $\vec{F}_R$  calculată ca o integrală a intensității câmpului magnetic pe suprafața indusului înspre intrefier, este luată în considerare la calculul forței magnetomotoare totale  $\vec{F}$ ,  $\vec{F} = \vec{F}_P + \vec{F}_R$ , unde  $\vec{F}_P$  reprezintă forța magnetomotoare corespunzătoare inductorului și intrefierului.

Relațiile care se obțin permit determinarea prin calcul analitic a cuplului maxim și a vitezei critice de alunecare, precum și a numărului optim de perechi de poli.

b) În lucrările /4,15,16/, la calculul componentelor câmpului electromagnetic se pornește de la o densitate de curent rezultată în indus  $\vec{J} = \vec{J}_0 + \vec{J}_R$ , unde  $\vec{J}_0$  este densitatea de curent inductoare, iar  $\vec{J}_R$  densitatea de curent de reacție. Densitatea de curent de reacție  $\vec{J}_R$  se determină ca soluție a ecuației diferențiale:

$$\nabla^2 \vec{J}_R = \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial \vec{J}}{\partial t} \quad (1.5)$$

Componentele intensității câmpului electric se determină din  $\vec{E} = \rho \vec{J}$ , iar componentele intensității câmpului magnetic din  $\text{rot } \vec{H} = \vec{J}$  și inducția magnetică din  $\vec{B} = \mu \vec{H}$ .

c) În alte lucrări de specialitate /18,21,53/ la calculul componentelor câmpului electromagnetic se pornește de la o inducție rezultantă  $\vec{B} = \vec{B}_g + \vec{B}_R$ , unde  $\vec{B}_g$  este inducția din intrefier, iar  $\vec{B}_R$  inducția corespunzătoare reacției indusului. Inducția magnetică de reacție se obține din ecuația diferențială:

$$\nabla^2 \vec{B}_R = \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1.6)$$

Intensitatea câmpului magnetic se determină din  $\vec{H} = \vec{B}/\mu$ , densitatea de curent din  $\vec{J} = \text{rot } \vec{H}$ , iar intensitatea câmpului electric din  $\vec{E} = \rho \vec{J}$ .

d) Un ultim mod de determinare a componentelor câmpului electromagnetic în cuplajele și frânele electromagnetice cu alunecare pornește de la rezolvarea ecuației diferențiale:

$$\nabla^2 \bar{A} = \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial \bar{J}}{\partial t} \quad (1.7)$$

unde  $\bar{A}$  reprezintă potențialul magnetic vector din indus. Cunoșcând pe  $\bar{A}$ , inducția magnetică se găsește cu relația  $\bar{B} = \text{rot } \bar{A}$ , intensitatea câmpului magnetic din  $\bar{H} = \bar{B}/\mu$ , intensitatea câmpului electric  $\bar{E} = \partial \bar{A} / \partial t$  și densitatea de curent din indus cu relația  $\bar{J} = \nabla \cdot \bar{E}$ . Un asemenea mod de tratare a teoriei cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare se găsește în lucrările /19,23/, unde se face uz de electrodinamica relativista.

Referitor la calculul puterii și cuplului transmis de cuplaj, respectiv a forței de frînare dezvoltată de frâna electromagnetică cu alunecare, în lucrările de specialitate se întâlnesc următoarele metode:

a) În lucrarea /28/ cuplul transmis de cuplaj se calculează din efortul tangențial de la suprafața indusului feromagnetic.

b) În lucrarea /15/ același cuplu se calculează din densitatea de volum a forței din câmpul electromagnetic.

c) În lucrările /16,31/ pierderile de putere în indusul feromagnetic  $\Delta P$  sînt calculate din partea reală a vectorului Poynting de la suprafața dinspre întrefier a indusului feromagnetic, iar cuplul  $M$  transmis de cuplaj rezultă din :

$$M = \frac{\Delta P}{2\pi(n_1 - n_2)} \quad (1.8)$$

unde  $n_1$  reprezintă turația la intrarea în cuplaj, iar  $n_2$  turația la ieșirea acestuia.

d) În alte lucrări /7,8,9,10,18,21,33/ pierderea de putere în indus se calculează prin integrarea puterii specifice produse de curenții turbionari din indus.

### 1.5. Obiectul tezei.

În cadrul prezentei lucrări mi-am propus să elaborez o metodologie de calcul a cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare cu indus masiv feromagnetic prin care să se țină seama de curba reală de magnetizare a materialului din care este realizat indusul, respectiv inductorul.

Metodologia se bazează pe divizarea fictivă a indusului masiv într-un anumit număr de straturi, astfel că fiecărui strat  $i$  se poate atașa valori constante pentru permeabilitatea magnetică  $\mu$  corespun-

zătoare câmpului magnetic real din stratul respectiv.

În această situație, calculul analitic este completat cu un calcul numeric fără de care finalizarea metodologiei nu poate fi realizată, întrucât permeabilitatea magnetică  $\mu$  se determină pe calculator printr-un calcul iterativ funcție de curba reală de magnetizare a materialului indusului, dată tabelar în memoria calculatorului.

Alegerea numărului de straturi pentru divizarea fictivă a indusului se face din considerente de-a obține o anumită precizie în calcule și un cost de proiectare relativ redus. Astfel, un număr mic de straturi ar conduce la efectuarea unui volum redus de calcule pe calculator, dar s-ar greși mult la calculul performanțelor cuplajului deoarece grosimea straturilor fiind relativ mare, permeabilitatea magnetică este departe de-a putea fi considerată constantă. Dimpotrivă, luarea în considerare a unui număr mare de straturi, ar conduce la grosimi mici pentru acestea, variația permeabilității magnetice pe grosimea stratului ar fi neînsemnată, deci ar putea fi considerată cu valoare constantă, în schimb volumul de calcule pe calculator ar crește, scumpind costul de proiectare.

În cadrul prezentei lucrări s-a lucrat cu un număr  $S$  de straturi de divizare a indusului ales astfel încât luarea în considerare a  $S+1$  straturi conduce la o modificare de sub 1% a valorii cuplajului transmis de cuplaj calculat pentru aceeași alunecare relativă dintre indus și inductor.

Rezultatele experimentale, efectuate conform celor menționate mai sus, au arătat că divizarea indusului în 5-6 straturi conduce la rezultate multumitoare din punct de vedere al preciziei de calcul.

Având în vedere că se lucrează cu curba reală de magnetizare, consider că "metoda straturilor" așa cum este ea prezentată în lucrare, conduce la estimarea mai corectă a caracteristicilor mecanice de funcționare a cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare cu indus masiv feromagnetic, față de metodele prezentate în literatură, arătate în subcapitolul 1.4.

Metoda straturilor se aplică în exclusivitate la calculul cuplajelor și frânelor electromagnetice cu indus masiv. M-am orientat asupra acestor categorii de cuplaje din următoarele

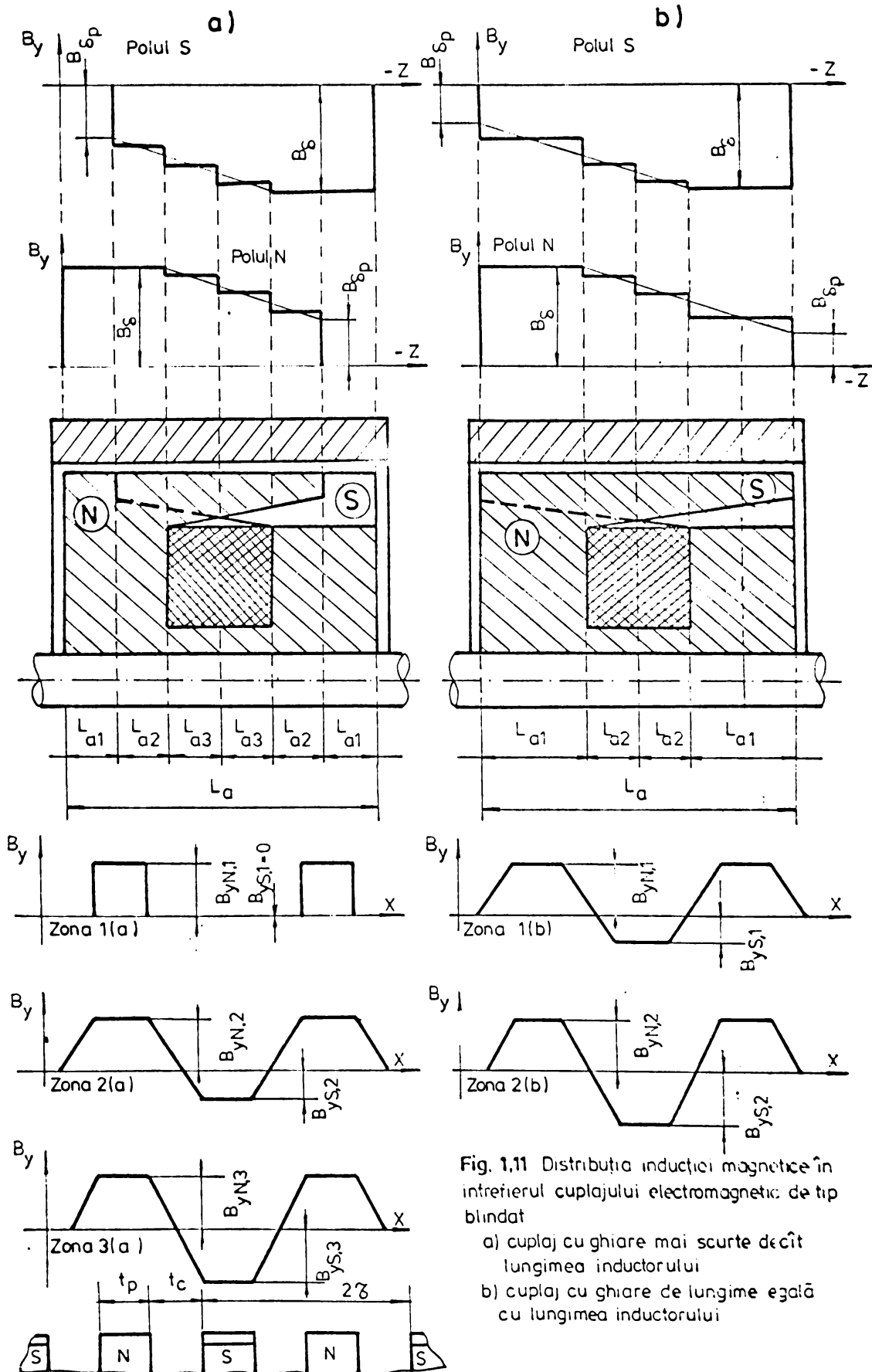


Fig. 1.11 Distribuția inducției magnetice în interiorul cuplajului electromagnetic de tip blindat

- a) cuplaj cu ghiare mai scurte decât lungimea inductorului
- b) cuplaj cu ghiare de lungime egală cu lungimea inductorului



considerente:

- realizarea lor practică nu implică o tehnologie deosebită, prin urmare pot fi realizate în cadrul oricăror întreprinderi care dispun de turnătorie sau instalații de forjă, tratamente termice și mașini de prelucrat prin așchiere;

- prin caracteristica mecanică pe care o au, ele pot fi utilizate la acționări de primă necesitate în cadrul întreprinderilor industriale;

- aplicarea metodei straturilor implică doar ridicarea caracteristicii de magnetizare a materialului feromagnetic utilizat, introducerea datelor inițiale în programul de calcul, și rularea acestuia pe calculator;

- metoda straturilor permite să se evalueze influența pe care o au asupra caracteristicilor mecanice ale cuplajelor atât luarea în considerare a unui indus de grosime finită, cât și aplicarea pe indus înspre întrefier a unui strat din material neferomagnetic de diferite grosimi și rezistivități așa cum va fi prezentat în lucrare.

Relațiile deduse în lucrare se referă la cuplajul electromagnetic cu alunecare de tip homopolar, dar acestea pot fi utilizate atât la cuplajele cu poli alternanți cât și la cele cu inductor blindat (Lundell). M-am orientat asupra cuplajului homopolar deoarece acesta întrunește caracteristicile tuturor tipurilor de cuplaje din următoarele considerente:

- așa după cum rezultă din anexa A, în urma dezvoltării în serie Fourier, inducția magnetică din întrefierul cuplajului homopolar conține pe lângă componentele sinusoidale și o componentă continuă /relația A7/, ori în calcule trebuie luată în considerare și componenta continuă;

- cuplajul cu poli alternanți nu prezintă componentă continuă pentru inducția magnetică în întrefier, prin urmare constituie un caz particular al cuplajului homopolar;

- împărțind cuplajul cu inductor blindat în  $2n$  zone, după forma de distribuție a inducției magnetice din întrefier, acesta poate fi considerat ca fiind realizat din  $2n$  cuplaje montate pe același ax, dintre care unele sînt de tip homopolar și altele cu poli alternanți.

Spre exemplificare, în fig. 1.11 cuplajul blindat cu gheare mai scurte decât lungimea inductorului a fost divizat în 6 cuplaje elementare, iar cuplajul blindat cu gheare de lungime egală cu lungimea inductorului a fost divizat în 4 cuplaje elementare. În desen este prezentată distribuția inducției magnetice în întregul dealungul axei  $x$ . În calcule, dealungul axei  $z$  inducția poate fi considerată constantă și egală în valoare cu inducția din porțiunea mijlocie a cuplajului elementar.

## CAPITOLUL II

### CALCULUL CUPLAJELOR SI FRINELOR ELECTROMAGNETICE CU ALUNECARE, CU INDUS MASIV FEROMAGNETIC, PRIN ME- TODA STRATURILOR.

#### 2.1. Ipoteze de calcul.

Ipotezele care au fost luate în considerare la calculul cuplajelor și frinelor electromagnetice cu alunecare, cu indus masiv feromagnetic, folosind metoda straturilor sînt :

a) Densitatea  $J$  a curentului în indus, precum și intensitatea  $E$  a cîmpului electric din intrefier și indus, s-au presupus peste tot axiale și distribuite sinusoidal în timp și spațiu;

b) Inducția magnetică în intrefier s-a presupus distribuită ca în fig. A1, A2 și A3 din anexa A, valoarea  $B\delta$  reprezentînd inducția magnetică din centrul suprafeței polului. Calculul cuplajelor și frinelor electromagnetice cu alunecare poate fi efectuat luînd în considerare fie armonica fundamentală  $B\delta_1$  din dezvoltarea în serie Fourier (relațiile A12, A28 respectiv A30), fie o sinusoidală echivalentă  $B\delta_e$  care are aceeași frecvență ca și sinusoidală fundamentală și valoare efectivă egală cu valoarea efectivă a tuturor armonicilor din dezvoltarea în serie Fourier (relațiile A13, A29 și respectiv A31) cupă cum cuplajul este cu inductor de tip homopolar, blindat sau cu poli alternanți.

Luarea în considerare a inducției  $B\delta_e$  la calculul componentelor cîmpului electromagnetic din indus contribuie la îmbunătățirea preciziei de calcul față de situația în care distribuția periodică a inducției electromagnetice din intrefier ar fi substituită numai cu prima armonică din dezvoltarea în serie Fourier.

c) Indusul feromagnetic s-a considerat semiinfinit, divizat în  $S$  straturi, fiecare strat fiind omogen și caracterizat printr-o permeabilitate magnetică  $\mu_i$  și o conductivitate electrică  $G_i$  constantă. Atunci cînd se studiază influența unui strat din material neferomagnetic asupra caracteristicilor cuplajului, acesta va fi considerat ca fiind stratul numărul 1, iar cînd se va pune condiția privind grosimea finită a indusului mai mică sau egală cu adîncimea de pătrundere a cîmpului electromagnetic, stratul  $S$  va fi considerat a fi aer cu  $G = 0$  și  $\mu = \mu_0$ .

d) La integrarea ecuațiilor diferențiale, permeabilitatea magnetică  $\mu_i$  din stratul cu numărul de ordine  $i$  va fi determinată printr-un calcul iterativ funcție de curba reală de magnetizare a materialului din stratul respectiv din indus și corespunde componentei normale  $B_y$  a inducției magnetice de pe suprafața de separație considerată înspre întrefier.

Eroarea care se face la estimarea valorii permeabilității magnetice  $\mu_i$  va fi cu atât mai mică cu cât numărul de straturi de divizare a indusului masiv va fi mai mare.

e) Conductibilitatea electrică  $\sigma$  și permeabilitatea magnetică  $\mu$  s-au presupus invariabile cu temperatura, luându-se în considerare valorile acestora la temperatura de funcționare a indusului.

Această ipoteză presupune funcționarea de durată în jurul punctului nominal de funcționare când se atinge și un regim termic staționar, caz frecvent întâlnit în acționările industriale cu CEA și FEA.

r) Efectul de capăt a fost luat în considerare prin intermediul coeficientului  $\xi$  cu care se majorează rezistivitatea straturilor din indus. În acest sens au fost luate în considerare cercetările efectuate de G.L. Arefian și prezentate în lucrarea B/31/.

g) Calculele sînt efectuate într-un sistem de coordonate carteziene conform fig.2.1.

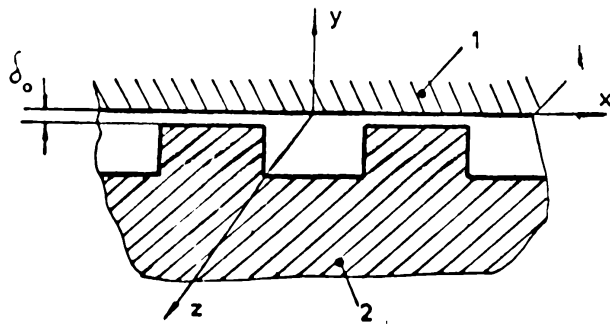


Fig.2.1. Sistemul de coordonate carteziene: 1-indus; 2-inductor,

Luarea în considerare a ipotezelor de calcul de la aliniatele a, f și g conform B/31/ conduce la introducerea în calcule a unor erori de cel mult 5÷7 % față de situația reală.

## 2.2. Ecuatiile câmpului electromagnetic.

La scrierea ecuațiilor lui Maxwell se folosește potențialul magnetic vector  $\underline{A}$  în formă complexă.

Având în vedere ipoteza simplificatoare că în indus intensitatea câmpului electric are numai componentă axială  $\underline{E} = \underline{E}_z$ , rezultă că și potențialul magnetic vector are de asemenea numai componentă axială, deoarece  $\underline{E} = -\partial \underline{A} / \partial t$  și prin urmare  $\underline{A} = -k \underline{A}_z$ .

În cele ce urmează se va omite indicele  $z$  de la mărimile  $\underline{A}, \underline{E}$  și  $\underline{J}$ , considerând că  $\underline{A} = \underline{A}_z$ ,  $\underline{E} = \underline{E}_z$  și  $\underline{J} = \underline{J}_z$ .

Ecuatiile potențialului magnetic vector pentru întrefier ( $-\delta_0 \leq y \leq 0$ ) sînt :

$$\begin{cases} \Delta \underline{A}_\delta = 0 \\ \text{div } \underline{A}_\delta = 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

Cu  $\underline{A}_\delta$  s-a notat potențialul magnetic vector din întrefier. În coordonate carteziene sistemul de ecuații (2.1) devine (2.2) :

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 \underline{A}_\delta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \underline{A}_\delta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \underline{A}_\delta}{\partial z^2} = 0 \\ \frac{\partial \underline{A}_\delta}{\partial x} = 0 \end{cases} \quad (2.2)$$

Pentru stratul  $i$  al indusului ( $\lambda_{i-1} \leq y \leq \lambda_i$ ) ecuațiile potențialului magnetic vector sînt :

$$\begin{cases} \Delta \underline{A}_i = \sigma_i \mu_i \frac{\partial \underline{A}_i}{\partial t} \\ \text{div } \underline{A}_i = 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

În coordonate carteziene, sistemul de ecuații (2.3) devine

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 \underline{A}_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \underline{A}_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \underline{A}_i}{\partial z^2} = \sigma_i \mu_i \frac{\partial \underline{A}_i}{\partial t} \\ \frac{\partial \underline{A}_i}{\partial x} = 0 \end{cases} \quad (2.4.)$$

În ecuațiile prezentate mai sus, s-au folosit notațiile:

- $\lambda_i = \delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_i$ , reprezintă coordonata  $y$  a suprafeței de separație dintre stratul  $i$  și stratul  $i+1$  ( $\lambda_0 = 0$ );

- $\sigma_i = 1/(\xi \rho_i)$ , conductivitatea electrică a stratului  $i$  calculată pentru temperatura de funcționare a indusului feromagnetic masiv  $\rho_i = \rho$  și deci  $\sigma_i = \sigma$ , pentru toate cele  $S$  straturi;
- $\xi$ , coeficient care ține seama de efectul de capăt [31];
- $A_i$ , potențialul magnetic vector în stratul  $i$ ;
- $\mu_i$ , permeabilitatea magnetică a stratului  $i$ .

Notînd de asemenea cu :

- $C_i$  și  $PC_i$  cu  $i=1, S$  și constantele complexe ce se determină din condițiile de limită;
- $S$ , numărul de straturi de divizare a indusului luat în considerare;
- $k_0 = \pi/\tau$  pentru  $\sigma = 0$ ;
- $\tau = \frac{\pi D}{2p}$  pasul polar;
- $D$ , diametrul indusului măsurat spre intrefier;
- $p$ , numărul de perechi de poli magnetici N-S;
- $\omega = 2\pi r$ , pulsația curentului din indus;
- $f = pn_s$ , frecvența curentului din indus;
- $n_s = n_1 - n_2$ , curăția relativă dintre arborii conducător și cel conus (dintre inductor și indus);
- $n_1$ , turăția inductorului;
- $n_2$ , turăția indusului;
- $k_i = \sqrt{\frac{\pi^2}{\tau^2} + j2\alpha_i^2}$  unde  $\alpha_i^2 = \frac{\mu_i \sigma_i \omega}{2}$

Soluțiile ecuațiilor diferențiale pentru intrefier și pentru stratul  $i$  din indus sînt :

Pentru intrefier:

$$A_\xi = - \left[ C_1 \exp(k_0 y) + PC_1 \exp(-k_0 y) \right] \exp \left[ j\omega \left( t - \frac{x}{2\pi f} \right) \right] \quad (2.5)$$

Pentru stratul  $i$  din indus

$$A_i = - \left[ \frac{C_{i+1}}{j\omega \sigma_i} \exp(k_i y) + \frac{PC_{i+1}}{j\omega \sigma_i} \exp(-k_i y) \right] \exp \left[ j\omega \left( t - \frac{x}{2\pi f} \right) \right] \quad (2.6)$$

Inducția magnetică  $\vec{B}$  și intensitatea cîmpului electric  $\vec{E}$  se determină în funcție de valoarea potențialului magnetic vector  $\vec{A}$  cu relațiile (2.7) :

$$\begin{cases} \vec{B} = \text{rot } \vec{A} \\ \vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \end{cases} \quad (2.7)$$

Se observă că inducția magnetică are componente după axa x ( $B_x$ ) și y ( $B_y$ ), iar câmpul electric numai după axa z ( $E_z = E_z$ ). Prin urmare, în coordonate carteziene, sistemul de ecuații (2.7) devine

$$(2.8) : \begin{cases} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \\ B_x = \frac{\partial A}{\partial y} \\ B_y = -\frac{\partial A}{\partial x} \end{cases} \quad (2.8)$$

Cu aceste precizări, inducția magnetică în intrefier are următoarele componente:

$$\begin{cases} B_{x,\delta} = - \left[ k_0 C_1 \exp(k_0 y) - k_0 P C_1 \exp(-k_0 y) \right] \exp \left[ j\omega \left( t - \frac{x}{2v_1} \right) \right] \\ B_{y,\delta} = - \frac{j\omega}{v_1} \left[ C_1 \exp(k_0 y) + P C_1 \exp(-k_0 y) \right] \exp \left[ j\omega \left( t - \frac{x}{2v_1} \right) \right] \end{cases} \quad (2.9)$$

Inducția magnetică din stratul i din indus va avea următoarele componente:

$$\begin{cases} B_{x,i} = - \left[ \frac{k_i C_{i+1}}{j\omega \sigma_i} \exp(k_i y) - \frac{k_i P C_{i+1}}{j\omega \sigma_i} \exp(-k_i y) \right] \exp \left[ j\omega \left( t - \frac{x}{2v_1} \right) \right] \\ B_{y,i} = - \left[ \frac{C_{i+1}}{2v_1 \sigma_i} \exp(k_i y) + \frac{P C_{i+1}}{2v_1 \sigma_i} \exp(-k_i y) \right] \exp \left[ j\omega \left( t - \frac{x}{2v_1} \right) \right] \end{cases} \quad (2.10)$$

Intensitatea câmpului electric în intrefier și în stratul i din indus va fi :

$$\begin{cases} E_\delta = j\omega \left[ C_1 \exp(k_0 y) + P C_1 \exp(-k_0 y) \right] \exp \left[ j\omega \left( t - \frac{x}{2v_1} \right) \right] \\ E_i = \left[ \frac{C_{i+1}}{\sigma_i} \exp(k_i y) + \frac{P C_{i+1}}{\sigma_i} \exp(-k_i y) \right] \exp \left[ j\omega \left( t - \frac{x}{2v_1} \right) \right] \end{cases} \quad (2.11)$$

Densitatea de curent aferentă stratului i din indus este dată de relația :

$$J_i = \sigma_i E_i = \left[ C_{i+1} \exp(k_i y) + P C_{i+1} \exp(-k_i y) \right] \exp \left[ j\omega \left( t - \frac{x}{2v_1} \right) \right] \quad (2.12)$$

### 2.3. Condiții la limită.

Condițiile de continuitate pentru componentele tangențiale ale intensității câmpului magnetic dau S+1 ecuații, iar condițiile de continuitate pentru componentele normale ale inducției magnetice dau tot S+1 ecuații, rezultând în final un sistem de 2S+2 ecuații cu tot atâtea necunoscute în  $C_i$  și  $PC_i$  cu  $i=1, S$ .

Pentru ultimul strat ( $i=S$ ) al cărui grosime se consideră infinită ( $\lambda_S = \infty$ ), din condiția ca să fie finite componentele câmpului electromagnetic, rezultă ca necesar punerea condiției :

$$C_{S+1} = 0 \quad (2.13)$$

Se presupune de asemenea că în intrefier, la suprafața de separație dintre intrefier și primul strat al indusului, componenta normală a inducției magnetice este cunoscută și egală cu :

$$\underline{B}(x, z, t) = \underline{B}(x, z) \exp(j\omega t) \quad (2.14)$$

unde  $\underline{B}(x, z)$  este una din inducțiile date prin expresiile (A12, A28), (A13, A29) respectiv (A30, A31) din anexa A, după cum cuplajul este cu inductor de tip homopolar, blindat sau cu poli alternanți.

Condiția de continuitate pentru componenta normală a inducției magnetice pe suprafața de separație intrefier-indus este :

$$\underline{B}_{y, \delta} \Big|_{y=0} = \underline{B}_{y, 1} \Big|_{y=0} = \underline{B}(x, z, t) \quad (2.15)$$

iar pentru suprafața de separație dintre stratul  $i$  și stratul  $i+1$  este :

$$\underline{B}_{y, i} \Big|_{y=\lambda_i} = \underline{B}_{y, i+1} \Big|_{y=\lambda_i} \quad (2.16)$$

Condiția de continuitate pentru componenta tangențială a intensității câmpului magnetic pe suprafața de separație intrefier-indus este :

$$\frac{1}{\mu_0} \underline{B}_{x, \delta} \Big|_{y=0} = \frac{1}{\mu_1} \underline{B}_{x, 1} \Big|_{y=0} \quad (2.17)$$

iar pentru suprafața de separație dintre stratul  $i$  și stratul  $i+1$  din indus este :

$$\frac{1}{\mu_i} \underline{B}_{x, i} \Big|_{y=\lambda_i} = \frac{1}{\mu_{i+1}} \underline{B}_{x, i+1} \Big|_{y=\lambda_i} \quad (2.18)$$

Se ajunge în final la sistemul de ecuații (2.19) cu un nu-



măr de 2S+2 ecuații și tot atâtea necunoscute, posibil de rezolvat pe calculator.

$$\begin{aligned}
 -j \frac{\pi}{\sigma} C_1 - j \frac{\pi}{\sigma} PC_1 &= B(x, z) \\
 -\frac{k_0}{\mu_0} C_1 + \frac{k_0}{\mu_0} PC_1 - j \frac{k_1}{\omega \sigma_1 \mu_1} C_2 + j \frac{k_1}{\omega \sigma_1 \mu_1} PC_2 &= 0 \\
 -\frac{\pi}{2 \sigma_1 \omega} C_2 - \frac{\pi}{2 \sigma_1 \omega} PC_2 &= B(x, z) \quad (2.19)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{C_{i+1}}{\sigma_i} \exp(k_i \lambda_i) + \frac{PC_{i+1}}{\sigma_i} \exp(-k_i \lambda_i) - \frac{C_{i+2}}{\sigma_{i+1}} \exp(k_{i+1} \lambda_i) - \\
 - \frac{PC_{i+2}}{\sigma_{i+1}} \exp(-k_{i+1} \lambda_i) = 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -\frac{k_i C_{i+1}}{\mu_i \sigma_i} \exp(k_i \lambda_i) + \frac{k_i PC_{i+1}}{\mu_i \sigma_i} \exp(-k_i \lambda_i) + \\
 + \frac{k_{i+1} C_{i+2}}{\mu_{i+1} \sigma_{i+1}} \exp(k_{i+1} \lambda_i) - \frac{k_{i+1} PC_{i+2}}{\mu_{i+1} \sigma_{i+1}} \exp(-k_{i+1} \lambda_i) = 0
 \end{aligned}$$

$$C_{S+1} = 0.$$

Unde  $i=1, S+1$ .

În cazul în care indusul este realizat din material feromagnetic masiv, atunci :

$$\sigma_i \Big|_{i=1, S} = \sigma \quad (2.20)$$

#### 2.4. Calculul forței active.

Presupunând cuplajul perfect centrat, atât axial cât și radial, forța activă ce se dezvoltă în cuplaj este orientată numai după axa x.

Calculul forței active se face cu ajutorul tensiunilor maxwelliene după un sistem de coordonate legat de indus:

$$F_x = \int_{\Sigma} \bar{T}_x d\bar{s} = - \int_0^{ND} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} T_x dx dz \quad (2.21)$$

unde :

$$T_x = \frac{\text{Re} \{ B_{y, \delta} B_{x, \delta}^* \}}{2 \mu_0} \Big|_{y=0} \quad (2.22)$$

Cu relațiile (2.9) stabilite pentru componentele inducției magnetice în intrefier la  $y=0$ , rezultă :

$$\begin{cases} \underline{B}_{y,\delta} \Big|_{y=0} = -j \frac{\pi}{\delta} (\underline{C}_1 + \underline{PC}_1) \\ \underline{B}_{x,\delta} \Big|_{y=0} = -\frac{\pi}{\delta} (\underline{C}_1 - \underline{PC}_1) \end{cases} \quad (2.23)$$

În aceste condiții tensorul  $T_x$  va fi :

$$T_x = \text{Re} \left\{ j \frac{\pi^2}{2\delta^2 \mu_0} (\underline{PC}_1 \underline{C}_1^* - \underline{PC}_1^* \underline{C}_1) \right\} \quad (2.24)$$

Notînd :

$$\begin{cases} \underline{C}_1 = a_1 + j b_1 \\ \underline{PC}_1 = a_{1p} + j b_{1p} \end{cases} \quad (2.25)$$

și :

$$a_1 b_{1p} - a_{1p} b_1 = G \quad (2.26)$$

După efectuarea integralei (2.21) rezultă :

$$F_x = \frac{\pi^3 D I G}{z^2 \mu_0} \quad (2.27)$$

## 2.5. Calculul puterii active electromagnetice în intrefierul cuplajului

Puterea electromagnetică activă în intrefierul cuplajului determină prin integrarea vectorului Poynting pe suprafața inductorului  $y = -\delta_0$ , după un sistem de axe de coordonate legat de indus :

$$P_1 = \int_0^{\pi(D-2\delta_0)} \int_{-L/2}^{L/2} \text{Re} \{ \underline{S} d\bar{s} \} \quad (2.28)$$

vectorul Poynting este dat de relația :

$$\underline{S} = \frac{1}{2} \underline{\bar{E}}_{\delta_m} \times \underline{\bar{H}}_{\delta_m}^* \quad (2.29)$$

Cum însă :

$$\underline{\bar{E}}_{\delta_m} \Big|_{y=-\delta_0} = \underline{\bar{k}} \left[ j \omega_1 \underline{C}_1 \exp(-k_0 \delta_0) + j \omega_1 \underline{PC}_1 \exp(k_0 \delta_0) \right]$$

$$\underline{\bar{H}}_{\delta_m} = \frac{1}{\mu_0} \left[ \underline{\bar{i}} B_{x,\delta_m} + \underline{\bar{j}} B_{y,\delta_m} \right]$$

iar :

$$\underline{B}_x, \delta_m \Big|_{y=-\delta_0} = - \left[ \underline{k}_0 \underline{C}_1 \exp(-\underline{k}_0 \delta_0) - \underline{k}_0 \underline{PC}_1 \exp(\underline{k}_0 \delta_0) \right]$$

$$\underline{B}_y, \delta_m \Big|_{y=-\delta_0} = -j \frac{\pi}{2} \left[ \underline{C}_1 \exp(-\underline{k}_0 \delta_0) + \underline{PC}_1 \exp(\underline{k}_0 \delta_0) \right]$$

Rezultă :

$$\underline{S} = \frac{1}{2} \left( j \frac{\underline{E} \delta_m \underline{B}_x^*, \delta_m}{\mu_0} - \underline{I} \frac{\underline{E} \delta_m \underline{B}_y^*, \delta_m}{\mu_0} \right)$$

Cum :  $d\bar{s} = \bar{j} ds = \bar{j} dx dz$ , puterea  $P_1$  rezultă :

$$P_1 = \frac{1}{2} \int_{\Sigma} \operatorname{Re} \left\{ \frac{\underline{E} \delta_m \underline{B}_x^*, \delta_m}{\mu_0} \right\} ds = \frac{1}{2} \int_0^{L/2} \int_{-L/2}^{L/2} \operatorname{Re} \left\{ \frac{\underline{E} \delta_m \underline{B}_x^*, \delta_m}{\mu_0} \right\} ds$$

Efectuînd integraia se obține :

$$P_1 = \frac{\pi^2}{2^2 \mu_0} (D-2\delta_0) L \omega_1 \operatorname{Re} \left\{ -j \left[ \underline{C}_1 \exp(-\underline{k}_0 \delta_0) + \underline{PC}_1 \exp(\underline{k}_0 \delta_0) \right] \left[ \underline{C}_1^* \exp(-\underline{k}_0^* \delta_0) + \underline{PC}_1^* \exp(\underline{k}_0^* \delta_0) \right] \right\} \quad (2.30)$$

Cu notațiile (2.25) expresia (2.30) devine :

$$P_1 = \frac{\pi^2}{2^2 \mu_0} (D-2\delta_0) L \omega_1 G \quad (2.31)$$

Cu observația că  $D \gg 2\delta_0$ , deci  $D - 2\delta_0 \approx D$  și faptul că :

$$\omega_1 = \frac{\pi^2 (D-2\delta_0)}{2} n_1 \approx \frac{\pi^2 D}{2} n_1 \quad (2.32)$$

Relația (2.31) devine (2.33) :

$$P_1 = \frac{\pi^4 D^2 I G}{2^2 \mu_0} n_1 \quad (2.33)$$

## 2.6. Pierderile de putere în indus.

Pierderile de putere în indus  $\Delta P_{ind}$  reprezintă puterea transformată prin efect Joule-Lenz în căldură. Pierderile de putere în indus se pot calcula prin integrarea pe volumul răcărui strat a pierderilor specifice de putere  $p_i$  și însumarea pierderilor aferente celor S straturi

$$p_i = \operatorname{Re} \left\{ \frac{J_i J_i^*}{2 \sigma_i} \right\} \quad (2.34)$$

$$\Delta P_{\text{ind}} = \int_{V_i} p_i dv \quad (2.35)$$

Altă variantă de calcul a pierderilor de putere în indus ar fi aceea a integrării vectorului Poynting pe suprafața dinspre întrefier a indusului masiv, după un sistem de coordonate legat de indus. În acest caz vom avea :

$$\Delta P_{\text{ind}} = \operatorname{Re} \left\{ \int_{\Sigma} \frac{1}{2} (\bar{E}_{1m} \times \bar{H}_{1m}^*) d\bar{s} \right\} \quad (2.36)$$

Unde :

$$\bar{E}_{1m} = \bar{k} \bar{E}_{1m} \Big|_{y=0} = \bar{k} \frac{1}{\sigma_1} (C_2 + \underline{PC}_2)$$

$$\bar{H}_{1m} = \bar{i} \frac{B_{x1m}}{\mu_1} \Big|_{y=0} + \bar{j} \frac{B_{y1m}}{\mu_1} \Big|_{y=0}$$

iar :

$$B_{x1m} = j \frac{k_1}{\omega \sigma_1} (C_2 - \underline{PC}_2)$$

$$B_{y1m} = - \frac{\pi}{\omega \sigma_1} (C_2 + \underline{PC}_2)$$

Cum  $d\bar{s} = \bar{j} ds = \bar{j} dx dz$ , pierderile de putere în indus rezultă :

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{ind}} &= \operatorname{Re} \left\{ \int_{\Sigma} \bar{S} d\bar{s} \right\} = \operatorname{Re} \left\{ \frac{1}{2 \mu_1} \int_{\Sigma} \bar{E}_{1m} B_{x1m}^* ds \right\} \\ &= \operatorname{Re} \left\{ \int_0^{\pi D} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} -j \frac{1}{2 \sigma_1 \mu_1} (C_2 + \underline{PC}_2) \frac{k_1^*}{\omega \sigma_1} (C_2 - \underline{PC}_2) \right. \\ &\quad \left. dx dz \right\} = \frac{\pi DL}{2 \mu_1 \omega \sigma_1^2} \operatorname{Re} \left\{ (C_2 + \underline{PC}_2) \left[ -j (k_1^* C_1 - k_1 \underline{PC}_2^*) \right] \right\} \end{aligned}$$

Notînd :

$$k_1 = a_1 + j e_1$$

$$C_2 = a_2 + j b_2$$

$$\underline{PC}_2 = a_{2p} + j b_{2p}$$

$$(2.37)$$

Se obține:

$$\Delta P_{\text{ind}} = \frac{\pi DL}{2\mu_1 \sigma_1 \omega} \left[ e_1 (a_{2p}^2 + b_{2p}^2 - a_2^2 - b_2^2) + 2d_1 (a_2 b_{2p} - a_{2p} b_2) \right] \quad (2.38)$$

Repetind calculul pierderilor de putere în indus în funcție de mărimile din intrefier la  $y=0$  și ținând seama de conservarea componentelor tangențiale ale câmpului magnetic și electric se găsește expresia (2.39). Expresiile (2.38) și (2.39) au aceeași valoare numerică.

$$\Delta P_{\text{ind}} = \frac{\pi^2 DL \omega G}{2\sigma \mu_0} \quad (2.39)$$

Cum însă:

$$\omega = \frac{\pi^2 D}{\delta} (n_1 - n_2) \quad (2.40)$$

Rezultă :

$$\Delta P_{\text{ind}} = \frac{\pi^4 D^2 I G}{8^2 \mu_0} (n_1 - n_2) \quad (2.41)$$

### 2.7. Bilanțul de putere în cupiaj.

Scăzând din puterea totală  $P_1$  (2.33) puterea pierdută în indus (2.41), se obține puterea mecanică utilă  $P_2$  dezvoltată de cuplajul electromagnetic cu alunecare:

$$P_2 = P_1 - \Delta P_{\text{ind}} \quad (2.42)$$

La scrierea relației (2.42) au fost omise pierderile de putere prin frecare, ventilație, etc. din cupiaj.

Puterea mecanică utilă  $P_2$  se poate însă obține și din forța activă (2.27) dezvoltată de cupiaj la nivelul suprafeței indusului:

$$P_2 = F_x v_2 \quad (2.43)$$

Unde :

$v_2 = \pi D n_2$  și reprezintă viteza liniară de rotire a indusului.

Rezultă, deci :

$$P_2 = \frac{\pi^4 D^2 I G}{8^2 \mu_0} n_2 \quad (2.44)$$

Se observă că egalitatea (2.42) este evidentă, adică :

$$\frac{\pi^4 D^2 I G}{8^2 \mu_0} n_2 = \frac{\pi^4 D^2 I G}{8^2 \mu_0} n_1 - \frac{\pi^4 D^2 I G}{8^2 \mu_0} (n_1 - n_2) .$$

### 2.8. Randamentul cuplajului

Randamentul cuplajului este dat de raportul dintre puterea mecanică utilă  $P_2$  și puterea totală  $P_1$  intrată în cuplaj:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{n_2}{n_1} = 1 - s \quad (2.45)$$

unde :

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

și reprezintă alunecarea în cuplaj.

### 2.9. Reacția indusului.

Pătura de curent în indus se obține prin integrarea densității de curent în cele  $S$  straturi dealungul axei  $y$ :

$$\underline{AI} = \sum_{i=1}^S \int_{\lambda_{i-1}}^{\lambda_i} \underline{J}_i dy \quad (2.46)$$

Efectuând calculele, se obține:

$$\underline{AI} = \sum_{i=1}^S \frac{1}{k_i} \left\{ c_{i+1} \left[ \exp(k_i \lambda_i) - \exp(k_i \lambda_{i-1}) \right] - \right. \\ \left. - p c_{i+1} \left[ \exp(-k_i \lambda_i) - \exp(-k_i \lambda_{i-1}) \right] \right\} \exp \left[ j\omega \left( t - \frac{x}{2v_g} \right) \right]. \quad (2.47)$$

Reacția indusului datorită păturii de curent  $\underline{AI}$  se determină prin integrarea expresiei (2.47) dealungul axei  $x$  pe lungimea unui pas polar :

$$\underline{F}_R(t) = \int_0^{\tau} \underline{AI} dx = -j \frac{2\tau}{\pi} \sum_{i=1}^S \frac{1}{k_i} \left\{ c_{i+1} \left[ \exp(k_i \lambda_i) - \right. \right. \\ \left. \left. - \exp(k_i \lambda_{i-1}) \right] - p c_{i+1} \left[ \exp(-k_i \lambda_i) - \exp(-k_i \lambda_{i-1}) \right] \right\} \exp(j\omega t) \quad (2.48)$$

În planul complex, unghiul  $\varphi_{FR}$  pe care îl face reacția indusului  $\underline{F}_R$  cu axa reală, la timpul  $t=0$ , va fi:

$$\varphi_{FR} = \arctg \frac{\text{Im} \{ \underline{F}_R(t) \}}{\text{Re} \{ \underline{F}_R(t) \}} \Big|_{t=0} \quad (2.49)$$

Valoarea efectivă a reacției indusului este dată de relația (2.50) :

$$F_R = \sqrt{\underline{F}_R(t) \underline{F}_R^*(t)} \quad (2.50)$$

### 2.10. Calculul excitației totale.

Excitația totală  $F = i_e W_0$  care trebuie realizată în inductor se compune din componenta excitației  $F_p$  care trebuie să realizeze fluxul  $\Phi_p$  în întrefier și componenta  $F_R$  care va compensa reacția indusului.

Fluxul magnetic pe pol  $\Phi_p$  ce trebuie creat în întrefier pentru a produce în indus distribuția  $J_i$  a densității de curent electric, se calculează cu relația (2.51) :

$$\Phi_p = \int_0^L \int_0^Z B(x, z) dx dz \quad (2.51)$$

unde  $B(x, z)$  este dată de expresiile (A12, A28) respectiv (A30, A31) din anexa A.

Înmulțind fluxul  $\Phi_p$  cu reluctanța magnetică a circuitului magnetic corespunzător fluxului  $\Phi_p$ , se obține componenta  $F_p$  a excitației :

$$\underline{F}_p = \Phi_p R_m \quad (2.52)$$

Valoarea efectivă a excitației  $F_p$  se determină cu relația (2.53), iar unghiul pe care aceasta îl face cu axa reală la timpul  $t=0$  se determină cu relația (2.54):

$$F_p = \sqrt{\underline{F}_p \underline{F}_p^*} \quad (2.53)$$

$$\varphi_{FP} = \arctg \frac{\text{Im} \{ \underline{F}_p \}}{\text{Re} \{ \underline{F}_p \}} \Big|_{t=0} \quad (2.54)$$

Excitația totală  $F$  se obține prin însumarea vectorială a celor două componente  $F_p$  și  $F_R$  :

$$F = \sqrt{F_p^2 + F_R^2 - 2F_p F_R \cos(\varphi_{FP} - \varphi_{FR})} \quad (2.55)$$

Menționăm însă că, dacă în urma descompunerii în serie Fourier a inducției reale din întrefier rezultă și o componentă continuă pe lângă componenta sinusoidală  $B(x,z)$ , atunci la calculul excitației totale  $F$  trebuie să se țină seama și de aceasta.



### CAPITOLUL III

STUDIUL POSIBILITĂȚILOR DE ÎMBUNĂTĂȚIRE A PARAMETRILOR DE FUNCȚIONARE A CUPLAJELOR ȘI FRINELOR ELECTROMAGNETICE CU ALUNECĂRE DE TIP HOMOPOLAR CU INDUS MASIV FEROMAGNETIC, APLICIND METODA STRATURILOR.

#### 3.1. Particularități privind aplicarea metodei straturilor la calculul cuplajelor electromagnetice cu alunecare de tip homopolar, cu indus masiv feromagnetic.

##### 3.1.1. Determinarea grosimii straturilor de divizare a indusului masiv.

În lucrare s-a adoptat metoda de divizare a indusului astfel încât pe fiecare strat din primele  $S-1$  straturi numerotate dinspre întrefier, să existe aceeași atenuare procentuală a intensității câmpului magnetic  $\Delta H_x$ . Se presupune că pe suprafața dinspre întrefier, intensitatea câmpului magnetic în indusul masiv este  $H_{x,0}$  și că în interiorul acestuia intensitatea câmpului magnetic scade exponențial (3.1):

$$H_{x,y} = H_{x,0} \exp(-y/y_k) \quad (3.1)$$

unde  $y_k$  este adâncimea de pătrundere a câmpului electromagnetic în indus definită prin  $y_k = \sqrt{2/(\omega \mu_1 \sigma)}$  /49/, în care  $\omega$  reprezintă pulsația câmpului electromagnetic în indus și  $\mu_1$ ,  $\sigma$  permeabilitatea magnetică, respectiv conductivitatea electrică corespunzătoare primului strat de divizare a indusului numerotat dinspre întrefier.

Notînd grosimea indusului cu  $S_{ind}$  și înțelegînd prin aceasta grosimea geometrică a acestuia (măsurată de la suprafața dinspre întrefier pînă la baza nervurilor de răcire de pe suprafața exterioară în direcție radială) conform fig.3.1, atunci la divizarea indusului apar următoarele trei situații expuse în continuare.

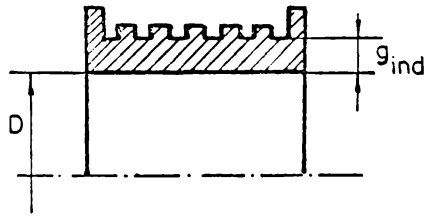


Fig.3.1. Explicativă privind grosimea indusului feromagnetic  $g_{ind}$ .

- a) Grosimea indusului este mai mare decât adâncimea de pătrundere a câmpului electromagnetic.  $g_{ind} > \gamma_k$

Atenuarea  $\Delta H_x$  a intensității câmpului magnetic pe strat este dată de relația (3.2):

$$\Delta H_x = \frac{H_{x,0} - H_{x,S-1}}{S-1} = H_{x,0} \frac{e-1}{e(S-1)} \quad (3.2)$$

unde  $e$  este baza logaritmilor neperieni .

Grosimea  $\delta_i$  a stratului  $i$  numerotat astfel încât stratul de lângă întrefier să aibă numărul de ordine 1, se găsește cu relația (3.3) :

$$\delta_i = \gamma_k \ln \frac{e(S-1) - (i-1)(e-1)}{e(S-1) - i(e-1)} \quad (3.3)$$

Suma grosimilor primelor  $i$  straturi  $\lambda_i$  măsurate dinspre întrefier se poate determina cu relația (3.4) sau (3.5) care sînt echivalente :

$$\lambda_i = \delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_i \quad (3.4)$$

$$\lambda_i = \gamma_k \ln \frac{e(S-1)}{e(S-1) - i(e-1)} \quad (3.5)$$

De grosimea stratului  $S$  nu avem nevoie în calcule. Conform convenției făcute în capitolul II, stratul  $S$  se consideră de grosime infinită, adică  $\delta_S = \infty$ . Permeabilitatea magnetică a acestui strat se determină în funcție de inducția magnetică din materialul feromagnetic calculată pe suprafața de separație dintre stratul cu numărul de ordine  $S$  și  $S-1$ .

- b) Grosimea indusului este egală cu adâncimea de pătrundere a câmpului electromagnetic  $g_{ind} = y_k$

Relațiile (3.3), (3.4) și (3.5) sînt valabile și în acest caz. Stratul cu numărul de ordine S de data aceasta se consideră a fi aer, de grosime infinită și cu permeabilitatea magnetică  $\mu_0$ .

- c) Grosimea indusului este mai mică decît adâncimea de pătrundere a câmpului electromagnetic  $g_{ind} < y_k$

În această situație, grosimea  $g_{ind}$  a indusului se dividează în S-1 straturi, astfel ca pe fiecare strat să fie aceeași atenuare a intensității câmpului magnetic  $\Delta H_x$  (3.6):

$$\Delta H_x = \frac{H_{x,0} - H_{x,S-1}}{S-1} = H_{x,0} \frac{1 - \exp(-g_{ind}/y_k)}{S-1} \quad (3.6)$$

În acest caz, grosimea  $\delta_i$  a stratului cu numărul de ordine i este:

$$\delta_i = y_k \ln \frac{(S-1)-(i-1)[1 - \exp(-g_{ind}/y_k)]}{(S-1)-i[1 - \exp(-g_{ind}/y_k)]} \quad (3.7)$$

Și de data aceasta, grosimea  $\lambda_i$  a primelor i straturi se obține cu relația (3.4) sau (3.8) care sînt echivalente :

$$\lambda_i = y_k \ln \frac{S-1}{(S-1)-i[1 - \exp(-g_{ind}/y_k)]} \quad (3.8)$$

unde  $i = 1 \div S - 1$ .

Stratul cu numărul de ordine S are și de data aceasta grosime infinită  $g_S = \infty$  și permeabilitatea magnetică  $\mu_0$ , căci este strat de aer.

Cele trei posibilități de divizare a indusului feromagnetic masiv sînt prezentate în fig. 3.2.

### 3.1.2. Determinarea expresiei pentru inducția de calcul $B_{ge}$ funcție de valoarea inducției sub dinte $B_g$ și de configurația întrefierului.

În calculele care urmează, pentru cuplajul homopolar, se presupune că sub dinte inducția magnetică are o valoare constantă și egală cu valoarea inducției magnetice din centrul suprafeței acestuia  $B_g$ . De asemenea, se presupune că în direcția axia-

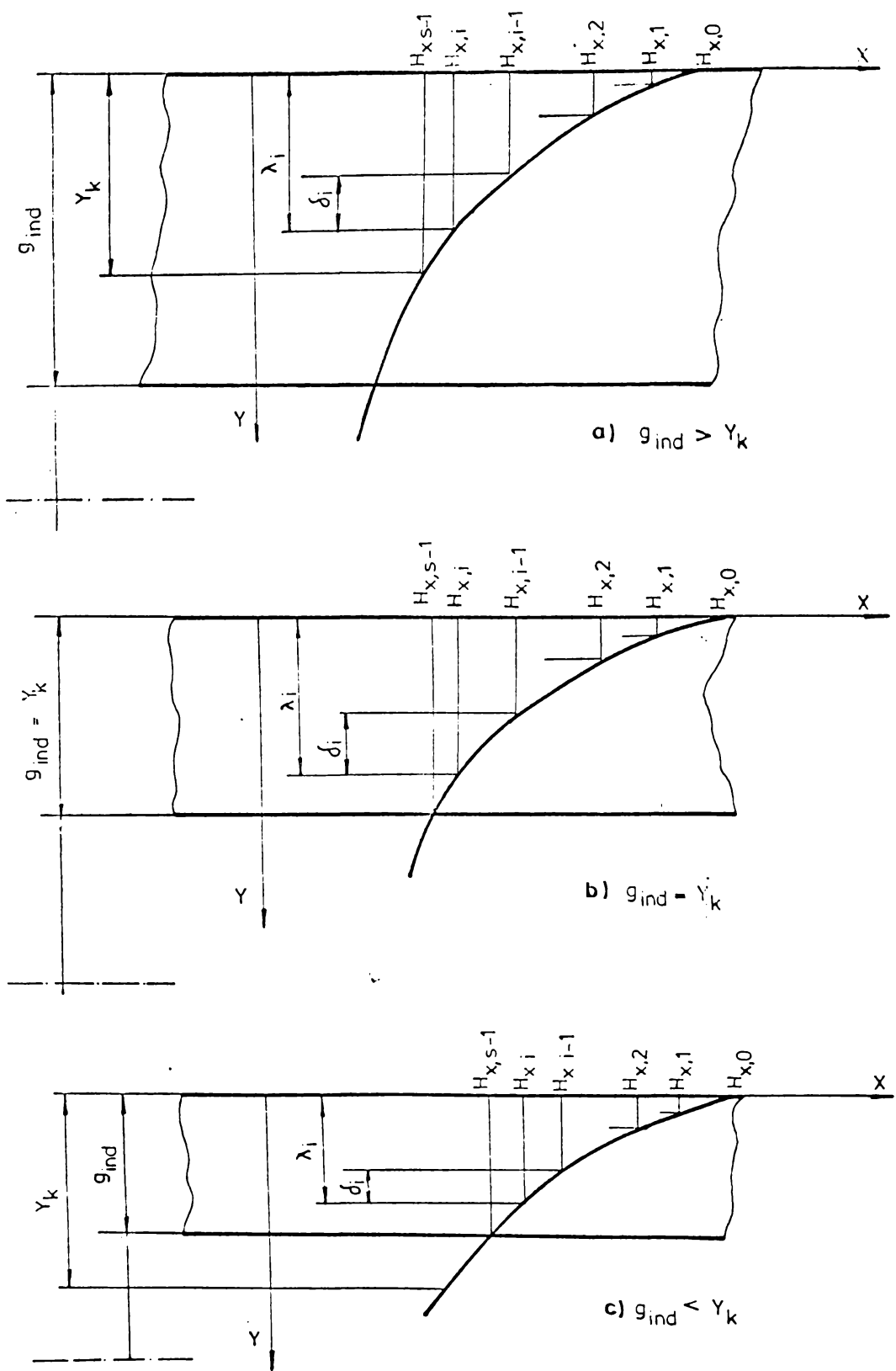


Fig.3.2. Explicativă la determinarea grosimii straturilor de divizare a indusului feromagnetic masiv.

lă, deci după coordonata  $z$ , inducția magnetică este constantă, ea fiind o funcție periodică numai pe suprafața indusului, dealungul axei  $x$  (fig.3.3).

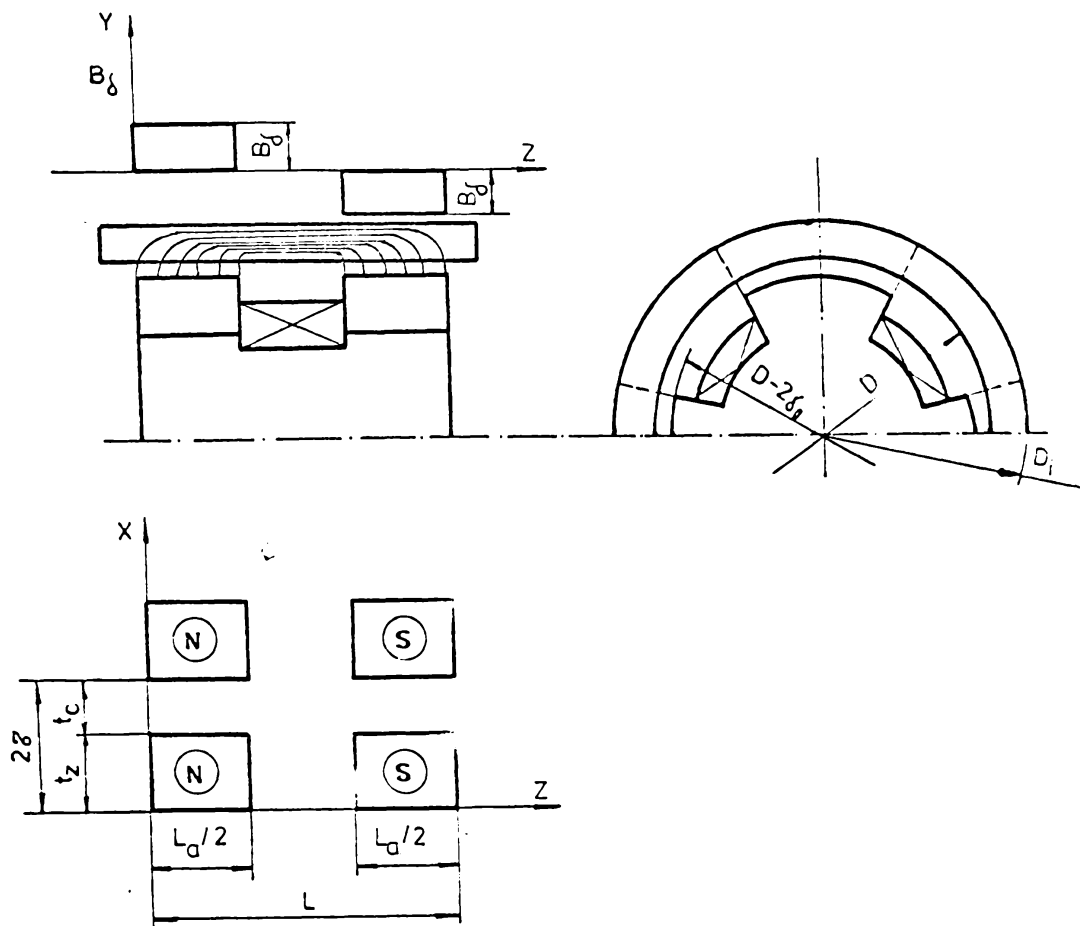


Fig.3.3. Configurația inducției magnetice în interiorul cupiajului electromagnetic cu alunecare de tip homopolar.

În calcule se poate lua fie prima armonică din dezvoltarea în serie Fourier, fie o sinusoidă echivalentă care să aibă aceeași perioadă și fază inițială ca și prima sinusoidă din dezvoltarea în serie Fourier și valoarea efectivă egală cu valoarea efectivă a tuturor armonicilor din dezvoltarea în serie Fourier. Calculul detaliat este prezentat în anexa A. Notăm cu :  $t_z$ -lățimi-

nea dintelui dealungul pasului polar;  $\mathcal{Z}$  - pasul polar al cuplajului homopolar;  $V$ - raport dat de expresia (3.9),  $\underline{\gamma}$  -coeficient de atenuare în complex dat prin expresia (3.10), rezultă expresiile (3.11 respectiv 3.12) pentru fazorii  $\underline{B}_{\delta 1}$  a sinusoidii fundamentale și  $\underline{B}_{\delta e}$  al sinusoidii echivalente reprezentați prin valoarea lor efectivă:

$$V = \frac{t_z}{2\mathcal{Z}} \quad (3.9)$$

$$\underline{\gamma} = -j \arctg(\operatorname{ctg}(\pi V)) \quad (3.10)$$

$$\underline{B}_{\delta 1} = \frac{-\sqrt{2} B_{\delta}}{\pi} \sin(\pi V) \exp(\underline{\gamma}) \quad (3.11)$$

$$\underline{B}_{\delta e} = -\frac{B_{\delta}}{\pi} \sqrt{\sum_{t=1}^m \frac{1}{t^2} (1 - \cos(2\pi tV) \exp(\underline{\gamma}))} \quad (3.12)$$

unde :  $t$ - numărul de ordine a armonicii;

$m$ - numărul maxim de armonici luate în considerare;

3.1.3. Calculul constantelor complexe  $\underline{C}_i$  și  $\underline{PC}_i$  pentru cele  $S$  straturi, în vederea determinării componentelor câmpului electromagnetic din indusul feromagnetic masiv.

Indusul feromagnetic masiv fiind omogen, conductivitatea electrică  $\sigma$  are aceeași valoare numerică pentru toate cele  $S$  straturi de divizare a indusului. În acest caz sistemul de ecuații (2.19) care servește la determinarea constantelor complexe  $\underline{C}_i$  și  $\underline{PC}_i$  devine :

$$\left\{ \begin{array}{l} -j \frac{\pi}{\mathcal{Z}} \underline{C}_1 - j \frac{\pi}{\mathcal{Z}} \underline{PC}_1 = \underline{B}_{\delta e} \\ -\frac{k_0}{\mu_0} \underline{C}_1 + \frac{k_0}{\mu_0} \underline{PC}_1 - j \frac{k_1}{\omega \sigma \mu_1} \underline{C}_2 + j \frac{k_1}{\omega \sigma \mu_1} \underline{PC}_2 = 0 \\ \dots \\ \exp(k_{i-1} \lambda_{i-1}) \underline{C}_i + \exp(-k_{i-1} \lambda_{i-1}) \underline{PC}_i - \\ - \exp(k_i \lambda_{i-1}) \underline{C}_{i+1} - \exp(-k_i \lambda_{i-1}) \underline{PC}_{i+1} = 0 \\ -\frac{k_{i-1}}{\mu_{i-1}} \exp(k_{i-1} \lambda_{i-1}) \underline{C}_i + \frac{k_{i-1}}{\mu_{i-1}} \exp(-k_{i-1} \lambda_{i-1}) \underline{PC}_i + \end{array} \right. \quad (3.13)$$

$$\frac{+ \frac{k_i}{\mu_i} \exp(k_i \lambda_{i-1}) C_{i+1} - \frac{k_i}{\mu_i} \exp(-k_i \lambda_{i-1}) PC_{i+1} = 0}{C_{S+1} = 0}$$

unde  $i = 2 \div S$ .

Scriș sub formă matricială, sistemul (3.13) arată ca în fig. 3.4.

Conform notațiilor făcute, pentru divizarea indusului în S straturi, rezultă necesitatea determinării a  $2S + 1$  constante complete, acestea fiind  $C_i$  pentru  $i=1 \div S$  și  $PC_i$  pentru  $i=1 \div S + 1$ .

Pentru o mai ușoară prezentare a metodei de calcul adoptate, se consideră matricia coeficienților necunoscutelor  $C_i$  și  $PC_i$  împreună cu termenii liberi ca fiind  $a_{i,j}$ , avînd  $2S+2$  linii și  $2S+3$  coloane, ultima coloană fiind rezervată termenilor liberi (fig. 3.5).

Generarea acestor coeficienți complexi  $a_{i,j}$  se face cu relațiile (3.14) deduse din sistemul de ecuații (3.13).

$$\begin{aligned} a_{1,1} &= a_{1,2} = -j \frac{\pi}{2} \\ a_{1,2S+3} &= \frac{B}{\delta} \\ a_{2,1} &= -\frac{k_0}{\mu_0} \\ a_{2,2} &= -\frac{a_{2,1} k_1}{\omega \sigma \mu_1} \\ a_{2,3} &= -j \frac{k_1}{\omega \sigma \mu_1} \\ a_{2,4} &= -a_{2,3} \\ a_{3,3} &= a_{3,4} = -\frac{\pi}{\delta \omega \sigma} \\ a_{3,2S+3} &= \frac{B}{\delta} \end{aligned} \tag{3.14}$$

pentru  $i=2 \div S$  rezultă ceilalți coeficienți

$$\begin{aligned} a_{2i,2i+1} &= \exp(k_{i-1} \lambda_{i-1}) \\ a_{2i,2i} &= \exp(-k_{i-1} \lambda_{i-1}) \\ a_{2i,2i+1} &= -\exp(k_i \lambda_{i-1}) \\ a_{2i,2i+2} &= -\exp(-k_i \lambda_{i-1}) \end{aligned}$$

SECRET  
M. CARA  
1954





	1	2	3	4	5	6	2i-1	2i	2i+1	2i+2	2s+1	2s+2	2s+3
1	$a_{1,1}$	$a_{1,2}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$a_{1,2s+1}$
2	$a_{2,1}$	$a_{2,2}$	$a_{2,3}$	$a_{2,4}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	$a_{3,3}$	$a_{3,4}$	0	0	0	0	0	0	0	0	$a_{3,2s+1}$
4	0	0	$a_{4,3}$	$a_{4,4}$	$a_{4,5}$	$a_{4,6}$	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	$a_{5,3}$	$a_{5,4}$	$a_{5,5}$	$a_{5,6}$	0	0	0	0	0	0	0
2i-1	0	0	0	0	0	0	$a_{2i-1,2i-1}$	$a_{2i-1,2i}$	$a_{2i-1,2i+1}$	$a_{2i-1,2i+2}$	0	0	0
2i	0	0	0	0	0	0	$a_{2i,2i-1}$	$a_{2i,2i}$	$a_{2i,2i+1}$	$a_{2i,2i+2}$	0	0	0
2s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$a_{2s,2s+1}$	$a_{2s,2s+2}$	0
2s+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$a_{2s+1,2s+1}$	$a_{2s+1,2s+2}$	0
2s+2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$a_{2s+2,2s+1}$	0	0

FIG.35 MATRICIA  $a_{i,j} \begin{cases} i=1 \div 2s+2 \\ j=1 \div 2s+3 \end{cases}$

$$\left\{ \begin{aligned} a_{2i+1, 2i-1} &= -\frac{k_{i-1}}{\mu_{i-1}} \exp(k_{i-1} \lambda_{i-1}) \\ a_{2i+1, 2i} &= \frac{k_{i-1}}{\mu_{i-1}} \exp(-k_{i-1} \lambda_{i-1}) \\ a_{2i+1, 2i+1} &= \frac{k_i}{\mu_i} \exp(k_i \lambda_{i-1}) \\ a_{2i+1, 2i+2} &= -\frac{k_i}{\mu_i} \exp(-k_i \lambda_{i-1}) \end{aligned} \right. \quad (3.14)$$

continuare

și  $a_{2S+2, 2S+1} = 1$

În notațiile făcute pînă acum au apărut în plus față de cele specificate anterior următoarele mărimi:

- pasul polar calculat pe suprafața indusului înspre întrefier

$$Z = \frac{\tilde{D}}{2Z} \quad (3.15)$$

- pulsația cîmpului electromagnetic în inus:

$$\omega = 2\tilde{Z}(n_1 - n_2) \quad (3.16)$$

- conductivitatea electrică a materialului indusului calculată pentru temperatura teoretică de funcționare  $\alpha$  acestuia

$$\sigma = \frac{1}{2\rho} \quad (3.17)$$

- rezistivitatea electrică a materialului indusului pentru temperatura teoretică de funcționare.

- mărimile complexe :

$$k_0 = \frac{\tilde{\pi}}{Z} \quad \text{și} \quad (3.18)$$

$$k_i = \sqrt{\frac{\tilde{\pi}^2}{Z^2} + j\omega\sigma\mu_i} \quad (3.19)$$

În prima fază pentru  $\mu_i$  se dau valori orientative, care apoi vor fi precizate prin calcul iterativ.

Pentru rezolvarea sistemului de ecuații (3.14), matricea extinsă  $a_{i,j}$  este transformată într-o matrice triunghiulară

$b_{i,j}$  cu elemente nule sub diagonala principală (fig.3.6) .

	1	2	3	4	5	6	$2i-1$	$2i$	$2i+1$	$2i+2$	$2s+1$	$2s+2$	$2s+3$
1	$b_{1,1}$	$b_{1,2}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$b_{1,2s+3}$
2	0	$b_{2,2}$	$b_{2,3}$	$b_{2,4}$	0	0	0	0	0	0	0	0	$b_{2,2s+3}$
3	0	0	$b_{3,3}$	$b_{3,4}$	0	0	0	0	0	0	0	0	$b_{3,2s+3}$
4	0	0	0	$b_{4,4}$	$b_{4,5}$	$b_{4,6}$	0	0	0	0	0	0	$b_{4,2s+3}$
5	0	0	0	0	$b_{5,5}$	$b_{5,6}$	0	0	0	0	0	0	$b_{5,2s+3}$
$2i-1$	0	0	0	0	0	0	$b_{2i-1,2i-1}$	$b_{2i-1,2i}$	0	0	0	0	$b_{2i-1,2s+3}$
$2i$	0	0	0	0	0	0	0	$b_{2i,2i}$	$b_{2i,2i+1}$	$b_{2i,2i+2}$	0	0	$b_{2i,2s+3}$
$2s$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$b_{2s,2s+1}$	$b_{2s,2s+2}$	$b_{2s,2s+3}$
$2s+1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$b_{2s+1,2s+1}$	$b_{2s+1,2s+2}$	$b_{2s+1,2s+3}$
$2s+2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$b_{2s+2,2s+2}$	$b_{2s+2,2s+3}$

FIG. 3.5. MATRICIA  $b_{i,j}$   $\left\{ \begin{array}{l} i=1, 2s+2 \\ j=1, 2s+3 \end{array} \right.$

$$b_{1,1} = a_{1,1}$$

$$b_{1,2} = a_{1,2}$$

$$b_{1,2S+3} = a_{1,2S+3}$$

$$b_{2,2} = a_{2,2} - \frac{b_{1,2} a_{2,1}}{b_{1,1}}$$

$$b_{2,3} = a_{2,3}$$

$$b_{2,4} = a_{2,4}$$

$$b_{2,2S+3} = \frac{b_{1,2S+3} a_{2,1}}{b_{1,1}}$$

(3.20)

$$b_{3,3} = a_{3,3}$$

$$b_{3,4} = a_{3,4}$$

$$b_{3,2S+3} = a_{3,2S+3}$$

$$b_{2i,2i} = a_{2i,2i} - \frac{b_{2i-1,2i} a_{2i,2i-1}}{b_{2i-1,2i-1}}$$

$$b_{2i,2i+1} = a_{2i,2i+1}$$

$$b_{2i,2i+2} = a_{2i,2i+2}$$

$$b_{2i,2S+3} = - \frac{b_{2i-1,2S+3} a_{2i,2i-1}}{b_{2i-1,2i-1}}$$

$$\alpha_{2i+1} = \frac{a_{2i+1,2i} - \frac{b_{2i-1,2i} a_{2i+1,2i-1}}{b_{2i-1,2i-1}}}{b_{2i,2i}}$$

$$b_{2i+1,2i+1} = a_{2i+1,2i+1} - \frac{b_{2i,2i+1} \alpha_{2i+1}}{b_{2i,2i}}$$

$$b_{2i+1,2i+2} = a_{2i+1,2i+2} - \frac{b_{2i,2i+2} \alpha_{2i+1}}{b_{2i,2i}}$$

$$b_{2i+1,2S+3} = - \frac{b_{2i-1,2S+3} a_{2i+1,2i-1}}{b_{2i-1,2i-1}} - \frac{b_{2i,2S+3} \alpha_{2i+1}}{b_{2i,2i}}$$

continuare

$$\frac{b_{2S+2, 2S+2}}{b_{2S+1, 2S+1}} = - \frac{b_{2S+1, 2S+2} a_{2S+2, 2S+1}}{b_{2S+1, 2S+1}} \quad (3.20)$$

$$\frac{b_{2S+2, 2S+3}}{b_{2S+1, 2S+1}} = - \frac{b_{2S+1, 2S+3} a_{2S+2, 2S+2}}{b_{2S+1, 2S+1}}$$

Unde  $i = 2 \div S$ .

Revenind la sistemul de ecuații cu necunoscutele  $C_i$  și  $PC_i$ , calculul acestora se începe de la ultima ecuație din care necunoscuta  $PC_{S+1}$  se găsește direct, apoi înlocuind această necunoscută în penultima ecuație se găsește necunoscuta  $C_S$ , ș.a.m.d. Metoda adoptată este o substituție inversă.

Rezultă :

$$\frac{PC_{S+1}}{b_{2S+2, 2S+2}} = \frac{b_{2S+2, 2S+3}}{b_{2S+2, 2S+2}}$$

$$C_i = \frac{b_{2i-1, 2S+3} - b_{2i-1, 2i} \frac{PC_i}{b_{2i-1, 2i-1}}}{b_{2i-1, 2i-1}} \quad (3.21)$$

$$\frac{PC_{i-1}}{b_{2i-2, 2i-2}} = \frac{b_{2i-2, 2S+3} - b_{2i-2, 2i} \frac{PC_i}{b_{2i-2, 2i-1}} - b_{2i-2, 2i-1} \frac{C_i}{b_{2i-2, 2i-2}}}{b_{2i-2, 2i-2}}$$

$$C_1 = \frac{b_{1, 2S+3} - b_{1, 2} \frac{PC_1}{b_{1, 1}}}{b_{1, 1}}$$

Unde  $i = 1 \div S \div 2$  și cu condiția  $C_{S+1} = 0$ .

În continuare, urmează calculul inducției magnetice în cele  $S$  straturi de divizare, a indusului pe suprafața de separare dinspre întrefier  $B_i$ , în funcție de care se calculează permeabilitatea magnetică  $\mu_i$  a stratului  $i$ . Ținând seama de relațiile (2.10) rezultă :

$$\left\{ \begin{aligned} B_{y,1} &= - \frac{\pi}{\tau \sigma \omega} (C_2 + PC_2) \\ B_1 &= \sqrt{B_{y,1} B_{y,1}^*} \end{aligned} \right. \quad (3.22)$$

continuare (3.22)

$$\underline{B}_{y,i} = -\frac{\pi}{2\sigma\omega} (C_{i+1} \exp(k_i \lambda_{i-1}) + PC_{i+1} \exp(-k_i \lambda_{i-1}))$$

$$B_i = \sqrt{\underline{B}_{y,i} \underline{B}_{y,i}^*}$$

Unde  $i = 2+S$ .

Determinarea permeabilității magnetice  $\mu_i$  în funcție de  $B_i$  astfel calculat, pentru fiecare din cele  $S$  straturi de divizare a inusului, se face prin interpolarea polinomială. Procesul iterativ de recalculare a lui  $\mu_i$  se repeta pînă cînd diferența procentuală, în modul, dintre valoarea calculată și valoarea atribuită anterior pentru fiecare  $\mu_i$  aferent celor  $S$  straturi, devine mai mică, cel mult egală cu un  $\varepsilon$  dat.

#### 3.1.4. Determinarea lungimii active $L_{am}$ a indusului din considerente electromagnetice.

Ținînd seama de relațiile (2.33) și (3.15) și de faptul că :

$$P_{ln} = 2\pi n_1 M_n \quad (3.23)$$

lungimea activă a inusului calculată din considerente electromagnetice  $L_{am}$  este de două ori lungimea unui dinte (fig.3.3) și are expresia :

$$L_{am} = \frac{\mu_0 M_n}{2\pi Z^2 G} \quad (3.24)$$

Unde:  $G = a_{1p} b_{1p} - a_{1p} b_1$  - a fost definit prin relația (2.26) și  $M_n$  - cuplul nominal.

La dimensionarea cuplajelor și frinelor electromagnetice cu alunecare se ia în considerare acea valoare pentru lungimea activă a indusului  $L_a$  care corespunde atât din considerente electromagnetice  $L_{am}$  cît și din punct de vedere al încălzirii admise a inusului  $L_{at}$ .

Determinarea lungimii active a inusului din punct de vedere al încălzirii admise va fi prezentată în cap.IV în baza datelor din literatura de specialitate. Prin urmare :

$$L_a = \max \{ L_{am}, L_{at} \} \quad (3.25)$$

Odată lungimea activă  $L_a$  a indusului fiind determinată, în baza relațiilor (2.33, 2.39 și 2.44) se pot determina atît puterea

la intrarea în cuplaj  $P_1$ , puterea la ieșirea din cuplaj  $P_2$ , pierderea de putere în cuplaj  $\Delta P$  cât și cuplul transmis de cuplaj  $M$  pentru o anumită alunecare  $s$ , unde :

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (3.26)$$

Rezultă :

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \frac{\pi^4 D^2 L_a G}{\tau^2 \mu_0} n_1 \\ P_2 &= \frac{\pi^4 D^2 L_a G}{\tau^2 \mu_0} n_2 \\ \Delta P &= \frac{\pi^4 D^2 L_a G}{\tau^2 \mu_0} (n_1 - n_2) \\ M &= \frac{2 \pi L_a \tau^2 G}{\mu_0} = \frac{\pi^3 L_a D^2 G}{2 \tau^2 \mu_0} \end{aligned} \right\} \quad (3.27)$$

### 3.1.5. Dimensionarea înfășurării de excitație.

Dimensionarea înfășurării de excitație constă în determinarea numărului de amperspice necesare obținerii inducției magnetice  $B_g$  în întrefier, sub cinte. În acest sens, se are în vedere schema circuitului magnetic aferent cuplajului homopolar adoptată în lucrare și prezentată în fig.3.7. În continuare se prezintă semnificația mărimilor care intervin în schemă și modul de determinare a acestora.

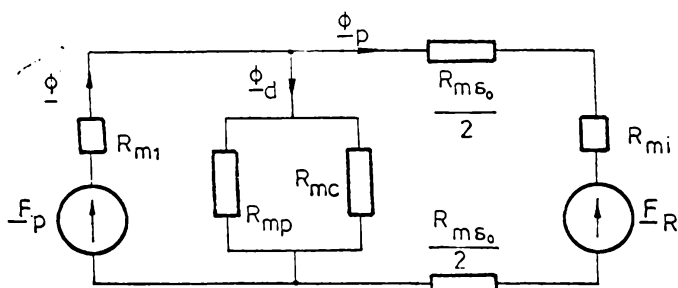


Fig.3.7.

Schema circuitului magnetic aferent cuplajului homopolar în regim sinusoidal.

a)  $F_R$ -reprezintă forța magnetomotoare de reacție calculată cu relația (2.48), iar ca fază și modul cu relațiile (2.49) respectiv (2.50).

b)  $R_{m\delta}$  - reprezintă reluctanța magnetică a întrefierului raportată la un pol magnetic, conform relației (3.28)

$$R_{m\delta} = \frac{4\delta_0}{\mu_0 L_a \sqrt{2} v} \quad (3.28)$$

c)  $\Phi_p$ -reprezintă fluxul ce trebuie creat în întrefier pe pol, pentru ca în centrul polului valoarea inducției magnetice să fie  $B_\delta$ . În acest sens relația (2.51) pentru cuplajul homopolar devine

$$\Phi_p = \int_0^z \int_0^{L_a/2} B_\delta \exp(-j \frac{\pi}{\delta} x) dx dz = -j B_\delta \frac{z L_a}{\pi} \quad (3.29)$$

iar  $B_\delta$  este una din expresiile (3.11), sau (3.12).

d)  $R_{md}$ -reprezintă reluctanța magnetică de dispersie. Pentru cuplajul de tip homopolar reluctanța magnetică de dispersie se calculează din relația (3.30)

$$R_{md} = \frac{1}{k \left( \frac{1}{R_{mc}} + \frac{1}{R_{mp}} \right)} \quad (3.30)$$

unde : k-este un coeficient prin care se ține seama de imprecizia de calcul;  $R_{mc}$ -reprezintă reluctanța magnetică aferentă fluxului de dispersie a creștăturii și depinde de poziția relativă dintre bobină și creștătură (fig.3.8);  $R_{mp}$ -reprezintă reluctanța magnetică aferentă fluxului de dispersie dintre dinți și depinde de poziția lor relativă (fig.3.9).

Cu notațiile din fig.3.8 reluctanța magnetică a creștăturii (creștatura dintre polii nord și cei sud se consideră în prelungire) rezultă din (3.31)

$$\frac{1}{R_{mc}} = \frac{\mu_0 \int_0^{h_c-h} H_x ds}{F} \quad (3.31)$$

Mărimile  $H_x$  și  $ds$  se calculează cu relațiile (3.32) respectiv (3.33) iar  $F$  reprezintă amperspirele totale ale înfășurării de excitație

$$H_x = \frac{F x}{L_a} = \frac{F}{L_a h_b} (h_c - h - x) \quad (3.32)$$



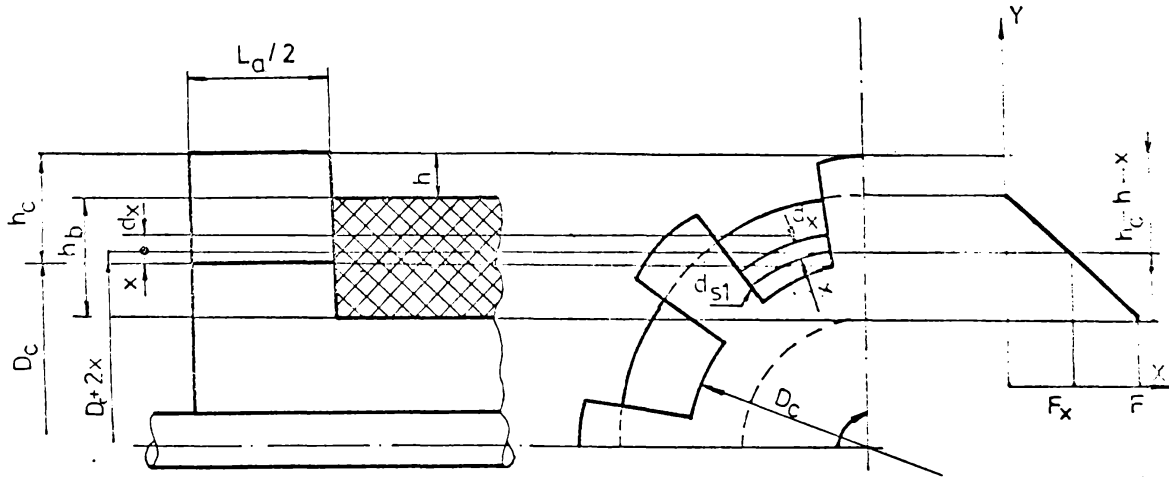


Fig.3.8 Explicativa la determinarea reluctanței magnetice a creștăturii  $R_{mc}$ .

$$ds = \frac{1-V}{2L} (D_c + 2x) dx = \frac{ds_1}{2} \quad (3.33)$$

Aici :

$$D_c = D - 2(h_c + \delta_0) \quad (3.34)$$

Cu aceste notații, reluctanța magnetică a creștăturii  $R_{mc}$  rezulta din :

$$\frac{1}{R_{mc}} = \frac{\mu_0 \tilde{\pi} (1-V)(h_c - h)^2}{2L a n_b} \left( \frac{D}{2} - \frac{2h_c}{3} - \delta_0 - \frac{h}{3} \right) \quad (3.35)$$

În cazul în care  $h=0$ , relația (3.35) devine (3.36) :

$$\frac{1}{R_{mc}} = \frac{\mu_0 \tilde{\pi} (1-V)h_c^2}{2L a n_b} \left( \frac{D}{2} - \frac{2h_c}{3} - \delta_0 \right) \quad (3.36)$$

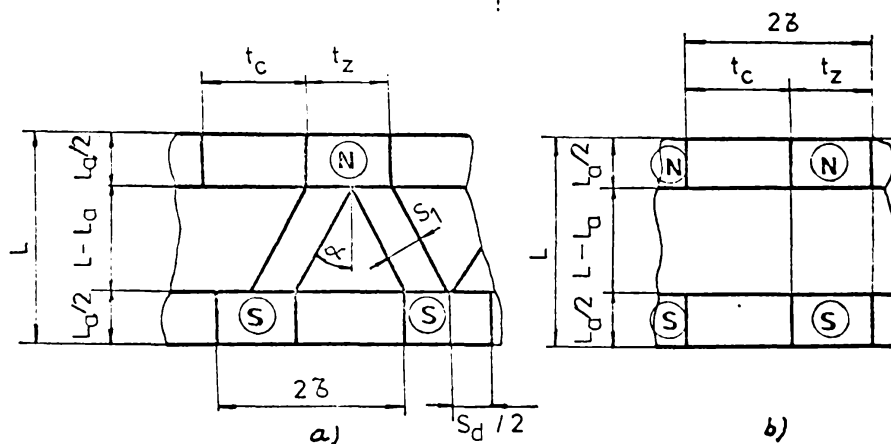


Fig.3.9. Explicativă la determinarea reluctanței magnetice  $R_{mp}$  aferentă fluxului de dispersie dintre dinți :  
 a) cazul dinte la gol; b) cazul dinte la dinte

iar în cazul în care  $h=0$  și înălțimea bobinei este egală cu înălțimea creștăturii, deci  $h_0=h_c$ , relația (3.35) devine (3.37) :

$$\frac{1}{R_{mc}} = \frac{\mu_0 \pi (1-V) h_c}{2L_a} \left( \frac{D}{2} - \frac{2h_c}{3} - \delta_0 \right) \quad (3.37)$$

reluctanța magnetică aferentă fluxului de dispersie dintre dinți, cu datele din fig. 3.9 și raportată la un pol se va determina cu una din expresiile (3.38) sau (3.40) după cum dinții sînt decalajați în poziția dinte la gol, sau sînt în poziția dinte la dinte.

Pentru cazul dinților decalajați în poziția dinte la gol

$$\frac{1}{R_{mp}} = \frac{\pi \mu_0 h_c DV}{2L(1-L_a)} \cos^2 \alpha \quad (3.38)$$

unde :

$$\cos^2 \alpha = \frac{4Z^2(L-L_a)^2}{4Z^2(L-L_a)^2 + \pi^2 D^2(1-V)^2} \quad (3.39)$$

Pentru cazul în care dinții se găsesc în poziția dinte la dinte  $\cos \alpha = 1$  și relația (3.38) devine (3.40) :

$$\frac{1}{R_{mp}} = \frac{\pi \mu_0 h_c DV}{2Z(L-L_a)} \quad (3.40)$$

Pentru constanta  $k$  se pot lua valori 1,2 ÷ 1,4 prin analogie cu datele din literatura de specialitate pentru cazuri similare. /31/.

e)  $\underline{\Phi}_d$  - reprezintă fluxul total de dispersie din cuplajul homopolar

$$\underline{\Phi}_d = \frac{1}{R_{md}} U_m \quad (3.41)$$

unde :

$$U_m = \underline{F}_R + \underline{\Phi}_P R_m \delta_0 \quad (3.42)$$

r)  $\underline{\Phi}$  - reprezintă fluxul total din cuplaj creat de înfășurarea de excitație :

$$\underline{\Phi} = \underline{\Phi}_P + \underline{\Phi}_d = (R_m \delta_0 + R_{md}) \frac{\underline{\Phi}_P}{R_{md}} + \frac{R_R}{R_{md}} \quad (3.43)$$

g)  $R_{m1}$  - reprezintă reluctanța magnetică a inductorului. Avînd în vedere că  $R_{m1}$  este o funcție de permeabilitate magnetică a inductorului, deci  $R_{m1} = r(\mu)$ , înseamnă că la o altă scară,  $R_{m1}$  este o funcție de fluxul din inductor, deci  $R_{m1} = f(\underline{\Phi})$ ,

Determinarea lui  $R_{m1}$  pentru un cuplaj construit se face, în procesul de calcul pe calculator, prin interpolare polinomială, avînd ridicată curba  $R_{m1} = r(\underline{\Phi})$ , printr-o metodă oarecare.

Fluxul pentru care se determină  $R_{m1}$  este obținut cu relația (3.44) :

$$\Phi' = \sqrt{\Phi \Phi^* + \left( \frac{B_g v L_a Z}{2} \right)^2} \quad (3.44)$$

unde  $\Phi$  este dat prin relația (3.43) în expresia lui  $\Phi'$  intrînd și componenta continuă a acestuia din inductor.

h)  $F'$  - reprezintă componenta sinusoidală a excitației totale a cuplajului. Cu mărimile din schema prezentată în fig. 3.7, aceasta se determină cu relația (3.45) :

$$F' = \Phi_p \left( R_{m1} + R_{m\delta_0} + \frac{R_{m1}}{R_{md}} R_{m\delta_0} \right) + F_R \left( 1 + \frac{R_{m1}}{R_{md}} \right) \quad (3.45)$$

iar curentul de excitație nominal rezultă din :

$$i_{en} = \frac{F'}{W_e} \quad (3.46)$$

$W_e$  - reprezintă numărul de spire al înfășurării de excitație, iar la determinarea lui  $F'$  se ține seama și de componenta continuă a fluxului magnetic ce apare în inductor :

$$F' = \sqrt{F F^* + \left( \frac{R_{m1} B_g v L_a Z}{2} \right)^2} \quad (3.47)$$

### 3.2. Optimizarea cuplajului electromagnetic cu alunecare, cu indus masiv feromagnetic.

#### 3.2.1. Generalități

Din cele prezentate în cap. II rezultă că valoarea cuplului electromagnetic transmis de cuplajul electromagnetic

cu alunecare cu indus masiv feromagnetic depinde de o serie de parametri după cum ar fi : proprietățile magnetice și electrice ale materialului feromagnetic din care se realizează circuitul magnetic al cuplajului prin permeabilitatea magnetică și conductivitatea electrica a acestuia; turația  $n_1$  a motorului de acționare și valoarea alunecării  $s$  ; raportul dintre lungimea indusului și lungimea inductorului  $L_i/L$  ; grosimea indusului  $\delta_{ind}$  ; numărul de dinți  $Z$  ; raportul  $V$  dintre lățimea dintelui dealungul pasului polar și de doua ori pasul polar ; mărimea intrerierului  $\delta_0$  ; mărimea curentului de excitație  $i_e$  :

$$M = M(\mu, \sigma, n_1, s, L_i/L, \delta_{ind}, Z, V, \delta_0, i_e) \quad (3.48)$$

Pentru un cuplaj proiectat în vederea realizării unei anumite acționari, interesează în mod deosebit cum se poate obține un cuplaj care să dezvolte un cuplu electromagnetice maxim la un consum minim de material feromagnetic. In felul acesta, în prezenta lucrare s-a introdus un criteriu original de optimizare al CEA și FEA care constă în determinarea valorii parametrilor care conduc la obținerea unui cuplu specific maxim, prin cuplu specific înțelegându-se raportul dintre cuplul electromagnetice și masa variabilă a circuitului magnetic (masa indusului și a dinților inductorului).

Notînd cu  $d$  densitatea materialului feromagnetic și avînd în vedere notațiile din fig.3.8, expresia cuplului specific  $M_{sp}$  este :

$$M_{sp} = \frac{M}{\pi d [\delta_{ind} L_i (D + \delta_{ind} + 2\delta_0) + V \mu_0 n_c (D - n_c)]} \quad (3.49)$$

Parametrii care influențează valoarea cuplului specific și în funcție de care se determină maximul acestuia sînt :  $Z, V, \delta_{ind}, L_i/L$  .

Turația  $n_1$  a motorului de acționare și alunecare  $s$  sînt impuse prin tema de proiectare iar  $\mu$  și  $\sigma$  depind de materialul feromagnetic utilizat. Prin comparație cu o mașină asincronă,

întrefierul  $\delta_0$  se realizează la valori minime posibile din punct de vedere al tehnologiei de execuție, iar curentul de excitație nominal  $i_{en}$  și deci și înfășurarea de excitație se determină prin proiectare astfel încât în inductor inducția magnetică să fie cea impusă.

Avînd în vedere metoda de calcul adoptată pentru acest tip de cuplaj, determinarea cuplului specific e posibilă numai prin calcul numeric. Stabilirea valorilor optime pentru parametrii care conduc la un cuplu specific maxim se poate face fie numeric alegînd un algoritm de calcul corespunzător, fie pe cale grafică. Cele două metode, deci o metoda grafo-numerică și alta numerică vor fi expuse în continuare.

### 3.2.2. Metoda grafo-numerică.

Metoda grafo-numerică presupune următoarele etape de lucru :

a) Se generează funcția :

$$M_{sp} = M_{sp}(Z, V, g_{ind}, L_i/L) \quad (3.50)$$

ceilalți parametri avînd valorile impuse prin tema de proiectare. Acestei funcții i se atașează domeniile de definiție :

$$\begin{cases} Z_{min} \leq Z \leq Z_{max} \\ V_{min} \leq V \leq V_{max} \\ (g_{ind})_{min} \leq g_{ind} \leq (g_{ind})_{max} \\ (L_i/L)_{min} \leq L_i/L \leq (L_i/L)_{max} \end{cases} \quad (3.51)$$

Cum din datele experimentale se constată că funcția  $M_{sp}$  este o funcție concavă și că  $M_{sp}$  în funcție de un singur parametru oricare ar fi acesta, poate fi exprimată printr-o funcție algebrică de cel puțin gradul doi, rezultă că trebuie calculat cuplul specific pentru minim trei valori ale unui parametru din domeniul de definiție al acestuia. Fie aceste valori  $Z_i, V_j,$

$(\varepsilon_{ind})_k, (L_i/L)_\ell$ , alese astfel ca:

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_{min} \leq Z_i \leq Z_{max} \quad ; \quad i=1,2,3 \dots i_m; \quad i_m \geq 3 \\ V_{min} \leq V_j \leq V_{max} \quad ; \quad j=1,2,3 \dots j_m; \quad j_m \geq 3 \\ (\varepsilon_{ind})_{min} \leq (\varepsilon_{ind})_k \leq (\varepsilon_{ind})_{max}; \quad k=1,2,3 \dots k_m; \quad k_m \geq 3 \\ (L_i/L)_{min} \leq (L_i/L)_\ell \leq (L_i/L)_{max}; \quad \ell=1,2, \dots \ell_m; \quad \ell_m \geq 3 \end{array} \right. \quad (3.52)$$

c) Menținând trei parametri constanți și lăsând unul variabil, se calculează succesiv valorile corespunzătoare pentru cuplul specific prin calcul numeric (în total reluarea calculului se face de  $i_m \cdot j_m \cdot k_m \cdot \ell_m$  ori).

d) Se trasează grafic curbele

$$M_{sp} = M_{sp}(Z) \quad \left| \begin{array}{l} L_i/L = ct \\ \varepsilon_{ind} = ct \\ V = V_j; \quad j=1,2, \dots j_m \end{array} \right. \quad (3.53)$$

stabilind valoarea critică  $Z_0$  pentru  $Z$  care conduce la cuplul specific maxim. În total se realizează  $k_m \cdot \ell_m$  grafice, fiecare grafic conținând  $j_m$  curbe  $M_{sp} = M_{sp}(Z)$

e) Se trasează grafic curbele :

$$M_{sp} = M_{sp}(V) \quad \left| \begin{array}{l} L_i/L = ct \\ \varepsilon_{ind} = ct \\ Z = Z_i; \quad i=1,2, \dots i_m \end{array} \right. \quad (3.54)$$

Se stabilește valoarea critică  $V_0$  pentru raportul  $V$  care conduce la cuplul specific maxim. În total se realizează  $k_m \cdot \ell_m$  grafice, fiecare grafic conținând  $i_m$  curbe  $M_{sp} = M_{sp}(V)$ .

f) Se trasează grafic curbele :

$$M_{sp} = M_{sp}(L_i/L) \quad \left| \begin{array}{l} V = V_0 \\ Z = Z_0 \\ \varepsilon_{ind} = (\varepsilon_{ind})_k; \quad k=1,2, \dots k_m \end{array} \right. \quad (3.55)$$

stabilind valoarea critică  $(L_i/L)_0$  pentru raportul  $L_i/L$  care conduce la cuplul critic maxim. În total se trasează un singur grafic care conține  $k_m$  curbe  $M_{sp} = M_{sp}(L_i/L)$ .

g) Se trasează curba :

$$M_{sp} = M_{sp}(g_{ind}) \left| \begin{array}{l} V = V_0 \\ Z = Z_0 \\ L_i/L = (L_i/L)_0 \end{array} \right. \quad (3.56)$$

stabilind valoarea critică  $(g_{ind})_0$  pentru grosimea indusului  $g_{ind}$  care conduce la cuplul critic maxim.

h) Se generează funcția

$$M = M(s, i_e) \left| \begin{array}{l} V = V_0 \\ Z = Z_0 \\ g_{ind} = (g_{ind})_0 \\ L_i/L = (L_i/L)_0 \end{array} \right. \quad (3.57)$$

căreia i se atașează domeniile de definiție :

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 < s < 1 \\ 0 < i_e \leq i_{en} \end{array} \right. \quad (3.58)$$

Se determină prin calcul numeric valoarea cuplului  $M$  pentru minim trei valori ale alunecării  $s$  din domeniul de definiție și pentru diferite valori ale curentului de excitație. Se trasează caracteristicile mecanice ale cuplajului electromagnetic cu alunecare :

$$M = M(s) \Big|_{i_e = ct} \quad (3.59)$$

În planul caracteristicilor mecanice se delimitează porțiunile admise în funcționare prin trasarea curbei pierderilor maxime de putere admisă în indus

$$s \cdot M = \frac{\Delta P_{max}}{2 \pi n_1} \quad (3.60)$$

Pierderile maxime de putere admise în indus se calculează astfel încât temperatura indusului să nu depășească limita admisă.



i) Se generează funcțiile (3.61) cărora li se atașează domeniile de definiție (3.58) :

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= P_1(s, i_e) \\ P_2 &= P_2(s, i_e) \\ \Delta P &= \Delta P(s, i_e) \end{aligned} \right| \begin{aligned} & \\ & \\ & V_0; Z_0; (\epsilon_{ind})_0; (L_1/L)_0 \end{aligned} \quad (3.61)$$

Se calculează valorile lui  $P_1, P_2, \Delta P$  pentru minim 3 valori ale alunecării  $s$  și pentru diferite valori ale curentului de excitație  $i_e$ , apoi se trasează caracteristicile de putere ale cuplajului electromagnetic cu alunecare pe același grafic:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= P_1(s) \\ P_2 &= P_2(s) \\ \Delta P &= \Delta P(s) \end{aligned} \right| i_e = ct \quad (3.62)$$

În planul acestor caracteristici se delimitează porțiunile admise în funcționare prin trasarea dreptei :

$$\Delta P = \Delta P_{max} \quad (3.63)$$

j) Pentru a obține caracteristicile mecanice și de putere ale cuplajului electromagnetic cu alunecare în regim de frână, funcțiilor (3.57) și respectiv (3.61) li se atașează domeniile de definiție (3.64):

$$\left. \begin{aligned} 1 &\leq s \leq s_{max} \\ 0 &< i_e \leq i_{en} \end{aligned} \right| \quad (3.64)$$

Se calculează numeric valori pentru  $M, P_1, P_2, \Delta P$  pentru minim trei valori ale alunecării  $s$  și pentru diferite valori ale curentului de excitație din domeniul de definiție și se trasează grafic curbele:

$$\left. \begin{aligned} M &= M(s) \\ P_1 &= P_1(s) \\ P_2 &= P_2(s) \\ \Delta P &= \Delta P(s) \end{aligned} \right| i_e = ct \quad (3.65)$$

În planul caracteristicilor mecanice și de putere se delimitează porțiunile admise în funcționare ca și la aliniatul

b) și i) cu precizarea că de data aceasta pentru alunecarea  $s=1$ , indusul fiind imobil, răcirea se poate face forțată cu aer, apă sau alt agent de răcire și deci  $\Delta P_{\max}$  poate avea valori mai mari.

Obs. La aplicațiile practice prezentate în cap.V valorile critice  $Z_0, V_0, (L_i/L)_0, (g_{\text{ind}})_0$  au fost alese într-un interval

$$M_{\text{sp}} = (0,95 \div 1) M_{\text{sp,max}} \quad (3.66)$$

permițind eliminarea erorilor care au putut apare la trasarea grafică a curbelor de variație a cuplului specific printr-un număr limitat de puncte.

### 3.2.3. Metoda numerică.

Metoda numerică presupune următoarele etape de lucru:

a) Se generează funcția (3.50) căreia i se atașează domeniile de definiție (3.51). Pentru cel puțin trei valori ale variabilelor  $g_{\text{ind}}$  și respectiv  $L_i/L$  se calculează perechile de valori  $Z_{0,m}$  și  $V_{0,m}$  care conduc la un cuplu specific maxim unde:

$$\begin{cases} m=1, 2, \dots, m_m \\ m'_m = k_m \cdot \ell_m \end{cases} \quad (3.67)$$

Perechiile de valori  $Z_{0,m}$  și  $V_{0,m}$  se determină rezolvînd problema de maxim:

$$\begin{cases} \max M(Z, V) \\ \left. \begin{array}{l} g_{\text{ind}} = (g_{\text{ind}})_k; \quad k=1, 2, \dots, k_m \\ L_i/L = (L_i/L)_{\ell}; \quad \ell=1, 2, \dots, \ell_m \end{array} \right\} \quad (3.68) \\ Z_{\min} \leq Z \leq Z_{\max} \\ V_{\min} \leq V \leq V_{\max} \end{cases}$$

În literatura de specialitate sînt tratate diverse metode numerice de rezolvare a unor probleme de acest gen. Am reținut pentru cazul, de față algoritmul simplex prezentat în /B 13, 22 / .

În execuția cuplajului este de preferat ca numărul de dinți  $Z$  să fie un număr par, iar raportul  $V$  un număr zecimal cu

cei mult două zecimale. În baza acestor considerente este de preferat ca stabilirea valorilor  $Z_0$  și  $V_0$  să se facă de proiectant în baza mărimilor calculate  $Z_{0,m}$  și  $V_{0,m}$  prin prelucrare statistică.

b) Se generează funcția (3.55) și se determină prin metode numerice pentru cel puțin trei valori ale variabilei  $g_{ind}$ , valorile optime  $(L_1/L)_{0,k}$  care conduc la un cuplu specific maxim. Aceleași lucrări / B 13,22 / prezintă pentru problema de optimizare de tipul :

$$\left\{ \begin{array}{l} \max M(L_1/L) \\ Z=Z_0 \\ V=V_0 \\ g_{ind}=(g_{ind})_k; \quad k=1,2,\dots,k_E \\ (L_1/L)_{\min} \leq L_1/L \leq (L_1/L)_{\max} \end{array} \right. \quad (3.69)$$

ca algoritm de optimizare, algoritmul explorării.

Constructiv raportul  $L_1/L$  este supraunitar. Și de data aceasta este de preferat ca alegerea valorii critice  $(L_1/L)_0$  să se facă de către proiectant în baza valorilor  $(L_1/L)_{0,k}$  prin prelucrare statistică.

c) Se generează funcția (3.56) și folosind același algoritm ca cei de la aliniatul b) se determină grosimea critică  $(g_{ind})_0$  a indusului feromagnetic, care conduce la cuplul specific maxim.

d) Cu valorile obținute  $Z_0, V_0, (L_1/L)_0, (g_{ind})_0$  se calculează caracteristicile mecanice și de putere ale cuplaajului, respectiv frânei electromagnetice cu alunecare, în conformitate cu precizările de la aliniatele h), i), j) de la subcap. 3.2.2.

Făcînd o apreciere critică asupra celor două metode de optimizare, din punct de vedere al costului rularii pe calculator și al timpului pe care trebuie să-l afecteze proiectantul pentru rezolvarea optimizării cuplaajului, se poate spune că :

- metoda numerică este expeditivă, dar afectează o parte mai mare din memoria operativă a calculatorului, timpul de rulare este mai mare și deci costul rularii pe calculator mai ridicat;

- metoda grafo numerică este mai ieftină din punct de vedere al costului rularii pe calculator, însă proiectantul trebuie să-i consacre un timp mai mare pentru prelucrarea datelor calculate.

În altă ordine de idei, metoda numerică poate conduce la un rezultat eronat dacă domeniile de definiție pentru variabilele se aleg incorect, rezultând în felul acesta o cheltuială suplimentară nejustificată.

Pentru optimizarea cuplajelor electromagnetice cu alunecare realizate în cadrul tezei de doctorat, am ales metoda grafo-numerică, dat fiind costul redus al rulării pe calculator.

### 3.3. Utilizarea metodei straturilor la studiul influenței unui strat de metal neferomagnetic de grosime $g_{nef}$ și rezistivitate

$\rho_{nef}$  aplicat pe suprafața indusului înspre întrefier, asupra caracteristicilor de funcționare a cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare.

#### 3.3.1. Scopul urmărit.

Prin analogie cu mașina<sup>a</sup> sincronă cu rotorul în scurtcircuit, depunerea unui strat din metal neferomagnetic pe suprafața înspre întrefier a indusului, va conduce la obținerea unei caracteristici mecanice mai rigide, cu valori mai ridicate pentru cuplul critic față de un cuplaj cu indus masiv feromagnetic. Realizarea unei caracteristici mecanice dorite presupune determinarea grosimii stratului de metal neferomagnetic, respectiv luarea în considerare a unor metale neferomagnetice cu valori dorite pentru rezistivitatea electrică.

În condițiile proiectării unei frâne electromagnetice cu alunecare, dimensiunile stratului neferomagnetic, respectiv rezistivitatea electrică a acestuia, trebuie să fie determinate astfel încât cuplul critic corespunzător caracteristicii mecanice să se găsească la alunecarea critică  $s_k=1$ .

Așa cum s-a precizat și la subcapitolul 3.2.1. optimizarea cuplajului și calculul caracteristicilor mecanice și de putere se face pe calculator, utilizând de data aceasta metoda grafo-numerică.

Stratul de metal neferomagnetic (de regulă cuprul sau aluminiul) se caracterizează prin grosimea  $g_{nef}$  fig.3.10, conductivitatea electrică  $\sigma_1$  și permeabilitatea magnetică echivalentă  $\mu_1$ , calculate cu relația (3.70):

$$\mu_1 = \mu_0 \frac{\epsilon_{nef}}{\epsilon_{nef} + \sigma_0} \quad (3.70)$$

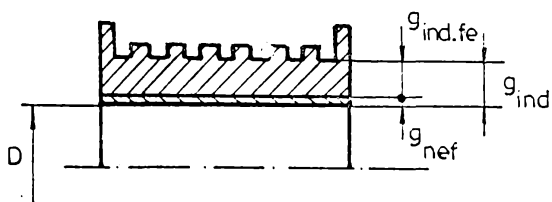


Fig.3.10. Explicativă privind grosimea indusului feromagnetic  $g_{ind.fe}$  și grosimea totală a indusului  $g_{ind}$ .

### 3.3.2. Particularități create de luarea în considerare a stratului de metal neferomagnetic.

Dacă se consideră că indusul cuplajului se divide în  $S$  straturi, atunci primul strat cu grosimea :

$$\lambda_1 = \delta_1 = \epsilon_{nef} \quad (3.71)$$

este stratul de metal neferomagnetic.

În cazul în care indusul feromagnetic are o grosime  $g_{ind.fe}$  inferioară adâncimii de pătrundere a câmpului electromagnetic, aceasta se divide în  $S-2$  straturi, iar ultimul strat de grosime infinită se consideră a fi aer cu permeabilitatea magnetică  $\mu_0$ . Dacă însă grosimea indusului feromagnetic  $g_{ind.fe}$  este mai mare decât adâncimea de pătrundere a câmpului electromagnetic, acesta se divide pe o adâncime  $y_k$  în  $S-2$  straturi, stratul ultim adică al  $S$ -lea se consideră a fi de grosime infinită și cu permeabilitatea magnetică calculată pe suprafața de separație dintre stratul  $S-1$  și stratul  $S$  înspre interior.

Relațiile de calcul pentru  $\delta_i$  și  $\lambda_i$  sînt similare cu cele de la subcapitolul 3.1.1. aplicîndu-se aceleași criterii de divizare a indusului.

Ecuațiile cîmpului electromagnetic în indus, ținînd seama de prezența stratului din metal neferomagnetic, devin :

$$\begin{aligned}
 -j \frac{\pi}{8} (\underline{C}_1 + \underline{PC}_1) &= \underline{B} \delta e \\
 -\frac{k_0}{\mu_0} (\underline{C}_1 - \underline{PC}_1) - j \frac{k_1}{\omega \sigma_1 \mu_1} (\underline{C}_2 - \underline{PC}_2) &= 0 \\
 -\frac{\pi}{8} \frac{1}{\omega \sigma_1} (\underline{C}_2 + \underline{PC}_2) &= \underline{B} \delta e \\
 \frac{1}{\sigma_1} \left[ \underline{C}_2 \exp(k_1 \lambda_1) + \underline{PC}_2 \exp(-k_1 \lambda_1) \right] - \frac{1}{\sigma} \left[ \underline{C}_3 \exp(k_2 \lambda_1) + \right. \\
 \left. + \underline{PC}_3 \exp(-k_2 \lambda_1) \right] &= 0 \\
 -\frac{k_1}{\mu_1 \sigma_1} \left[ \underline{C}_2 \exp(k_1 \lambda_1) - \underline{PC}_2 \exp(-k_1 \lambda_1) \right] + \frac{k_2}{\mu_2 \sigma} \left[ \underline{C}_3 \exp(k_2 \lambda_1) - \right. \\
 \left. - \underline{PC}_3 \exp(-k_2 \lambda_1) \right] &= 0 \tag{3.72}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \underline{C}_i \exp(k_{i-1} \lambda_{i-1}) + \underline{PC}_i \exp(-k_{i-1} \lambda_{i-1}) - \underline{C}_{i+1} \exp(k_i \lambda_{i-1}) - \\
 - \underline{PC}_{i+1} \exp(-k_i \lambda_{i-1}) &= 0 \\
 -\frac{k_{i-1}}{\mu_{i-1}} \left[ \underline{C}_i \exp(k_{i-1} \lambda_{i-1}) - \underline{PC}_i \exp(-k_{i-1} \lambda_{i-1}) \right] + \frac{k_i}{\mu_i} \left[ \underline{C}_{i+1} \cdot \right. \\
 \left. \cdot \exp(k_i \lambda_{i-1}) - \underline{PC}_{i+1} \exp(-k_i \lambda_{i-1}) \right] &= 0
 \end{aligned}$$

pentru  $i=3 \div S$ , și  
 $\underline{C}_{S+1} = 0$ .

Elementele matricei  $\underline{a}_{i,j}$  sînt aceleași din (3.14), diferă numai elementele  $\underline{a}_{2,3}$ ;  $\underline{a}_{2,4}$ ;  $\underline{a}_{3,3}$ ;  $\underline{a}_{3,4}$ ;  $\underline{a}_{4,3}$ ;  $\underline{a}_{4,4}$ ;  $\underline{a}_{4,5}$ ;  $\underline{a}_{4,6}$ ;  $\underline{a}_{5,3}$ ;  $\underline{a}_{5,5}$ ;  $\underline{a}_{5,6}$  care se calculează cu relațiile :

$$\left\{ \begin{aligned}
 \underline{a}_{2,3} &= -j \frac{k_1}{\omega \sigma_1 \mu_1} \\
 \underline{a}_{2,4} &= \underline{a}_{2,3} \\
 \underline{a}_{3,3} &= -\frac{\pi}{8 \omega \sigma_1} \\
 \underline{a}_{3,4} &= \underline{a}_{3,3} \\
 \underline{a}_{4,3} &= \frac{1}{\sigma_1} \exp(k_1 \lambda_1)
 \end{aligned} \right. \tag{3.73}$$

$$\underline{a}_{4,4} = \frac{1}{\sigma_1} \exp(-\underline{k}_1 \lambda_1)$$

$$\underline{a}_{4,5} = -\frac{1}{\sigma} \exp(\underline{k}_2 \lambda_1)$$

$$\underline{a}_{4,6} = -\frac{1}{\sigma} \exp(-\underline{k}_2 \lambda_1)$$

$$\underline{a}_{5,3} = -\frac{\underline{k}_1}{\mu_1 \sigma_1} \exp(\underline{k}_1 \lambda_1)$$

$$\underline{a}_{5,4} = \frac{\underline{k}_1}{\mu_1 \sigma_1} \exp(-\underline{k}_1 \lambda_1)$$

$$\underline{a}_{5,5} = \frac{\underline{k}_2}{\mu_2 \sigma} \exp(\underline{k}_2 \lambda_1)$$

$$\underline{a}_{5,6} = -\frac{\underline{k}_2}{\mu_2 \sigma} \exp(-\underline{k}_2 \lambda_1)$$

Marimea  $\underline{k}_1$  se determină din :

$$\underline{k}_1 = \sqrt{\left(\frac{\pi}{\delta}\right)^2 + j \sigma_1 \mu_1 \omega} \quad (3.74)$$

3.3.3. Optimizarea cuplajelor și frinelor electromagnetice cu alunecare de tip homopolar cu indus masiv feromagnetic, avînd depus pe indus înspre interior un strat de metal neferomagnetic și determinarea caracteristicilor de funcționare.

Intrucît se urmărește să se determine influența grosimii și rezistivității stratului de metal neferomagnetic asupra caracteristicilor de funcționare a cuplajului cu indus masiv feromagnetic deja optimizat, la care s-au determinat valorile optime  $Z_0$ ,  $v_0$ ,  $(L_i/L)_0$  și  $(g_{ind})_0$ , se acceptă aceste valori și pentru noul cuplaj ca date preliminare de calcul.

Calculul de optimizare și de determinare a caracteristicilor de funcționare parcurge următoarele etape:

a) Se generează funcția :

$$M = M(s) \begin{cases} \rho_{nef} = ct \\ \varepsilon_{nef} = (\varepsilon_{nef})_i ; i=1, 2, \dots, i_m \end{cases} \quad (3.75)$$

Se calculează numeric valorile cuplului în funcție de alunecarea  $s$  pe domeniul de definiție și se trasează grafic caracteristicile mecanice obținute  $M=M(s)$ , avînd ca parametru grosimea stratului de metal neferomagnetic  $\delta_{nef}$ . Se determină pentru fiecare caracteristică valoarea cuplului critic  $M_k$  și alunecarea critică  $s_k$  corespunzătoare. Se trasează în continuare caracteristica :

$$\delta_{nef} = \delta_{nef}(s_k) \Big|_{M_k = ct} \quad (3.76)$$

și se determină grosimea stratului de metal neferomagnetic care determină cuplul critic  $M_k$  la alunecarea critică  $s_k=1$ , în vederea funcționării optime a cuplajului în regim de frînă cu indusul imobil. În acest sens mărimea  $i_m$  trebuie să fie mai mare sau egală cu trei pentru a se putea trasa curba dată prin relația (3.76).

b) Se generează funcția :

$$M=M(s) \Big| \begin{array}{l} \delta_{nef} = ct \\ \rho_{nef} = (\rho_{nef})_j; \quad j=1,2,\dots,j_m \end{array} \quad (3.77)$$

Se calculează numeric valorile cuplului în funcție de alunecarea  $s$  pentru domeniul de definiție și se trasează grafic caracteristicile mecanice  $M=M(s)$  obținute, avînd ca parametru rezistivitatea stratului de metal neferomagnetic. Se analizează posibilitatea înlocuirii cuprului cu metale neferomagnetice. Se analizează posibilitatea înlocuirii cuprului cu metale neferomagnetice mai puțin deficitare.

c) Se generează funcția:

$$M=M(s) \Big| \begin{array}{l} \delta_{nef} = ct \\ \rho_{nef} = ct \\ \delta_{ind.fe} = (\delta_{ind.fe})_k; \quad k=1,2,\dots,k_m \end{array} \quad (3.78)$$

Se calculează numeric cuplul în funcție de alunecare pentru diferite grosimi ale indusului feromagnetic, urmărind să se



determine grosimea indusului feromagnetic care asociată cu stratul de metal neferomagnetic conduce la o caracteristică mecanică apropiată de cea a cuplajului optimizat cu indus masiv feromagnetic. In felul acesta se obține un cuplaj cu indus de masă mai redusă și care se pretează la acționări cu regimuri tranzitorii de scurtă durată.

d) Se generează funcțiile:

$$\left. \begin{aligned} M_{sp} &= M_{sp}(g_{ind.fe}) \\ M_{sp} &= M_{sp}(V) \\ M_{sp} &= M_{sp}(Z) \\ M_{sp} &= M_{sp}(L_i/L) \end{aligned} \right\} \begin{aligned} & i_e = i_{en}; \rho_{nef} = ct; \varepsilon_{nef} = ct. \\ & s = s_i; i = 1, 2, \dots, i_m; s_{i_m} < s_{i_1} \end{aligned} \quad (3.79)$$

Se determină valorile optime  $(g_{ind.fe})_0; V_0, Z_0, (L_i/L)_0$  care conduc la cuplul specific maxim. Se compară valorile obținute cu cele luate preliminar în calcul și care au aparținut cuplajului optimizat cu indus masiv feromagnetic.

e) Se generează funcția :

$$\left. \begin{aligned} M &= M(s, i_e) \end{aligned} \right\} \begin{aligned} & \rho_{nef} = ct; \varepsilon_{nef} = ct \\ & (g_{ind.fe})_0; (L_i/L)_0, V_0, Z_0 \end{aligned} \quad (3.80)$$

Se calculează numeric cuplul în funcție de alunecare pentru diferite valori ale curentului de excitație și se trasează grafic caracteristicile mecanice  $M=M(s)$  avînd ca parametru curentul de excitație. In planul caracteristicilor mecanice se delimitază porțiunile admise în funcționare prin trasarea curbei pierderilor de putere maxime admise în indus.

r) Se generează funcțiile :

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= P_1(s, i_e) \\ P_2 &= P_2(s, i_e) \\ \Delta P &= \Delta P(s, i_e) \end{aligned} \right\} \begin{aligned} & \rho_{nef} = ct; \varepsilon_{nef} = ct \\ & (g_{ind.fe})_0; (L_i/L)_0, V_0, Z_0 \end{aligned} \quad (3.81)$$

Se calculează numeric puterile  $P_1, P_2$  și  $\Delta P$  pentru diferite alunecări din domeniul de definiție și pentru diferite valori ale curentului de excitație se trasează caracteristicile de putere  $P_1=P_1(s)$ ;  $P_2=P_2(s)$ ;  $\Delta P=\Delta P(s)$  avînd ca parametru curentul de excitație  $i_e$ . Se delimitează porțiunile admise în funcționare prin trasarea dreptei pierderilor maxime de putere în indus.

#### CAPITOLUL IV

### APLICAREA METODEI STRATURILOR LA CALCULUL CUPLAJULUI ELECTROMAGNETIC CU ALUNECARE DE TIP HOMOPOLAR CEAH-60/1000

#### 4.1. Necesitatea realizării cuplajului.

Macaraua portal de la secția Aglomerator nr.1 din cadrul C.S.Hunedoara este acționată prin intermediul unor motoare de curent continuu, alimentate cu energie electrică de la un grup motor-generator MA-GCC amplasat pe platforma macaralei. Grupul motor-generator are în componența sa un motor asincron MA de mare putere alimentat la rândul său prin cabluri flexibile de pe barele de 0,4 kV ale unui post de transformare aflat la sol.

Pornirea grupului motor-generator prezintă probleme deosebite din cauza valorii ridicate a curentului de pornire. Acest lucru a impus pentru grup un regim de funcționare permanentă cu opriri numai pentru revizii anuale, rezultând o durată de funcționare în gol de pînă la 90 % din timpul total de funcționare.

Pentru ușurarea pornirii și reducerea deci a pierderilor de mers în gol, s-a impus realizarea unui cuplaj electromagnetic cu alunecare de tip homopolar, prin intermediul căruia să se imprimе rotoarelor celor două mașini o turație corespunzătoare, astfel încît să fie posibilă cuplarea directă a motorului asincron MA la rețeaua de 0,4 kV.

Schema propusă pentru acționare este cea din fig.4.1, unde MA<sub>1</sub> este un motor asincron de mică putere.

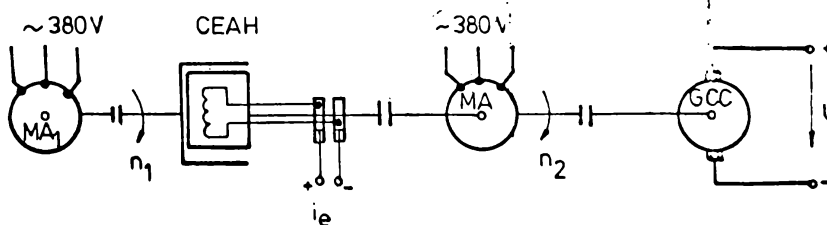


Fig.4.1. Pornirea grupului motor-generator folosind cuplaj electromagnetic cu alunecare.

4.2. Determinarea dimensiunilor geometrice  
preliminare pentru cuplajul electromagne-  
tic cu alunecare de tip homopolar.

4.2.1. Datele de funcționare caracteristice ale  
cuplajului necesar.

În urma analizei schemei de acționare s-au impus ca date de funcționare caracteristicele următoare:

- turația nominală a indusului (egală cu turația motorului de acționare  $MA_1$  și cu turația nominală a motorului asincron MA din cadrul grupului MA-GCC)..... $n_1=1000$  rot/min ;

- cuplul nominal transmis de cuplaj (la o alunecare  $s=0,3$  și curent de excitație nominal, calculat astfel încât rotorele grupului MA-GCC să ajungă la o turație de 70 % din turația nominală, după un timp de 1 minut de la pornire).....

$$M_n = 60 \text{ N}\cdot\text{m}$$

- cuplul maxim pe care cuplajul poate să-l transmită (la o alunecare  $s_{p.\max}=0,45$  și curent de excitație nominal, astfel încât temperatura indusului să nu depășească valoarea maximă admisă)..... $M_{p.\max}=70 \text{ N}\cdot\text{m}$

- diametrul interior al indusului (estimat astfel încât cuplajul să se încadreze într-o anumită cotă de gabarit radială, adică distanța dintre axul grupului MA-GCC și fundația existentă)..... $D=0,295 \text{ m}$

- răcirea indusului în aer.

Cuplajul realizat în baza datelor de funcționare prezentate mai sus a fost simbolizat CEAH-60/1000, semnificația simbolului fiind Cuplaj Electromagnetic cu Alunecare de tip Homopolar, având cuplul nominal de 60 N·m (la o alunecare  $s=0,3$ ) și turația indusului de 1000 rot/min, turație ce limitează pierderile maxime de putere în indus.

Ca material feromagnetic pentru realizarea circuitului magnetic (indus și inductor) a fost folosit oțelul carbon OT 40 al cărui curbă de magnetizare ridicată experimental cu

un permeamtru Ilcovici este prezentată în anexa B. În fig. B<sub>1</sub> din anexă sînt prezentate curbele de variație a permeabilității magnetice  $\mu$  în funcție de intensitatea cîmpului magnetic H, respectiv în funcție de inducția magnetică B. În tabelul B<sub>1</sub> din aceeași anexă, aceleași curbe sînt date printr-un număr de 30 de puncte, în felul acesta ele fiind utilizate la determinarea lui  $\mu$  prin interpolare polinomială în procesul de calcul pe calculator.

Înafara datelor prezentate mai sus, la proiectarea pe calculator, pentru determinarea principalelor dimensiuni geometrice preliminare, s-au mai impus următoarele :

- inducția magnetică sub dinte.....  $B_d = 1,15 \text{ T}$ ;
- numărul de dinți.....  $Z \approx 8$  ;
- raportul dintre lățimea dintelui și dublul pas polar.....  $V = 0,3$
- întrefierul.....  $\delta_0 \approx 0,001 \text{ m}$ ;
- numărul de straturi de divizare a indusului...  $S \approx 5$  ;
- eroarea relativă cu care se calculează  $\mu$  în procesul de calcul iterativ.....  $\varepsilon_1 = 10^{-3}$
- rezistivitatea indusului calculată pentru o temperatură de funcționare de  $120^\circ\text{C}$ .....  $\rho = 24 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega \cdot \text{m}$
- coeficientul care ține seama de efectul de capăt /31/.....  $\gamma = 1,2$  ;
- coeficientul care ține seama de căderea de tensiune magnetică în circuitul magnetic al cuplajului, utilizat la determinarea solenității totale /31/.....  $\alpha = 1,3$

#### 4.2.2. Considerente de bază pentru alegerea principalelor dimensiuni geometrice.

Principalele dimensiuni geometrice se determină din considerente termice și considerente electromagnetice, luîndu-se în considerare valorile acoperitoare pentru ambele situații.

##### a) Considerente termice.

Cuplajul electromagnetic cu alunecare funcționează cu pierderi de energie electrică în indus, care se transformă în căldură și conduc la încălzirea acestuia. Disiparea căldurii din indus se face de regulă prin convecție, forțată fiind de prezența mișcă-

rii relative a indusului în raport cu aerul din atmosferă. Din aceste considerente, indusul trebuie legat la motorul de acționare. Prin urmare, cuplul maxim  $M_{p,max}$  transmis prin cuplaj de la motorul de acționare ( $MA_1$ ) la mașina de lucru ( $MA-GCC$ ) depinde de mărimea suprafeței exterioare a indusului în contact cu aerul, de viteza relativă dintre indus și aer, precum și de calitatea suprafeței indusului (indus cu suprafață netedă sau cu nervuri).

Folosind rezultatele experimentale și relațiile empirice din lucrarea /31/ și notînd cu :  $L_i$  - lungimea indusului;  $D_i$  - diametrul exterior al indusului;  $n_{2p,max}$  - turația inductorului la care se transmite prin cuplaj cuplul  $M_{p,max}$ ;  $n_1$  - turația motorului de acționare, deci și a indusului, se poate scrie relația (4.1) :

$$L_i = \frac{M_{p,max}(n_1 - n_{2p,max})}{\alpha D_i^{0,7} (\pi n_1)^{0,7}} \quad (4.1)$$

Constanta  $\alpha$  are valoarea  $\alpha = 1300$ , dacă turațiile se iau în (rot/s), cuplul în (N.m), dimensiunile geometrice în (m).

Relația (4.1) servește la determinarea lungimii  $L_i$  dacă se impune o valoare pentru  $D_i$  din considerente de gabarit sau invers, sau permite determinarea ambelor dimensiuni geometrice dacă se impune un anumit raport de suplețe a cuplajului:

$$k_2 = \frac{L_i}{D_i} \quad (4.2)$$

notînd cu :  $k_1$  - raportul dintre diametrul exterior  $D_i$  și cel interior  $D$  al indusului;  $k_3$  - raportul dintre lungimea indusului  $L_i$  și lungimea inductorului  $L$ ;  $k_5$  - raportul dintre lungimea activă a inductorului  $L_a$  și lungimea totală a acestuia, atunci :

$$D = \frac{D_i}{k_1} \quad (4.3)$$

$$L_{at} = \frac{k_5}{k_3} L_i$$

unde prin  $L_{at}$  s-a notat lungimea activă a inductorului calculată din considerente termice.

Valorile rapoartelor dintre dimensiunile geometrice ale cuplajului au fost apreciate după datele din literatura de specialitate /7,8,9,10,31/ și după datele de catalog ale firmelor consacrate în execuția unor astfel de cuplaje /48/, alegându-se:

- raportul  $k_1=1,1$
- raportul  $k_2=0,67$
- raportul  $k_3=1,1$
- raportul  $k_5=0,75$

b) Considerente electromagnetice

Analizând expresia (3.27) referitoare la cuplul electromagnetic transmis de cuplaj, se constată că valoarea acestuia, la scară dimensională reprezintă volumul geometric al cuplajului. Utilizând notațiile din aliniatul precedent, relația (3.27) referitoare la cuplu se mai poate scrie :

$$M = \beta D^2 L_a \quad (4.4)$$

Constanta  $\beta$  se determină în procesul de calcul pe calculator prin rezolvarea ecuațiilor câmpului electromagnetic din cuplaj. Impunând pentru cuplu valoarea nominală și ținând seama de rapoartele dintre dimensiunile geometrice ale cuplajului, din relația (4.4) rezultă valoarea lungimii active a inductorului  $L_{am}$  calculată din considerente electromagnetice. Se reține în continuare ca valoare de bază pentru lungimea activă a inductorului valoarea cea mai mare dintre  $L_{at}$  și  $L_{am}$  conform (3.25).

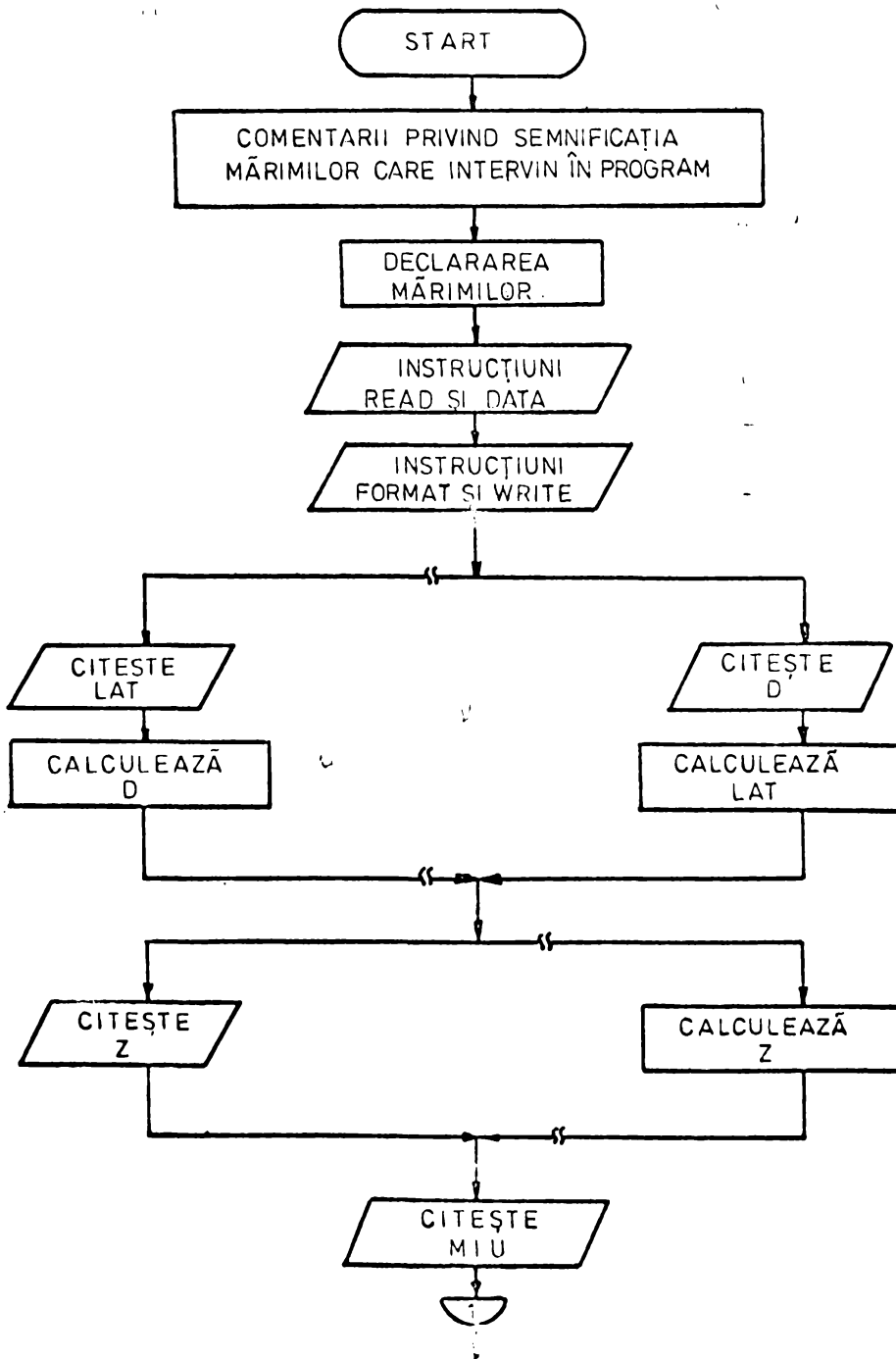
4.2.3. Schemă logică și program de calcul pentru calculul preliminar de dimensionare a cuplajelor electromagnetice cu alunecare de tip homopolar cu indus masiv feromagnetic.

Pentru determinarea dimensiunilor geometrice preliminare ale cuplajelor electromagnetice cu alunecare de tip homopolar cu indus masiv feromagnetic, a fost întocmită schema logică de calcul CEAHOO SI programul de calcul pe calculator în Fortran CEAHOO ambele de concepție originală, aparținând autorului. Schema logică și programul de calcul se bazează pe cele prezentate în cap. II și III precum și pe precizările din prezentul capitol. Schema logică de calcul este redată în fig. 4.2, iar programul de calcul în anexa D.

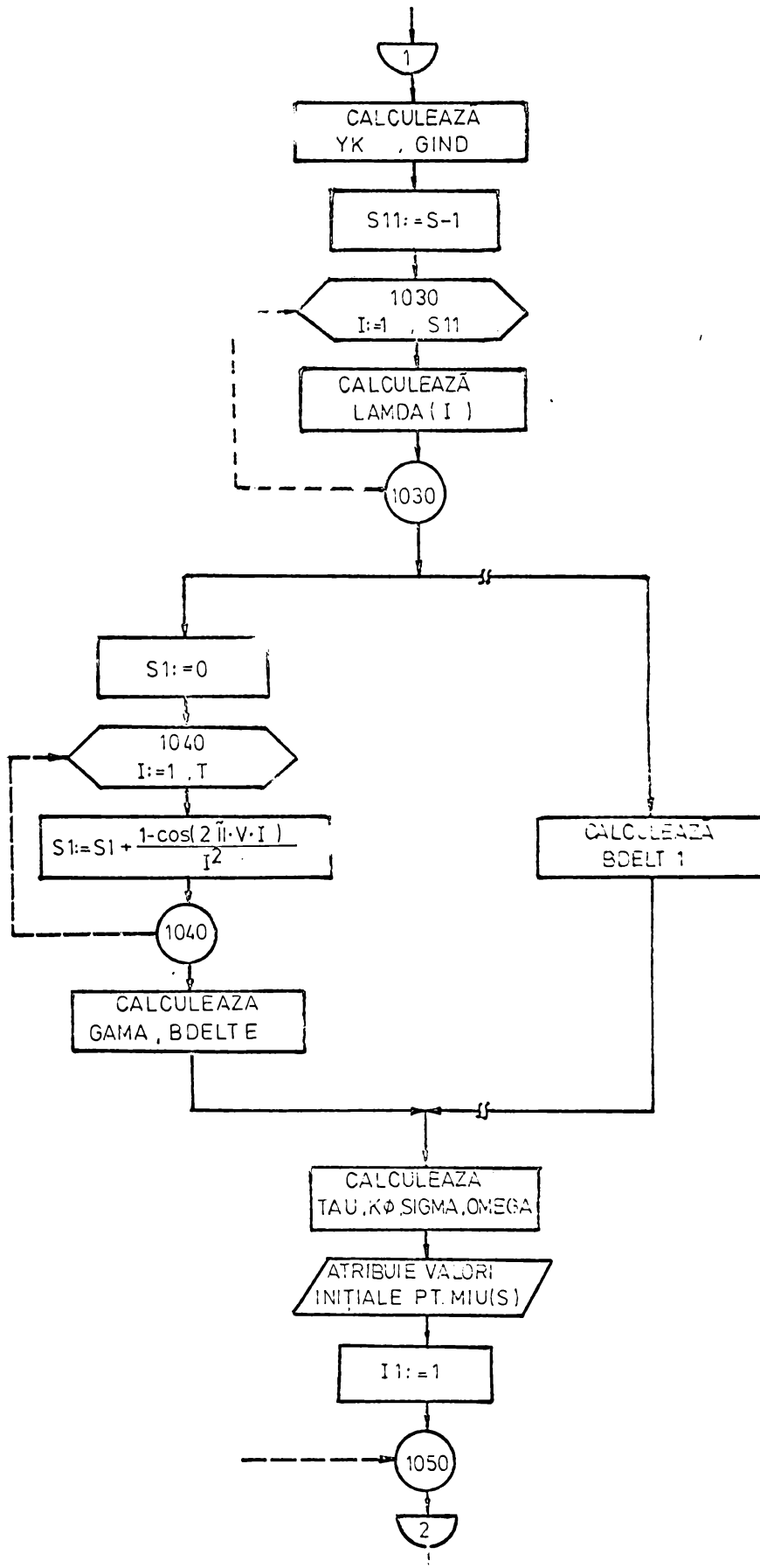
FIG. 4.2

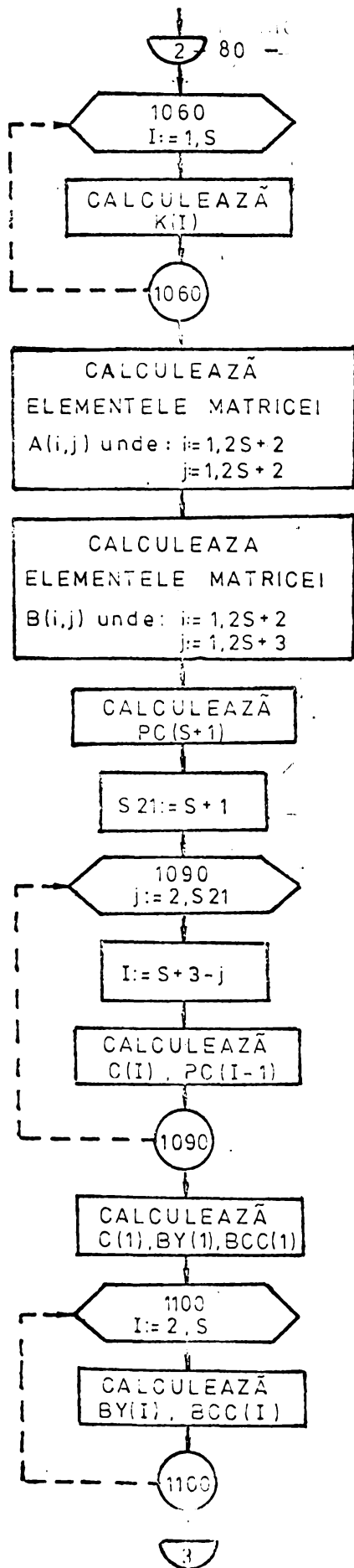
### SCHEMA LOGICĂ DE CALCUL CEAHOO

PENTRU CALCULUL PRELIMINAR AL CUPLAJELOR ȘI FRÎNELOR ELECTROMAGNETICE DE ALUNECARE DE TIP HOMOPOLAR CU INDUS MASIV FEROMAGNETIC FOLOSIND METODA STRATURILOR

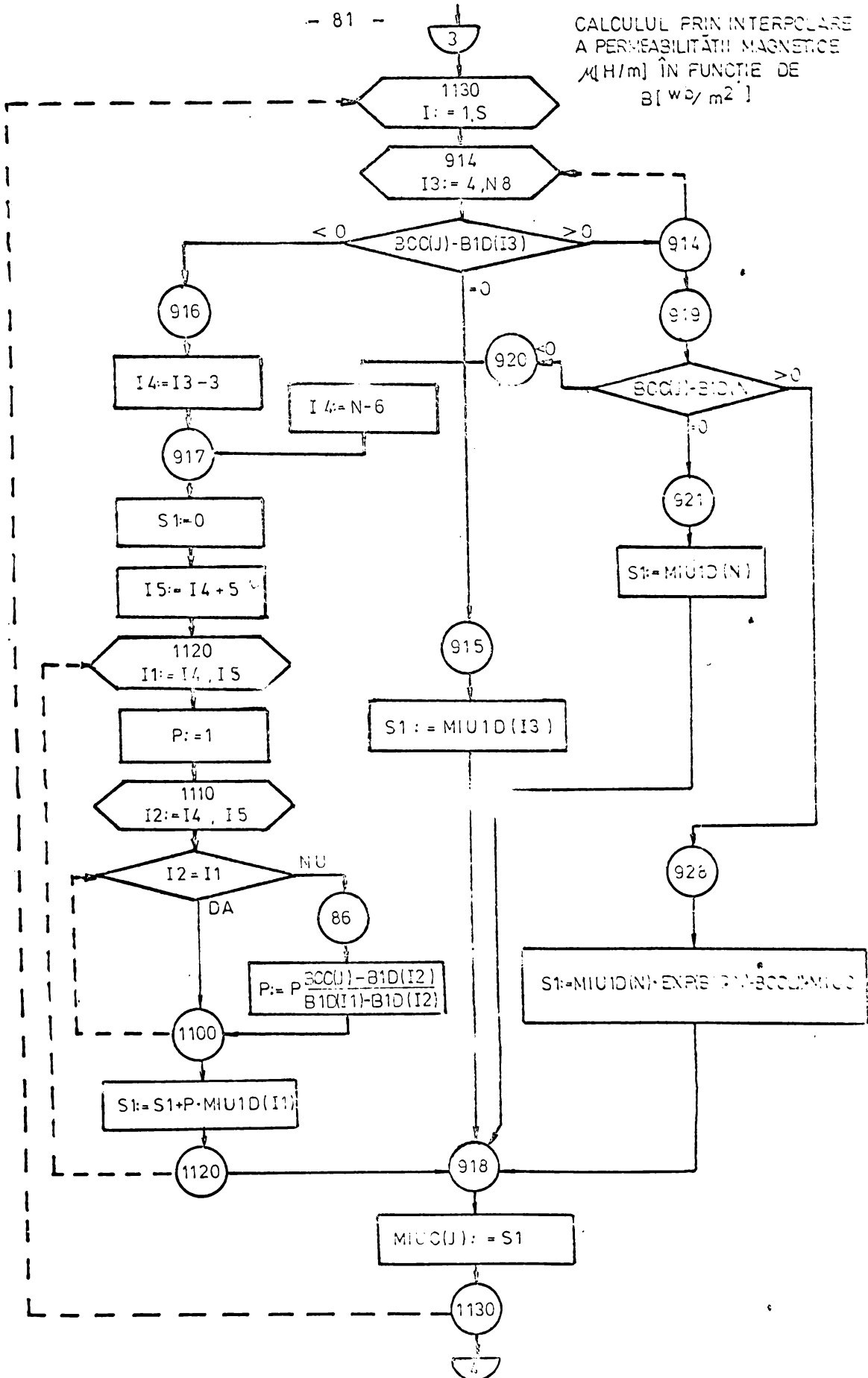


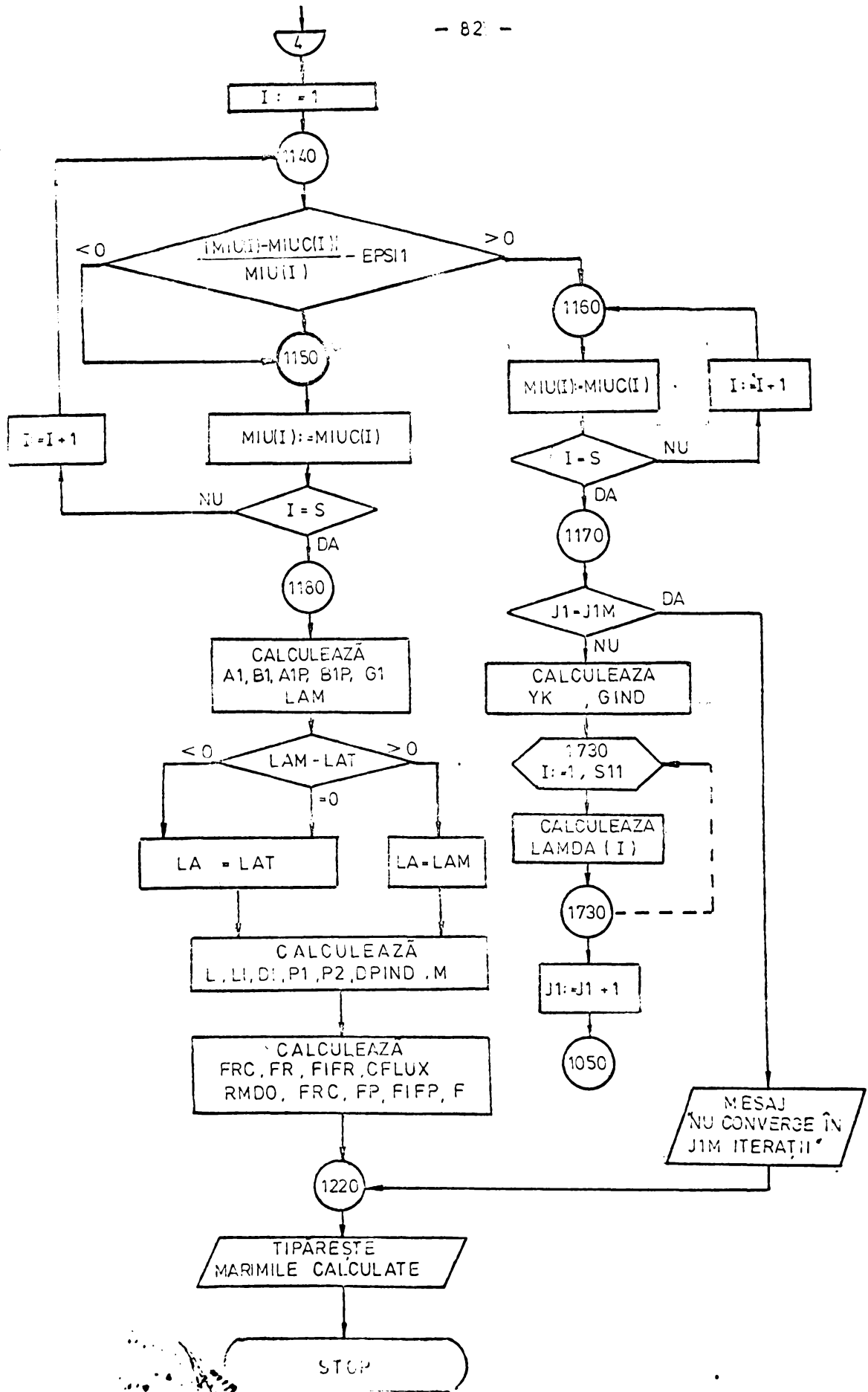






CALCULUL PRIN INTERPOLARE  
A PERMEABILITĂȚII MAGNETICE  
 $\mu$  (H/m) ÎN FUNCȚIE DE  
 $B$  [ $\text{wb}/\text{m}^2$ ]





- Prin schimbarea cartelelor de date cu altele corespunzătoare, programul de calcul CEAHOO poate fi utilizat la determinarea dimensiunilor geometrice preliminare pentru cuplajele electromagnetice cu alunecare de tip homopolar de orice putere și având circuitul magnetic realizat din materialul feromagnetic dorit. Programul prevede și posibilitatea aprecierii inițiale a numărului de dinți Z după relațiile prezentate în /31/, valoarea definitivă însă va fi precizată numai în etapa de optimizare a cuplajului.

#### 4.2.4. Dimensiuni preliminare calculate pentru cuplajul CEAH-60/1000

În urma rulării pe calculator a programului CEAHOO cu datele de funcționare caracteristice din paragraful 4.2.1, au rezultat principalele dimensiuni geometrice ale cuplajului CEAH-60/1000 și solenația totală a inductorului, după cum urmează :

$$D = 0,295 \text{ m}$$

$$L_a \hat{=} 0,145 \text{ m}$$

$$L \hat{=} 0,194 \text{ m}$$

$$F \hat{=} 4330 \text{ Aspire (} 2A \times 2165 \text{ spire)}$$

Lungimea indusului  $L_1$  și diametrul exterior al acestuia

$D_1$ , determinate (cu relațiile (4.2) și (4.3) ) din considerente termice și electromagnetice sînt minime, valoarea acestora ca și valorile pentru celelalte dimensiuni geometrice vor fi definitive în etapa de optimizare.

#### 4.3. Optimizarea cuplajului CEAH-60/1000

##### 4.3.1. Schema logică de calcul pentru optimizarea și determinarea caracteristicilor de funcționare ale cuplajelor electromagnetice cu alunecare de tip homopolar, cu indus masiv feromagnetic

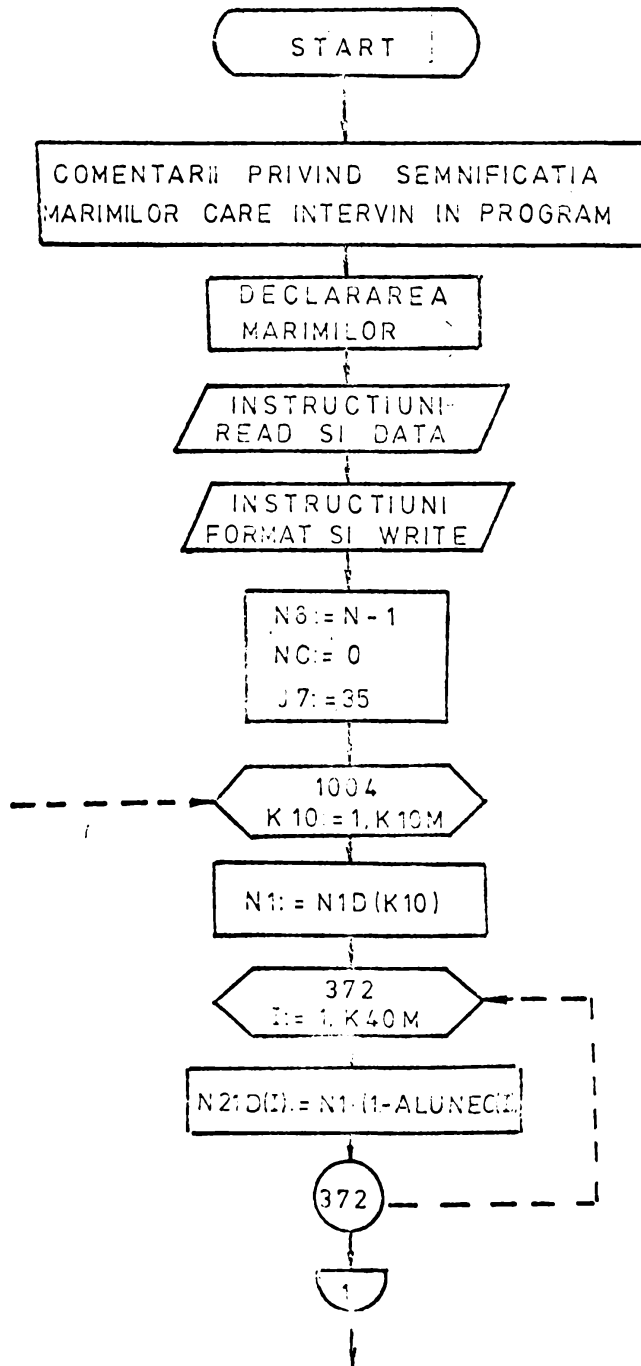
În vederea optimizării și determinării caracteristicilor de funcționare ale cuplajelor electromagnetice cu alunecare de tip homopolar, cu indus masiv feromagnetic, a fost întocmită schema logică CEAH01 prezentată în fig.4.3 și programul de calcul CEAH01 în Fortran prezentat în anexa E, ambele de concepție originală. Schema și programul CEAH01 se bazează pe metoda grafo-numerică

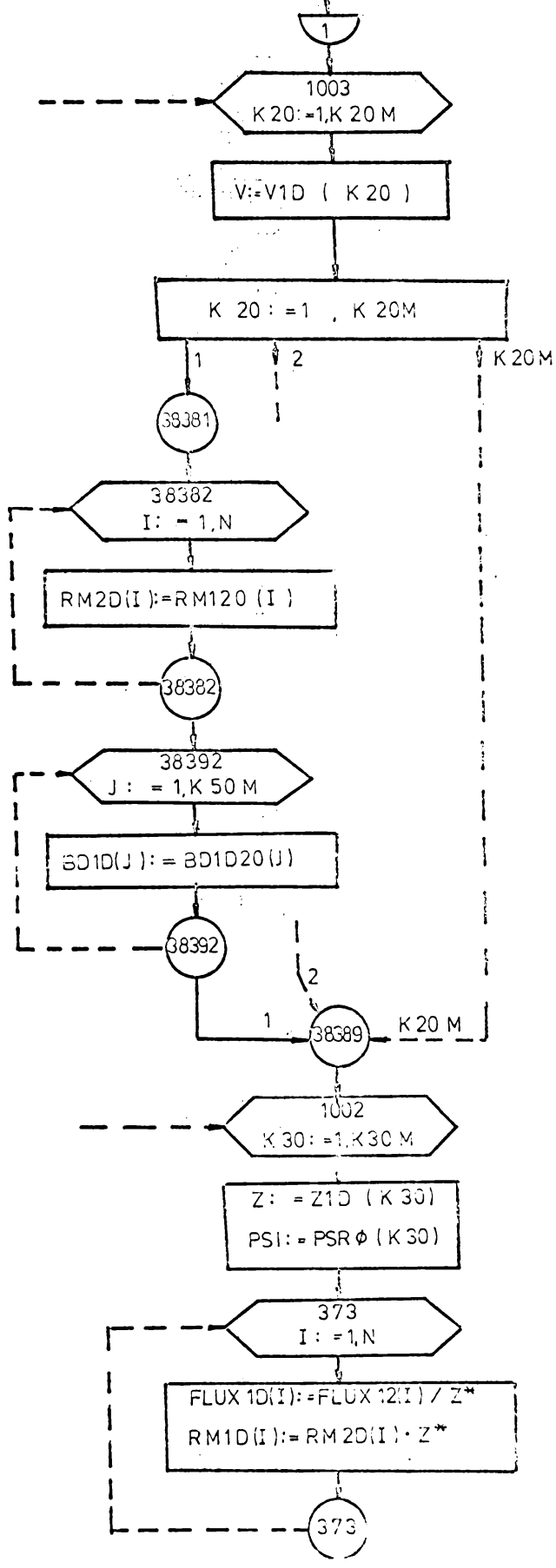
BUPT  
1980

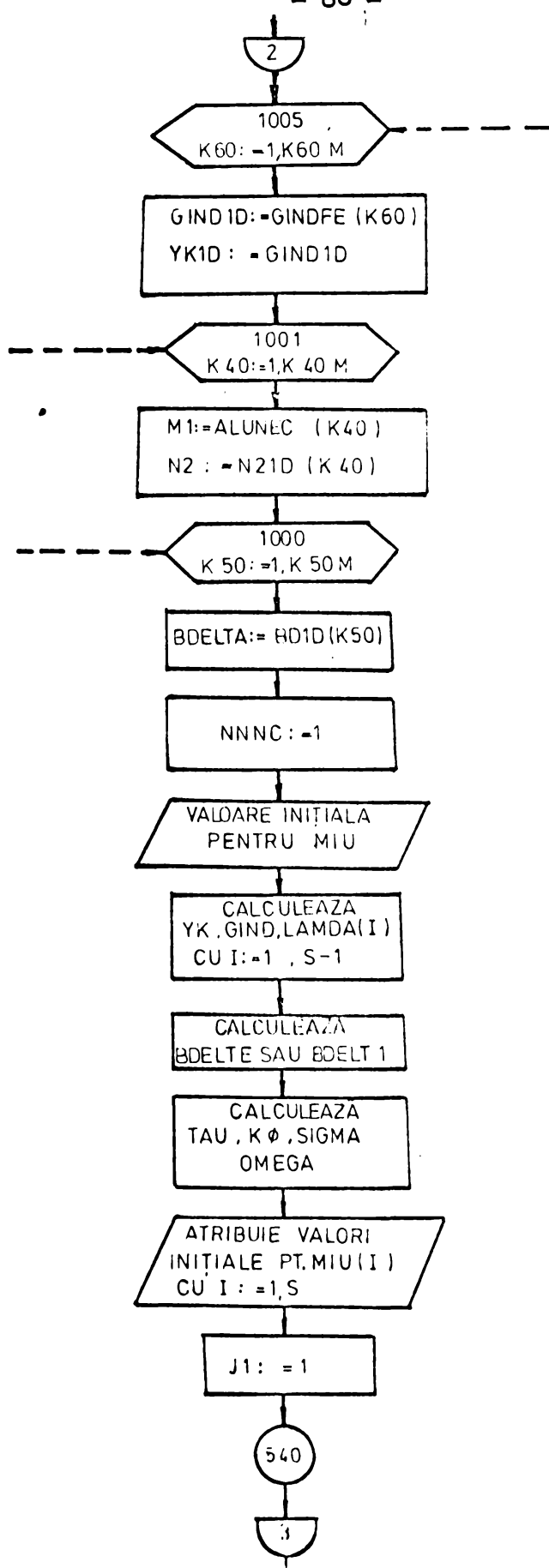
FIG. 4.3.

### SCHEMA LOGICĂ DE CALCUL CEAHO1

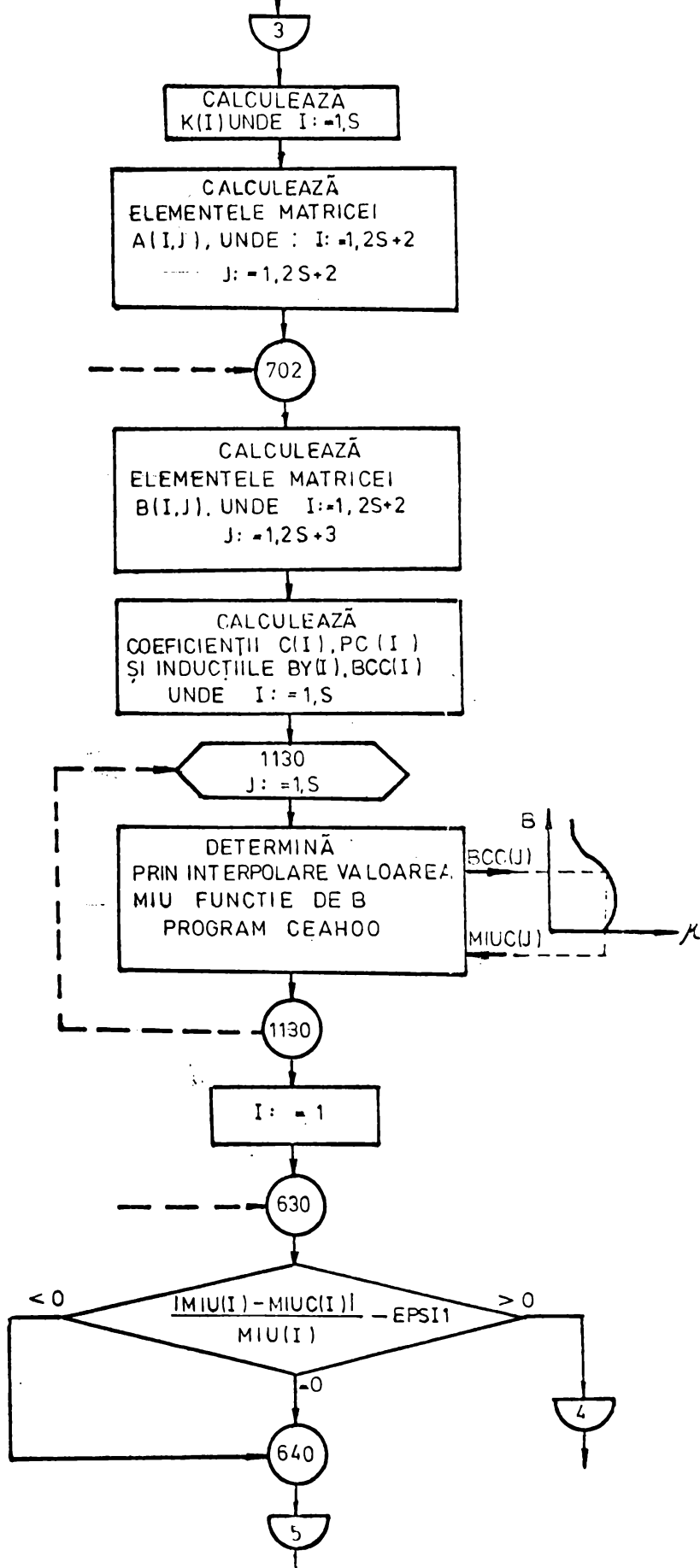
PENTRU OPTIMIZAREA SI DETERMINAREA CARACTERISTICILOR DE  
FUNCTIONARE ALE CUPLAJELOR SI FRÎNELOR ELECTROMAGNETICE  
CU ALUNECARE DE TIP HOMOPOLAR, CU INDUS MASIV FEROMAGNETIC  
FOLOSIND METODA STRATURILOR.

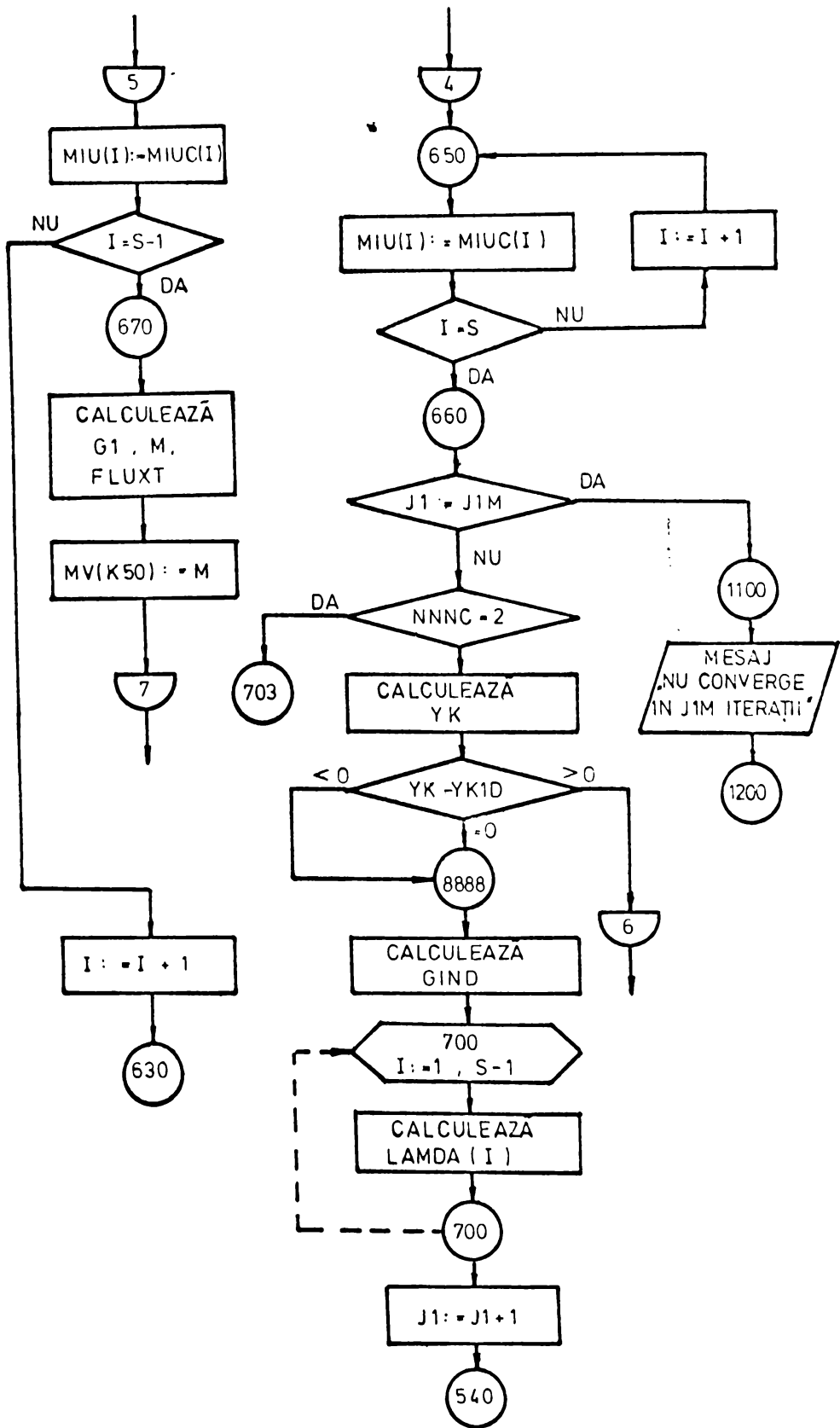


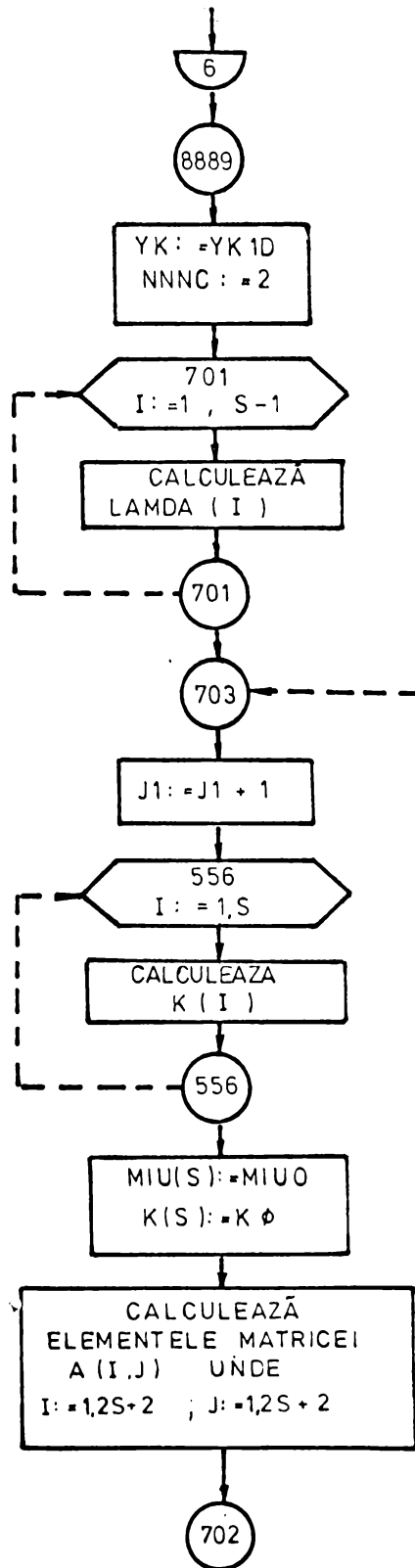


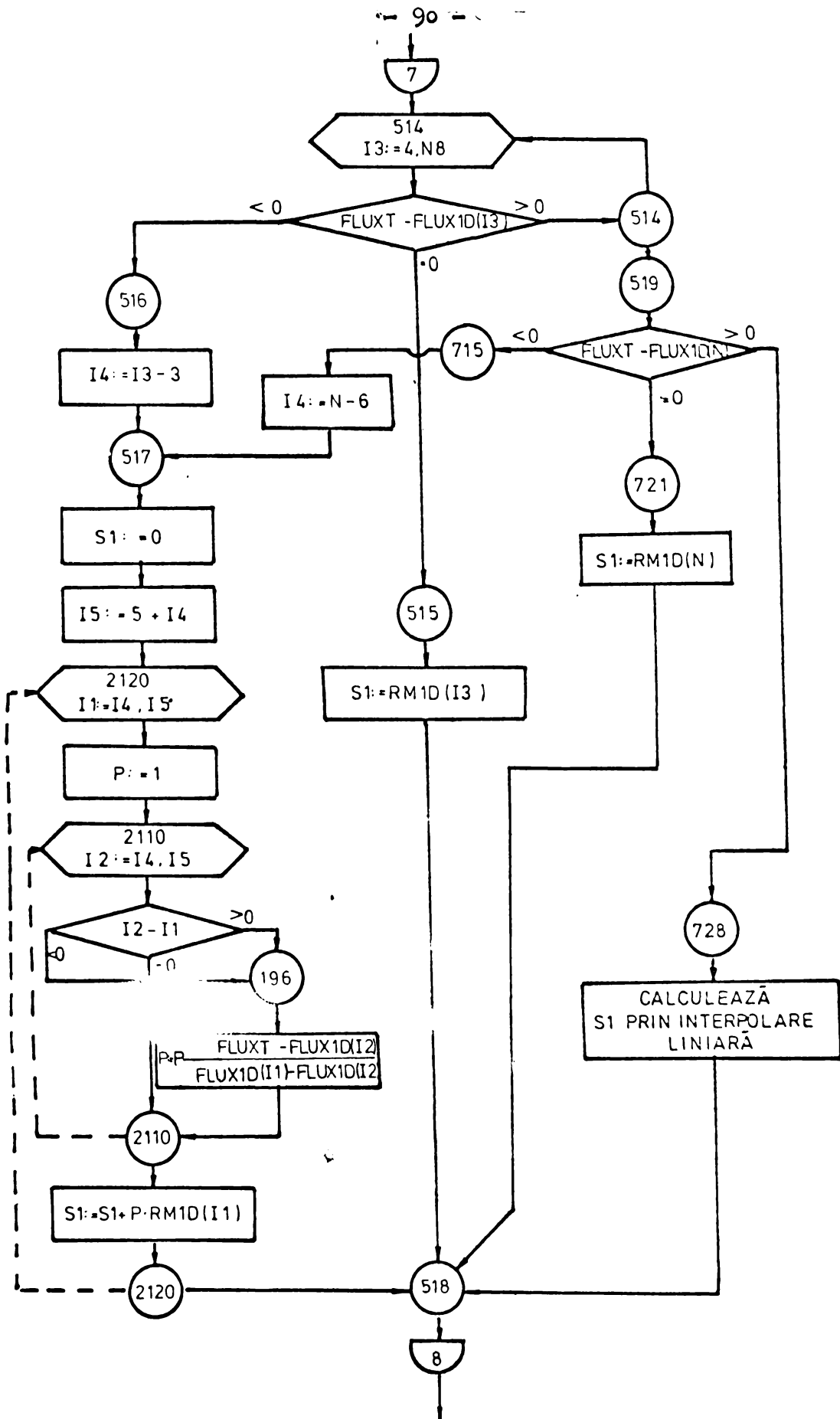


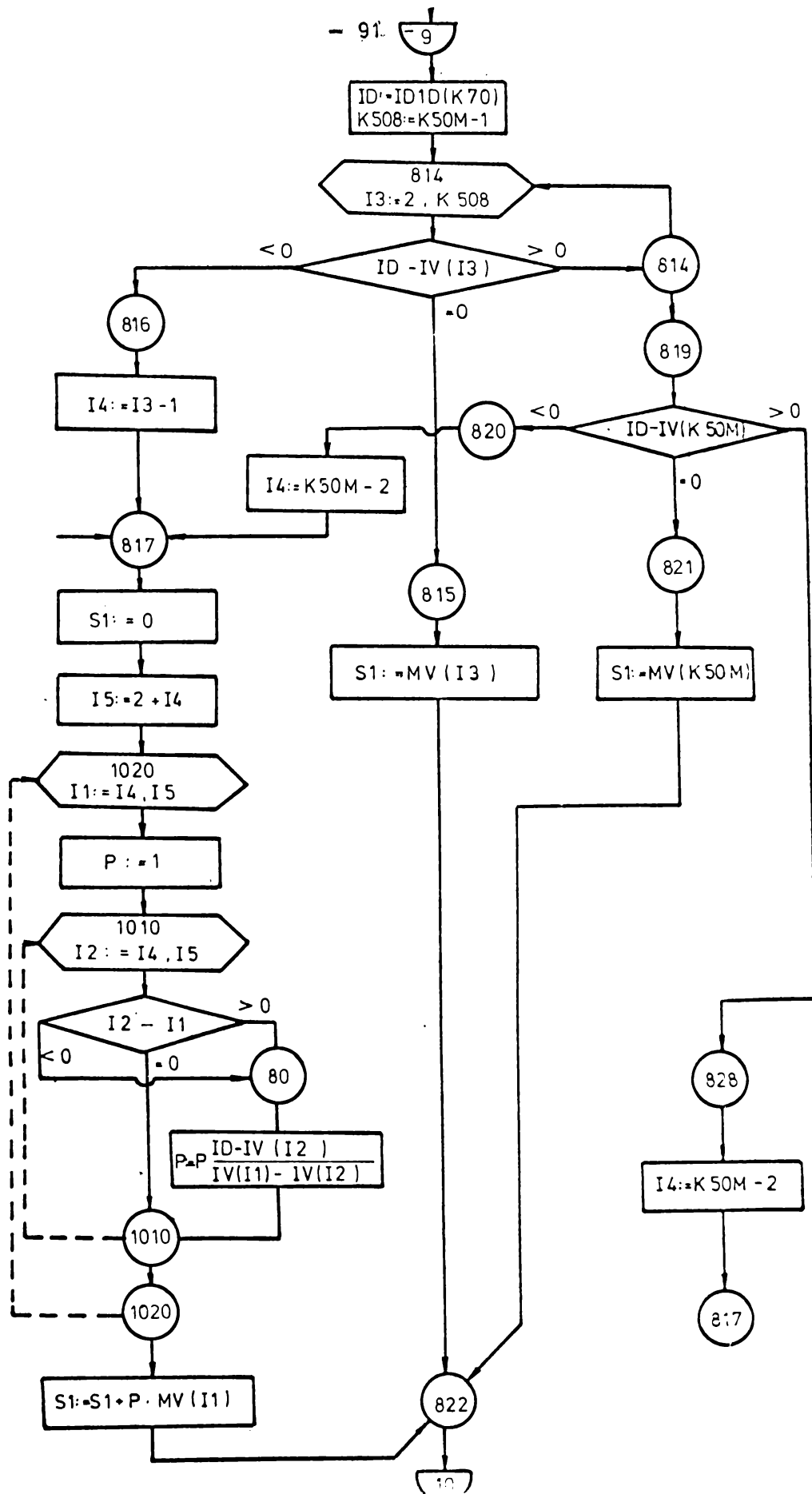


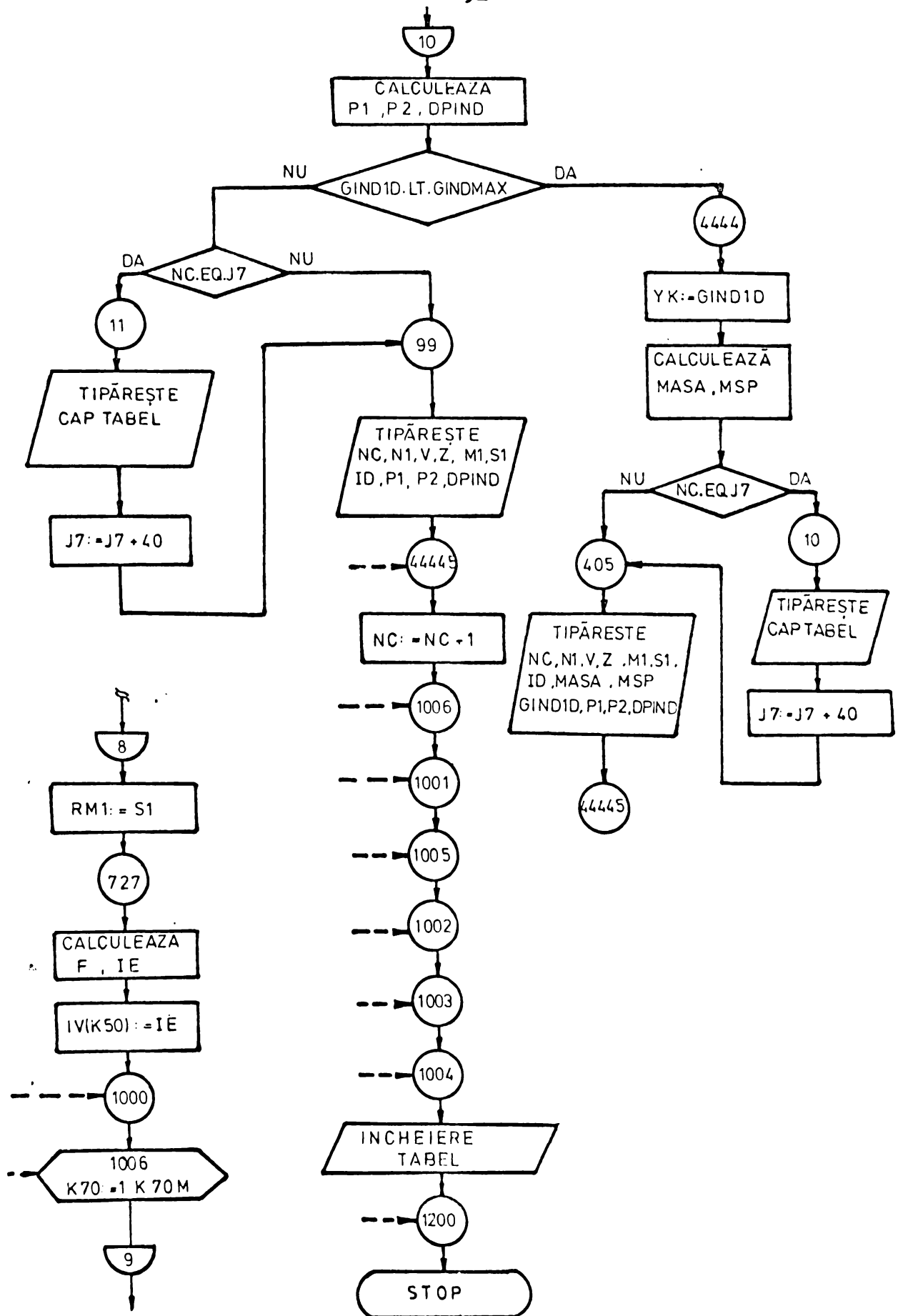












de optimizare a cuplajelor electromagnetice cu alunecare, expusă în paragraful 3.2.2.

Schema logică și programul de calcul CEAH01 permit obținerea parametrilor optimați ( numărul de dinți  $Z$ , raportul  $V$ , raportul  $L_1/L$ , grosimea indusului  $g_{ind}$ ) și dimensiunile geometrice definitive ale cuplajului din punct de vedere al asigurării unui cuplu specific maxim, precum și caracteristicile de funcționare în regim de cuplaj și frână conform (3.59), (3.62) și (3.65).

În continuare se fac câteva precizări referitoare la redactarea și utilizarea instrucțiunilor DATA din programul de calcul CEAH01.

a) Caracteristica de magnetizare a materialului feromagnetic din indus este introdusă prin vectorii MIUD și BID cu valorile din anexa B.

b) Dependența dintre reluctanța magnetică a inductorului  $R_{m1}$  și fluxul magnetic din inductor  $\phi$  este dată prin vectorii RM120, RM130, RM145, RM160 corespunzători valorilor 0,2/0,3/0,45/0,60 pentru raportul  $V$  și vectorul FLUX 12 calculat pentru  $Z=12$ .

În anexa C pentru cuplajul CEAH-60/1000 este prezentată printr-un număr de 30 puncte, curba reluctanței magnetice a inductorului  $R_{m1}$  funcție de valoarea fluxului magnetic  $\phi$  din inductor, ambele mărimi raportate la un pol magnetic și având ca parametru raportul  $V$  :

$$R_{m1} = f(\phi) \quad (4.5)$$

La determinarea acestor curbe s-au avut în vedere principalele dimensiuni geometrice ale inductorului, determinate la paragraful 4.2., procedându-se în modul descris mai jos. Inductorul a fost divizat fictiv în tronșoane pentru care s-a putut considera constantă inducția magnetică. Impunând un flux magnetic  $\phi$  în inductor, raportat la un pol magnetic și neglijând fluxul de dispersie, se calculează cu relația (4.6) inducția magnetică în tronșonul cu numărul de ordine  $i$ :

$$B_i = \frac{\phi}{s_{fe,i}} \quad (4.6)$$

unde :  $s_{fe,i}$  reprezintă secțiunea transversală a tronșonului aferent unui pol magnetic,  $\phi$  - fluxul pe pol.

În funcție de  $B_i$  se determină permeabilitatea magnetică  $\mu_i$

utilizând datele din anexa B.

Pentru determinarea reluctanței magnetice a dinților, raportată și aceasta la un pol magnetic, se folosește relația (4.7) dedusă din aceleași considerații prezentate mai sus:

$$R_{mz} = \frac{4Z(D_1 - D_2)}{\pi V L_a \mu (D_1 + D_2)} \quad (4.7)$$

Semnificația notațiilor este prezentată în anexa C. Reluctanța magnetică a inductorului rezultă:

$$R_{m1} = 2R_{mz} + \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\mu_i \lambda_{fe,i}} \quad (4.8)$$

unde:  $l_i$  - este lungimea fictivă a tronsonului cu numărul de ordiné  $i$ , iar  $n$  - numărul de tronsoane de divizare a inductorului.

În programul de calcul, reluctanța magnetică  $R_{m1}$  a inductorului și fluxul magnetic  $\phi$  au fost determinate pentru  $Z=12$ . Recalcularea acestora în procesul de calcul pentru un alt număr de dinți  $Z$  s-a efectuat cu relațiile (4.9):

$$\phi|_Z = \frac{12}{Z} \phi|_{Z=12}; \quad R_{m1}|_Z = \frac{Z}{12} R_{m1}|_{Z=12} \quad (4.9)$$

c) Coeficientul  $\xi$  care ține seama de efectul de capăt  $/3l/$  prin majorarea rezistivității indusului, depinde direct de numărul de dinți  $Z$  și de raportul  $L_1/L$ . Valorile calculate pentru  $\xi$  au fost determinate pentru toate situațiile ivite în procesul de calcul și introduse în program prin vectorul  $PSR\phi$ .

#### 4.3.2. Determinarea valorilor optime pentru parametrii $Z, V, L_1/L$ și $\xi_{ind}$

##### 4.3.2.1. Parametrii $Z$ și $V$

Cu ajutorul programului de calcul CEAHOL se generează funcția (3.50). Se calculează pentru cuplajul CEAH-60/1000 având datele prezentate anterior, valorile pentru cuplul  $M$  și cuplul specific  $M_{sp}$  pentru diferite valori ale parametrilor  $Z, V, \xi_{ind}, L_1/L$ .



Rezultatele calculului pe calculator sînt prezentate în anexa E<sub>1</sub> pentru raportul  $L_1/L=1,03$  și diferite valori ale parametrilor  $Z, V, g_{ind}$ .

Aceleași calcule au fost efectuate și pentru raportul  $L_1/L=1,1$ , pentru raportul  $L_1/L=1,2$  și pentru raportul  $L_1/L$  foarte mare, astfel că  $\xi = 1$ , dar nîu au mai fost introduse în lucrare fiind obținute similăr ca pentru raportul  $L_1/L=1,03$ .

În baza valorilor calculate și ținînd seama de cele prezentate la paragraful 3.2.2. în fig. 4.4 și 4.5 sînt trasate curbele  $M_{sp}=f(Z)$  și  $M_{sp}=f(V)$  pentru  $L_1/L=1,03$  (parametru fiind  $g_{ind}$ ), în fig. 4.6 și 4.7 aceleași curbe pentru  $L_1/L=1,1$ , iar în fig. 4.8 și 4.9 curbele respective cînd  $L_1/L=1,2$  în vederea determinării valorilor optime  $Z_0$  și  $V_0$ .

Din analiza curbelor, se desprind următoarele:

a) Numărul de dinți  $Z$  influențează valoarea cuplului specific  $M_{sp}$ , curbele  $M_{sp}=f(Z)$  prezentînd cîte un maxim pe domeniul de definiție.

Numărul de dinți  $Z$  pentru care se obține cuplul specific maxim, este puțin influențat de valoarea rapoartelor  $V$  și  $L_1/L$  și de grosimea indusului  $g_{ind}$ . Acest lucru dovedește că numărul de dinți  $Z$  influențează independent de ceilalți parametri valoarea maximă a cuplului specific, deci pentru determinarea valorii optime a lui  $Z$  s-ar putea calcula și trasa o singură curbă  $M_{sp}=f(Z)$  pentru cîte o valoare a parametrilor  $V$ ,  $L_1/L$  și  $g_{ind}$  din domeniul lor de definiție.

Considerînd o abatere de  $\pm 5\%$  la determinarea cuplului specific maxim din cauza trasării curbelor printr-un număr limitat de puncte, se poate accepta pentru cuplajul CEAH-60/1000 un număr optim de dinți  $Z_0=8$  (acceptabil și din punct de vedere al tehnologiei de execuție):

b) Raportul  $V$  influențează valoarea cuplului specific  $M_{sp}$ , curbele  $M_{sp}=f(V)$  prezentînd cîte un maxim pe domeniul de definiție.

Raportul  $V$  pentru care se obține cuplul specific maxim este puțin influențat de modificarea numărului de dinți  $Z$  și de raportul  $L_1/L$ , deci pentru determinarea raportului optim  $V$  s-ar

Fig. 4.4. DETERMINAREA NUMĂRULUI OPTIM DE DINȚI Z<sub>0</sub> ȘI A RAPORTULUI OPTIM V<sub>0</sub> PENTRU  
 CUPLAJUL CEAH 60/1000 AVÎND RAPORTUL L<sub>1</sub> / L = 1,03

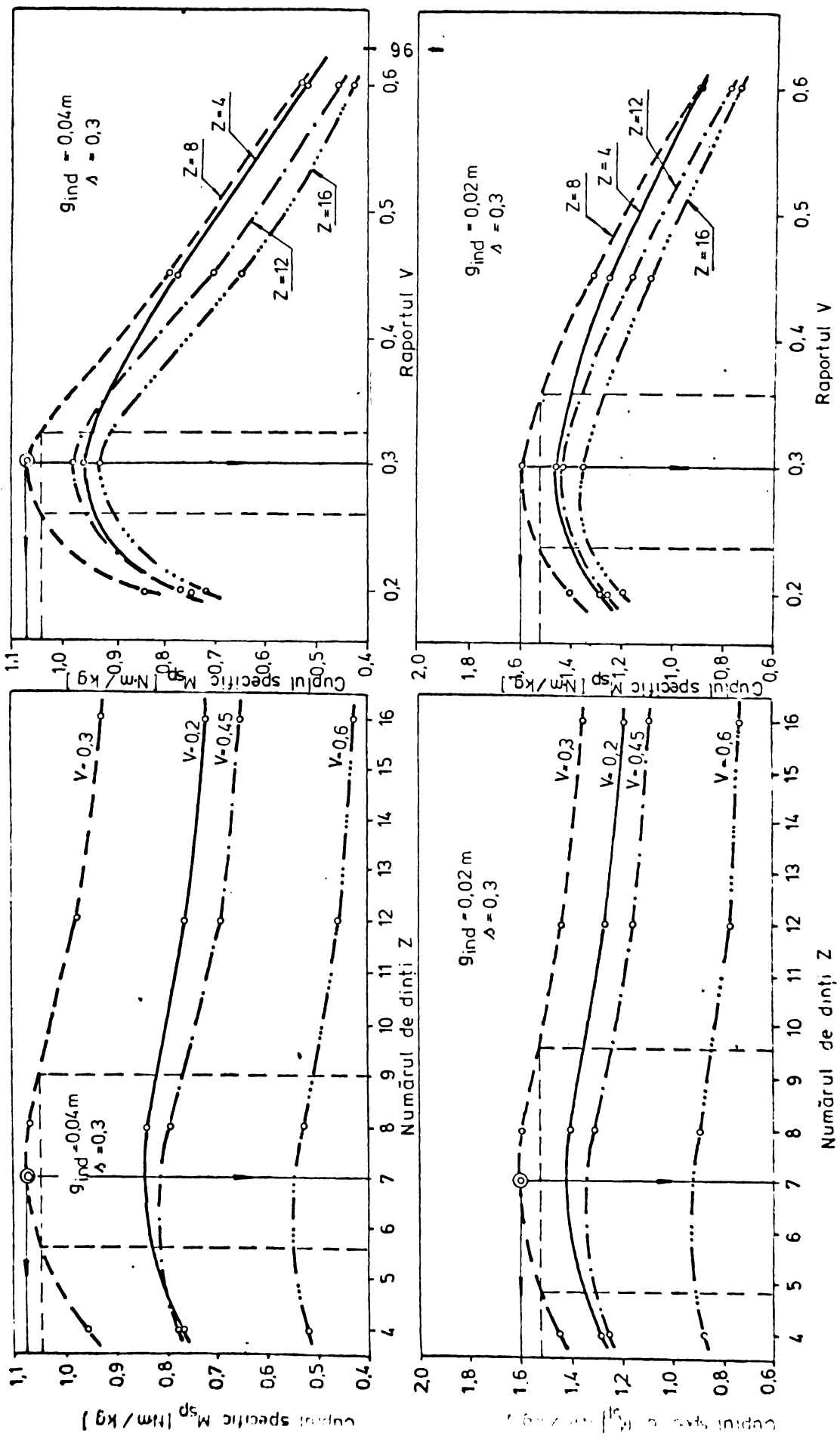


Fig.4.5. DETERMINAREA NUMĂRULUI OPTIM DE DINȚI  $Z_0$  ȘI A RAPORTULUI OPTIM  $V_0$  PENTRU  
 CUPLAJUL CEAH 60/1000 AVIND RAPORTUL  $L_1 / L = 1,03$  (continuare)

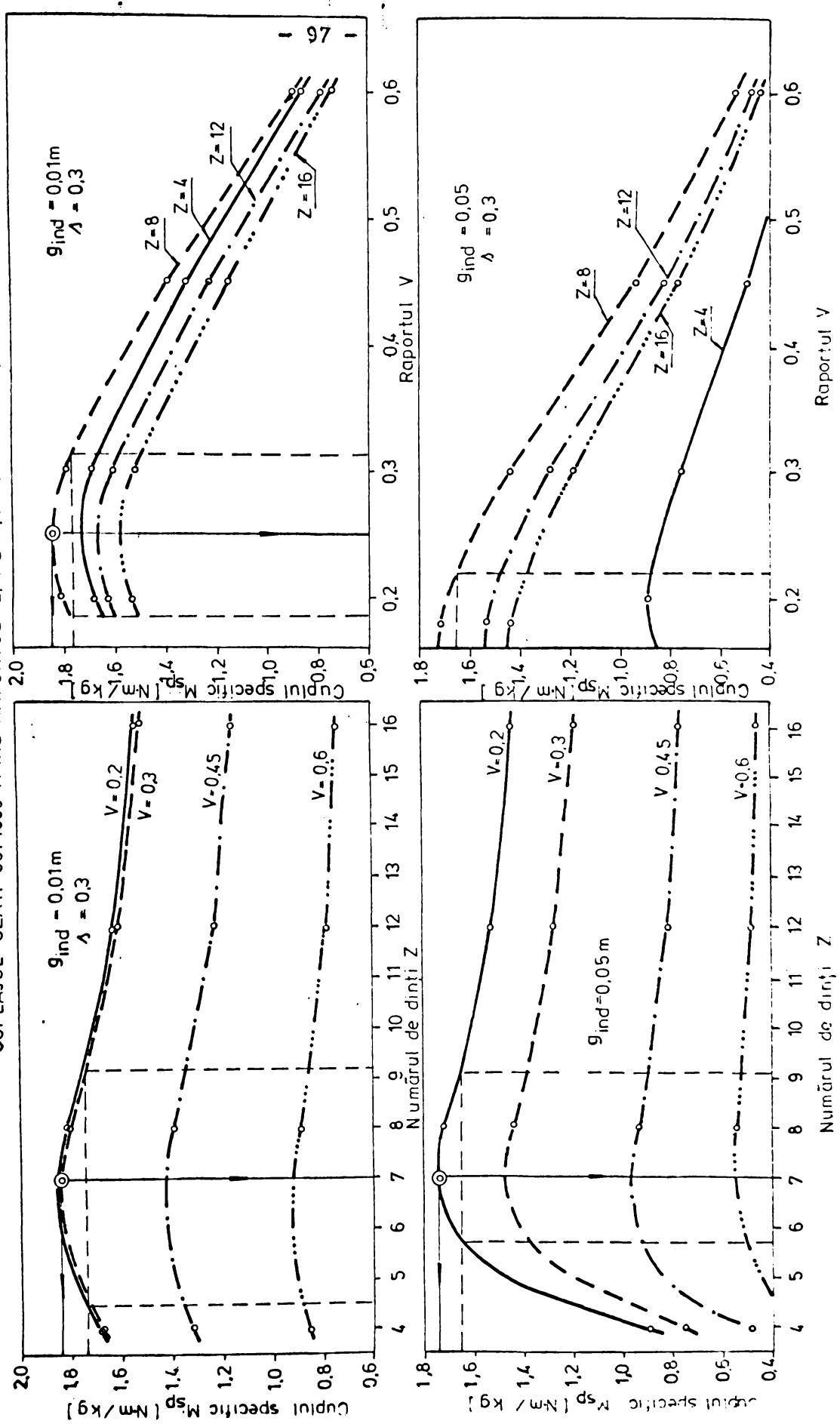


FIG.4.6 DETERMINAREA NUMĂRULUI OPTIM DE DINȚI  $Z_0$  ȘI RAPORTULUI OPTIM  $V_0$  PENTRU CUPLAJUL -  
CEAH-60/1000 AVÎND RAPORTUL  $L_1 / L = 1,1$

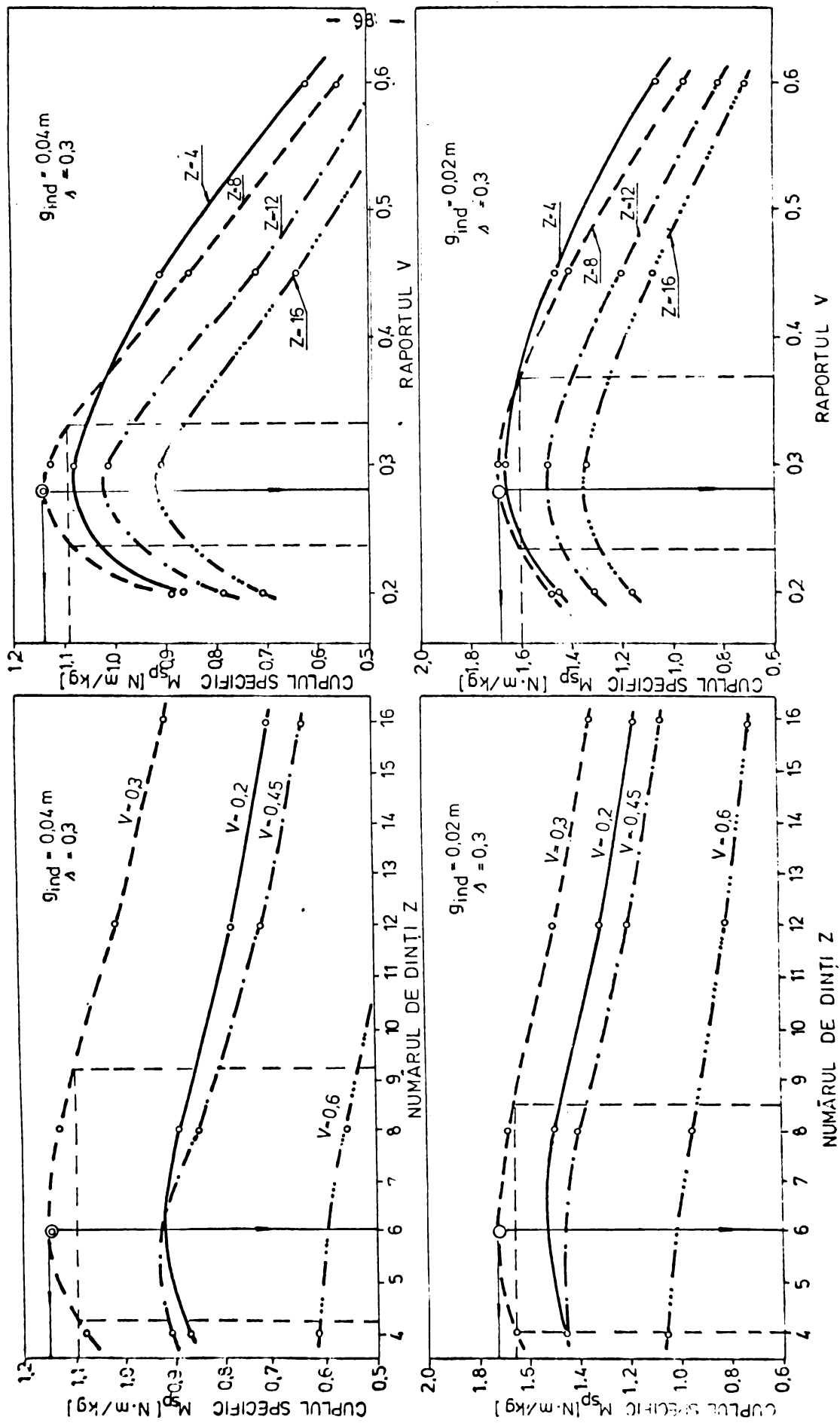


FIG. 4.7. DETERMINAREA NUMĂRULUI OPTIM DE DINȚI  $Z_0$  ȘI A RAPORTULUI OPTIM  $V_0$  PENTRU  
 CUPLAJULUI CEAH-60/1000 AVIND RAPORTUL  $L_1/L = 1,1$  (continuare)

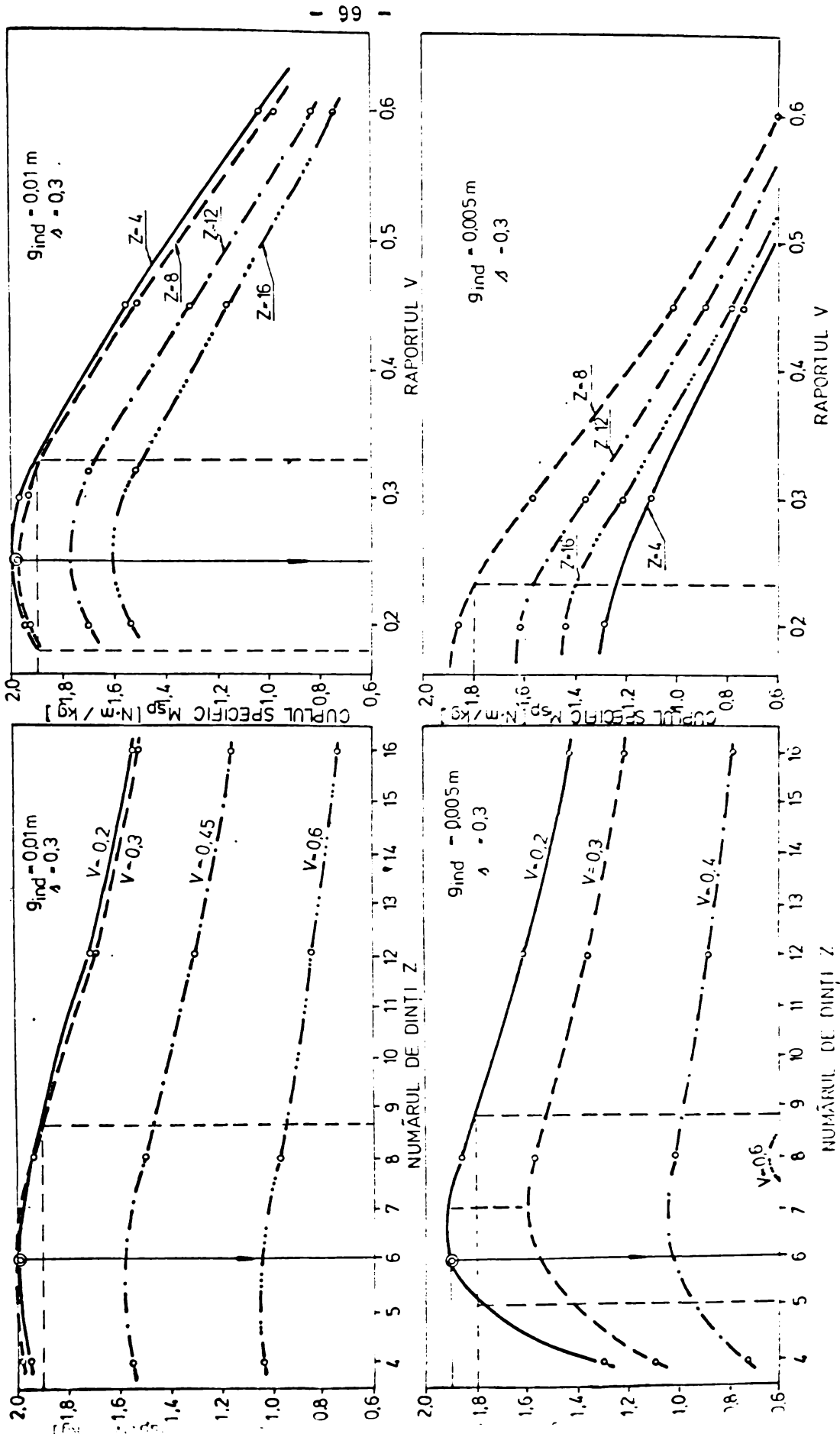


FIG 4.8 DETERMINAREA NUMĂRULUI OPTIM DE DINȚI Z<sub>0</sub> ȘI A RAPORTULUI OPTIM V<sub>0</sub> PENTRU  
 CUPLAJUL CEAH-60/1000 AVÎND RAPORTUL L<sub>1</sub>/L = 12

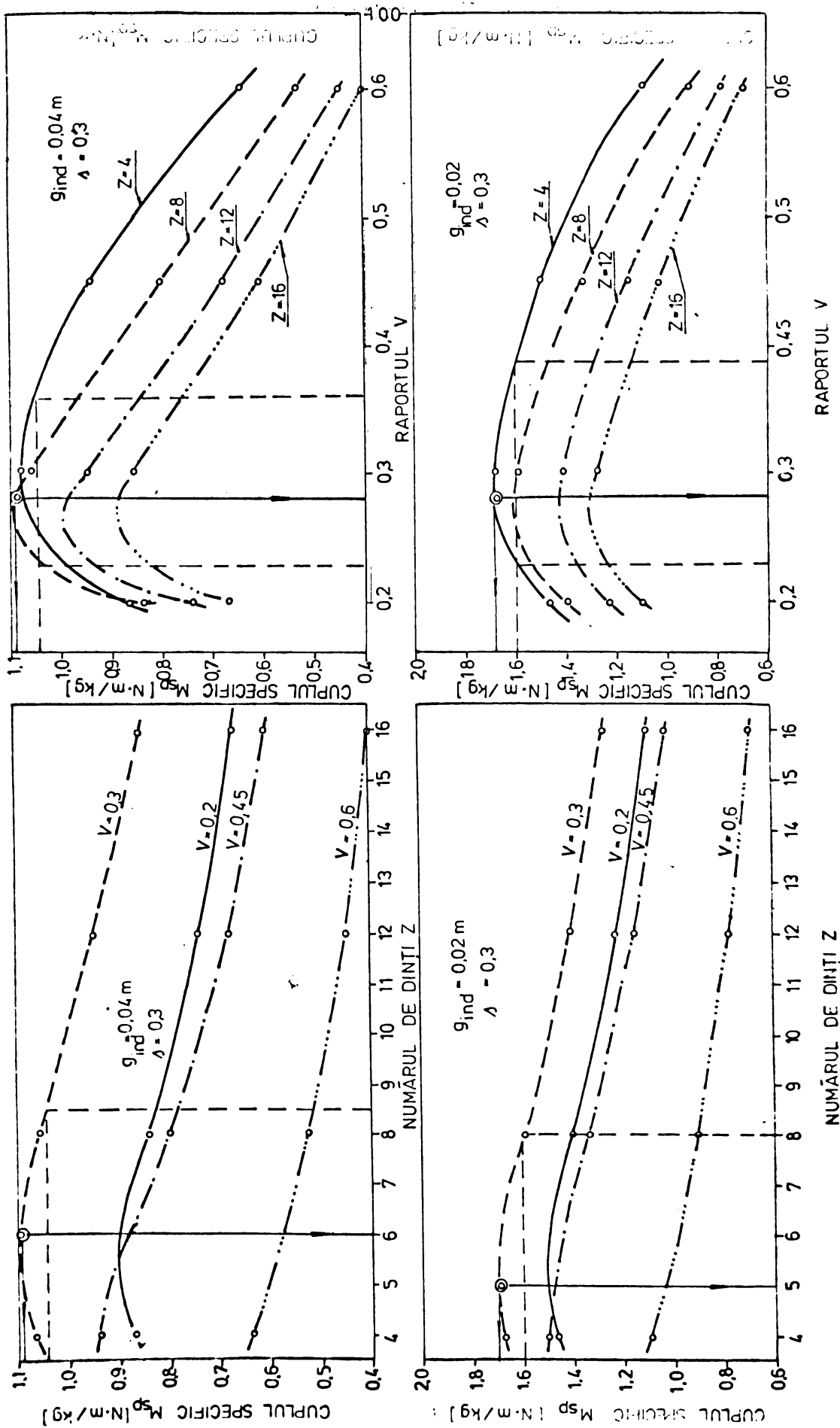
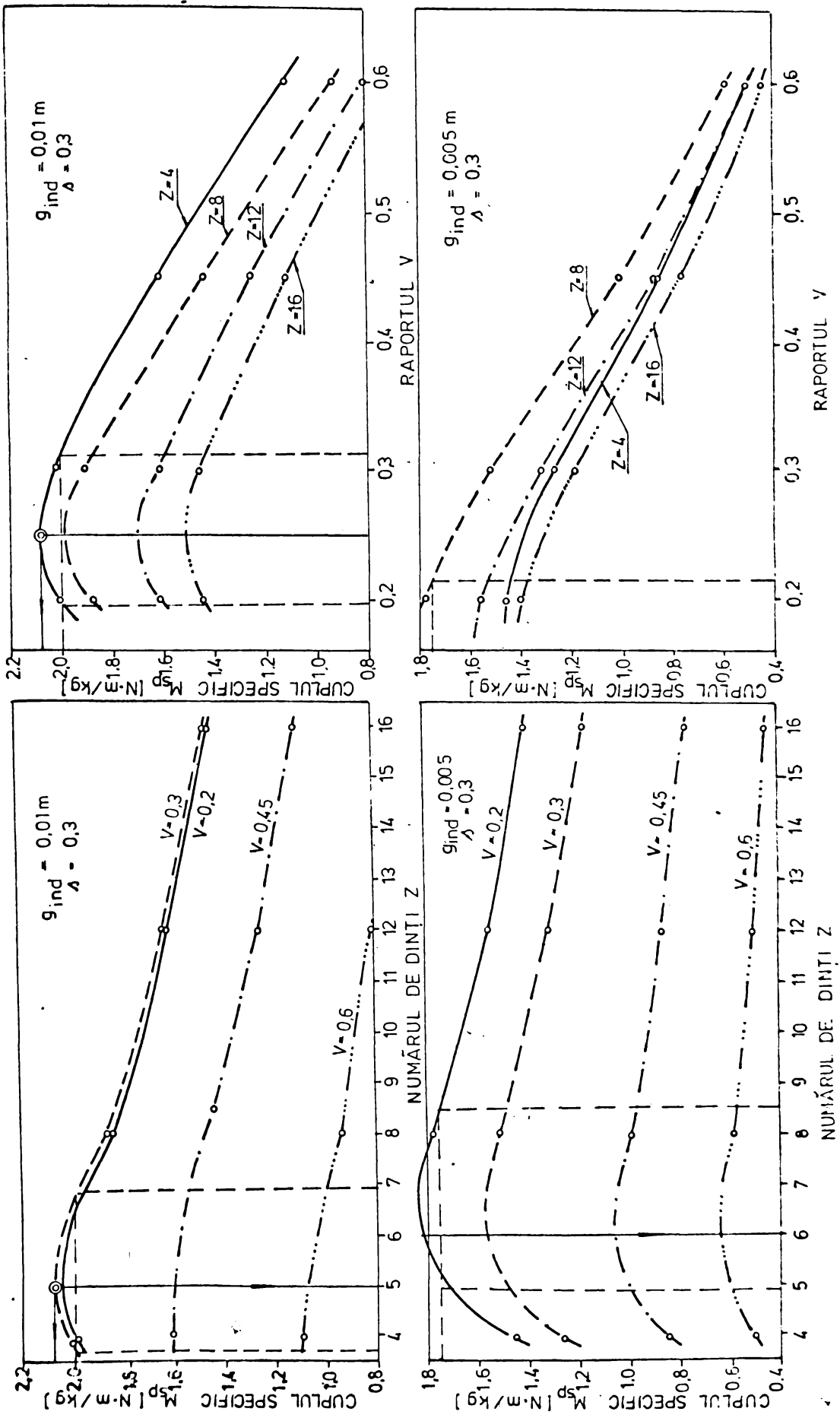


FIG.4.9. DETERMINAREA NUMĂRULUI OPTIM DE DINȚI  $Z_0$  ȘI A RAPORTULUI OPTIM  $V_0$  PENTRU CUPLAJUL CEAH - 60/1000, AVÎND RAPORTUL  $L_1/L_2 = 12$  (continuare)



putea calcula o singură familie de curbe  $M_{sp}=f(V)$  avînd ca parametru grosimea indusului  $g_{ind}$ , calculate pentru cîte o valoare a lui  $Z$  și  $L_i/L$  din domeniul lor de definiție.

Considerînd aceeași eroare de  $\pm 5\%$  în aprecierea maximumului curbelor  $M_{sp}=f(V)$ , se acceptă pentru cuplajul CEAH-60/1000 un raport optim  $V_0 \hat{=} 0,3$ .

#### 4.3.2.2. Raportul $L_i/L$

Pentru cuplajul CEAH-60/1000 avînd stabilite valorile  $Z_0$  și  $V_0$ , se trasează curbele  $M_{sp}=f(L_i/L)$  avînd ca parametru pe  $g_{ind}$ .

Valorile necesare trasării curbelor se iau din anexa  $E_1$  ș.a. conform paragraf 4.3.2.1., iar curbele trasate sînt prezentate în fig.4.10.

Din analiza graficului de variație a cuplului specific în funcție de raportul  $L_i/L$  se constată că acest raport influențează valoarea cuplului specific, curbele prezentînd un punct de maxim pe domeniul de definiție. Poziția punctului de maxim este influențată în mică măsură de grosimea indusului  $g_{ind}$ . Acest lucru dovedește că raportul  $L_i/L$  influențează independent de parametrul  $g_{ind}$  valoarea maximă a cuplului specific și ca atare, pentru determinarea valorii optime a raportului  $L_i/L$  s-ar putea trasa o singură curbă  $M_{sp}=f(L_i/L)$  corespunzătoare unei valori pentru  $g_{ind}$  din domeniul de definiție.

Acceptînd aceeași eroare de  $\pm 5\%$  în determinarea punctului de maxim și ținînd seama de posibilitățile tehnologice de montare a indusului prin intermediul a două flanșe (din material neferomagnetic), pentru cuplajul CEAH-60/1000 s-a acceptat un raport optim  $(L_i/L_0)=1,2$ .

#### 4.3.2.3. Parametru $g_{ind}$

Pentru cuplajul CEAH-60/1000 avînd calculate valorile optime  $V_0, Z_0, (L_i/L)_0$ , se trasează curba  $M_{sp}=f(g_{ind})$  folosind datele din anexa  $E_1$  ș.a. conform paragraf. 4.3.2.1 - fig.4.11. Din analiza curbei de variație a cuplului specific în funcție de valoarea parametrului  $g_{ind}$ , se constată că acesta influențează valoarea cuplului specific, curba prezentînd un punct de maxim pe domeniul de definiție. În fig.4.11 este prezentată de fapt



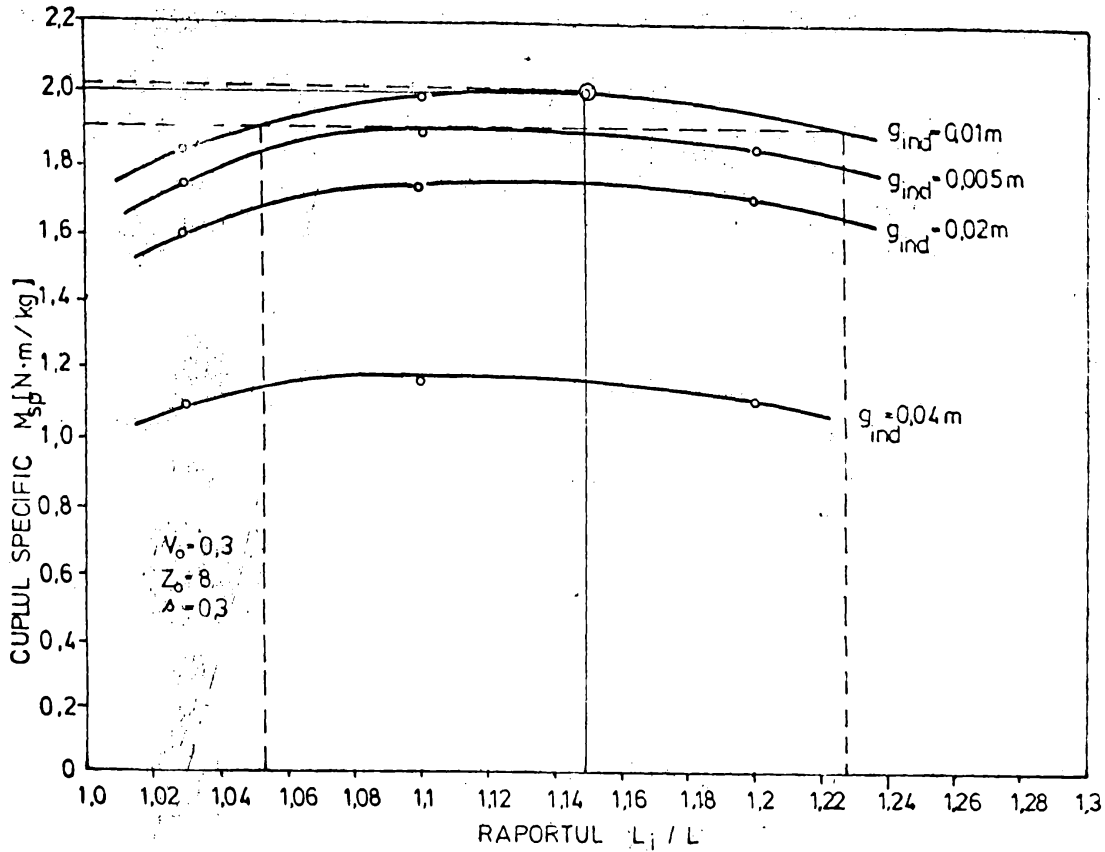


Fig.4.10. Determinarea raportului optim  $L_i/L$  pentru cuplajul GEAH-60/1000, avînd numărul de dinți  $Z_o=8$  și raportul  $V_o=0,3$ .

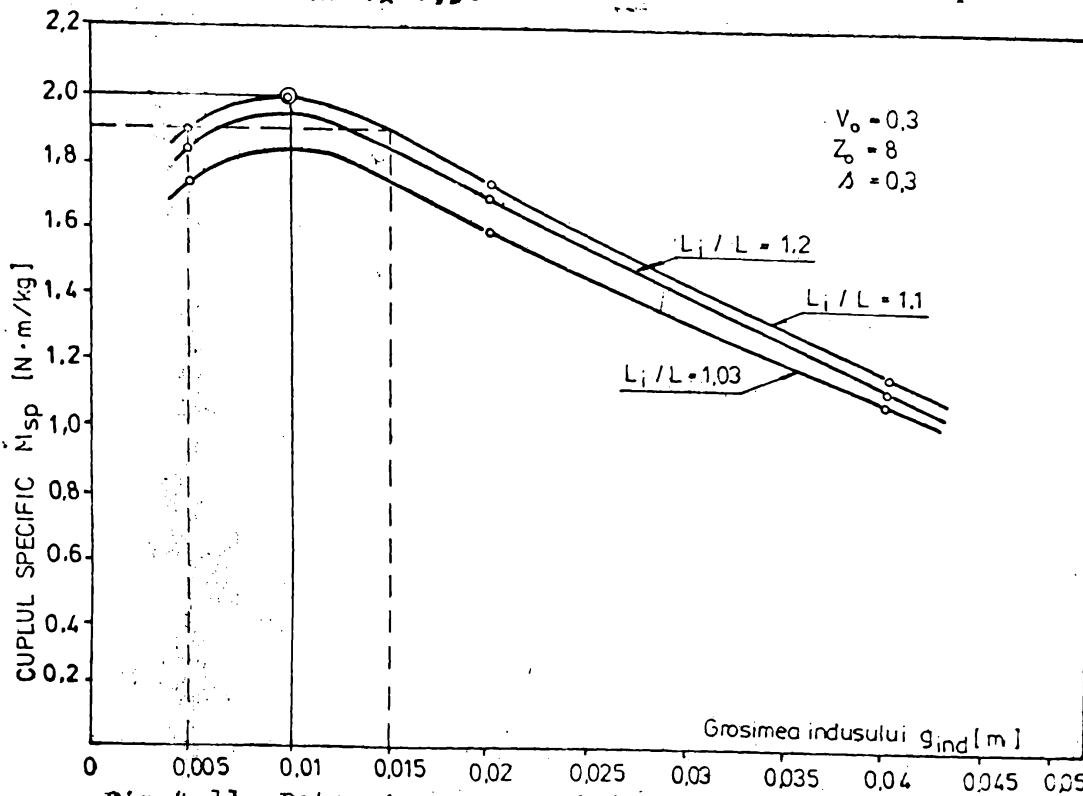


Fig.4.11. Determinarea grosimii optime pentru indusul feromagnetic  $g_{ind}$  aferent cuplajului GEAH-60/1000, avînd  $V_o=0,3$ ,  $Z_o=8$  și  $s=0,3$ .

ramilia de curbe  $M_{sp}=f(g_{ind})$  avind ca parametru pe  $(L_i/L)$ . Din analiza familiei de curbe se constată că poziția punctului de maxim nu depinde de valoarea raportului  $L_i/L$ . Acest lucru dovedește că parametrul  $g_{ind}$  influențează în mod independent de raportul  $L_i/L$  valoarea maximă a cuplului specific și ca atare se poate trasa o singură curbă  $M_{sp}=f(g_{ind})$  corespunzătoare pentru  $Z_o, V_o, (L_i/L)_o$ .

Acceptind aceeași eroare de  $\pm 5\%$  în stabilirea punctului de maxim, pentru cuplajul CEAH-60/1000 s-a acceptat o grosime optimă pentru indusul feromagnetic masiv  $(g_{ind})_o=0,015m$ .

Grosimea indusului  $g_{ind}$  trebuie verificată și din punct de vedere al posibilităților de transmitere prin intermediul acestuia a cuplului maxim  $M_p \max$ . Pentru indusul cu diametrul interior  $D$ , grosimea indusului  $g_{ind}$ , materialul acestuia caracterizindu-se printr-un efort admisibil  $\tau_a [N/m^2]$ , cuplul de torsiune  $M_t$  pe care-l poate transmite indusul se determină cu relația (4.10):

$$M_t = \frac{\tau_a (D + 2g_{ind})^3}{16} \left[ 1 - \frac{D^4}{(D + 2g_{ind})^4} \right] \leq M_p \max \quad (4.10)$$

Pentru cuplajul CEAH-60/1000 avind indusul realizat din OT 40, aceasta condiție se verifică.

În concluzie la cele prezentate în paragraful 4.3.2 se poate aprecia că parametrii  $Z, V, L_i/L, g_{ind}$  influențează în mod independent unii de alții valoarea maximă a cuplului specific, prin urmare valorile optime pentru aceștia pot fi determinate în ordinea dorită de proiectant. De asemenea, există o singură valoare optimă pentru fiecare parametru care conduce la un cuplu specific maxim dezvoltat de cuplaj, deci familia de curbe prezintă un singur punct de maxim caracterizat prin  $Z_o, V_o, (L_i/L)_o$  și  $(g_{ind})_o$ .

Cu valorile optime determinate pentru  $g_{ind}$  și raportul  $L_i/L$  se definitivează dimensiunile geometrice ale cuplajului în vederea realizării lui practice, astfel :

$$L = \frac{L_a}{k_5} ; \quad L_i = L \cdot (L_i/L)_o ; \quad D_i = D + 2(g_{ind})_o \quad (4.11)$$

4.3.3. Descrierea cuplajului CEAH-60/1000 rezultat  
în urma calculului de proiectare optimal

Datele de bază ale cuplajului sînt:

- numărul de dinți  $Z=8$
- raportul  $V=0,3$
- raportul  $L_i/L=1,2$
- grosimea indusului masiv  $g_{ind}=0,015$  m
- lungimea activă a inductorului  $L_a=0,145$  m
- lungimea totală a inductorului  $L=0,194$  m
- lungimea indusului  $L_i=0,230$  m
- diametrul interior al indusului  $D=0,295$  m
- diametrul exterior al indusului  $D_i=0,325$  m
- întrefierul  $\delta_0=1$  mm
- diametrul exterior al inductorului  $D - 2 \delta_0=0,293$  m
- solenația totală  $F=4330$  Aspire (2Ax2165 șpire).

Secțiunea transversală prin cuplajul calculat este prezentată în anexa G, iar aspectul cuplajului CEAH-60/1000 realizat practic este redat în foto-fig.4.12.

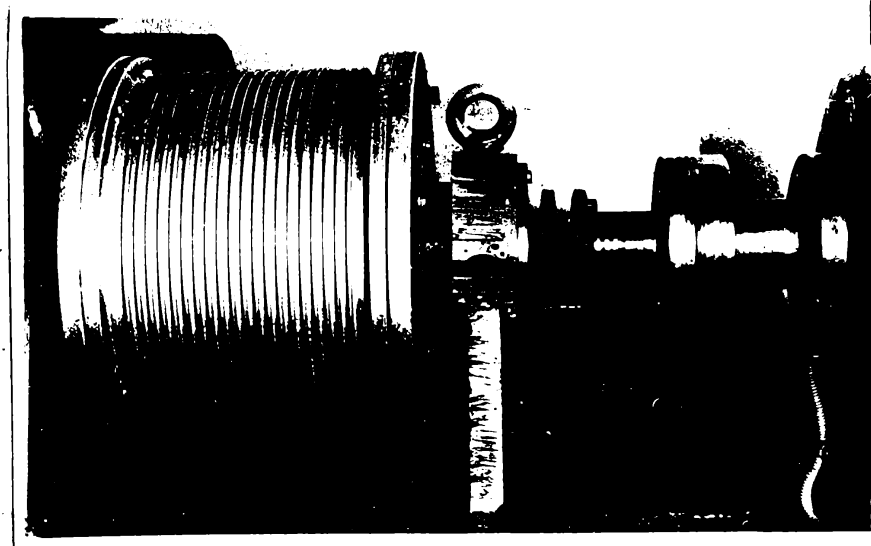


Fig.4.12. Execuția practică a cuplajului CEAH-60/1000.

INSTITUTUL DE RESEARCH  
TEHNIC  
BUCUREȘTI

Inductorul a fost realizat din două părți îmbinate prin șuruburi fapt ce a permis montarea, în canalul practicat, a bobinei de excitație. Capetele bobinei de excitație sînt scoase pe semiaxă la inelele colectoare. Indusul realizat cu canale de răcire pe suprafața sa exterioară, este fixat prin șuruburi la cele două scuturi din aluminiu, putînd fi rotit independent de inductor, prin intermediul unei semiaxe de către motorul de acționare. Inductorul acționează mașina de lucru prin intermediul axei cuplajului. Intregul sistem se sprijină pe doi suportți, prin intermediul unor lagăre cu rulmenți oscilanți. La montaj s-a avut în vedere realizarea unei centrări corecte a tuturor elementelor rotitoare.

#### 4.3.4. Calculul caracteristicilor cuplajului CEAH-60/1000 .

După cum s-a menționat în paragraful 4.3.1, programul CEAH01 permite și determinarea caracteristicilor mecanice și de putere ale cuplajului electromagnetic, la o anumită turație  $n_1$  și pentru diferite turații  $n_1$  ale motorului de acționare, precum și caracteristicile mecanice la funcționarea sa în regim de frînă.

##### 4.3.4.1. Caracteristicile mecanice și de putere ale cuplajului CEAH-60/1000

Cu ajutorul programului de calcul CEAH01 se generează funcțiile (3.57) și (3.61) în vederea ridicării caracteristicilor mecanice și de putere pentru cuplajul electromagnetic cu alunecare CEAH-60/1000 pentru turația motorului de acționare  $n_1=1000$  rot/min. Rezultatele obținute în urma rulării pe calculator sînt prezentate în anexa  $E_2$ , iar curbele (3.59) și respectiv (3.62) corespunzătoare funcțiilor sînt trasate în fig.4.13 și respectiv 4.14.

Se observă cu această ocazie corelarea între programele CEAH00 și CEAH01 prin faptul că la alunecarea  $s=0,3$  cuplaj calculat este de cca 60 N.m, iar la alunecarea  $s=0,45$  de cca 70 N.m, conform celor impuse prin tema de proiectare.

În ambele grafice, cu linie punctată sînt trasate porțiunile de curbe care nu pot fi realizate experimental din considerente că indusul s-ar încălzi peste limita admisă. De

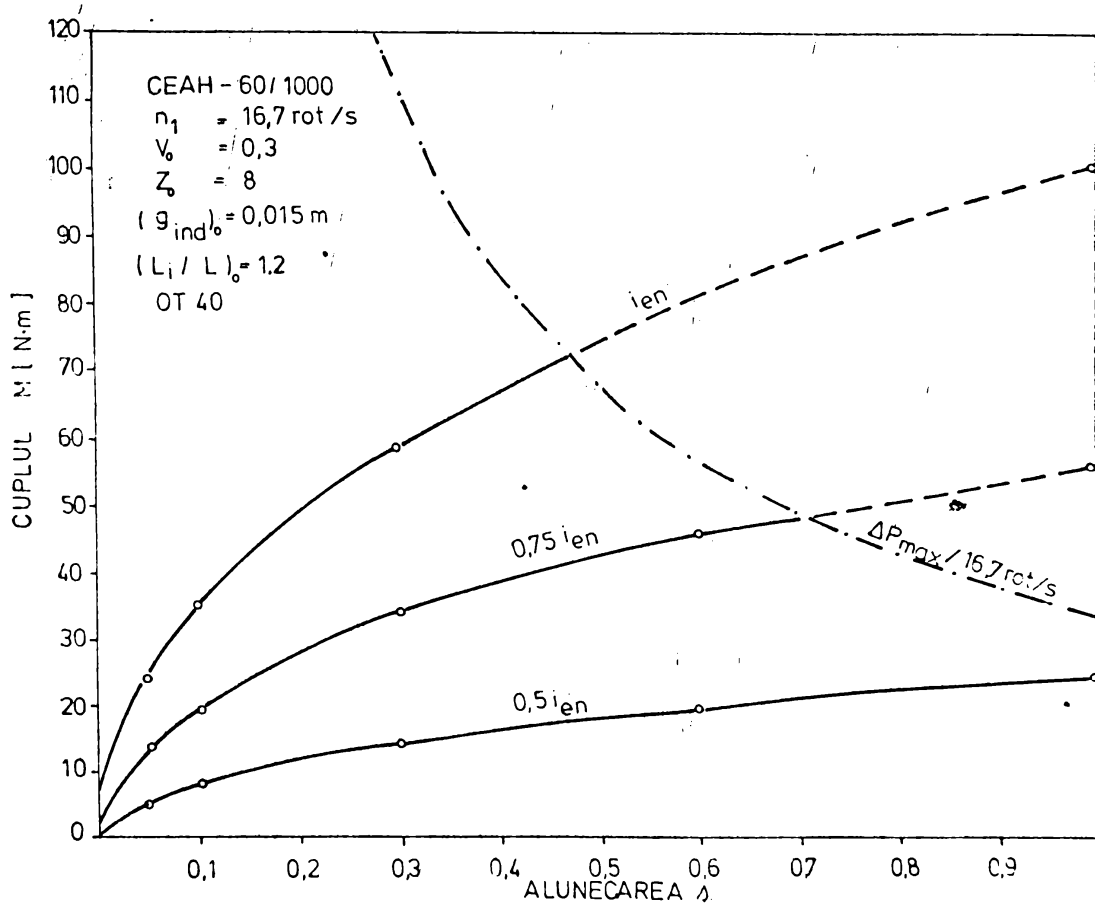


Fig.4.13. Caracteristica mecanică  $M=f(s)$  pentru cuplajul CEAH-60/1000 optimizat.

- asemenea, din ambele grafice se constată posibilitatea funcționării cuplajului la alunecări ridicate (deci cu turație mică la ieșire) în defavoarea cuplului  $M$ , respectiv a puterii  $P_2$  transmise de cuplaj mașinii de lucru, prin micșorarea corespunzătoare a curentului de excitație.

#### 4.3.4.2. Caracteristicile mecanice și de putere ale cuplajului CEAH-60/1000 pentru diferite turații $n_1$ ale motorului de acționare.

Cuplajul electromagnetic cu alunecare, deci și cuplajul realizat practic CEAH-60/1000, poate funcționa la diferite turații  $n_1$  pentru motorul de acționare. Valoarea maximă a turației  $n_1$  este limitată doar de calitatea execuției cuplajului.

Caracteristicile mecanice și de putere pentru valori diferite ale turației  $n_1$  se pot determina în două moduri, rezultatele fiind aceleași.

a) Se notează cu  $n_1'$  turația motorului de acționare, deci turația indusului și cu  $n_1$  aceeași turație pentru care au fost calculate caracteristicile mecanice și de putere a cuplajului în paragraful 4.3.4. Caracteristicile mecanice și de putere pentru turația  $n_1'$  se recalculează din caracteristicile mecanice și de putere corespunzătoare turației  $n_1$ . Astfel, cuplul  $M$  și puterile  $P_1$ ,  $P_2$  și  $\Delta P$  corespunzătoare alunecării  $s$  în cazul turației  $n_1$  a indusului se regăsesc ca valoare la alunecarea  $s'$  în cazul în care turația indusului devine  $n_1'$ , unde

$$s' = s \frac{n_1}{n_1'} \quad (4.12)$$

Dezavantajul acestui mod de rezolvare este acela că în cazul în care  $n_1' > n_1$  nu se pot calcula valorile lui  $M$ ,  $P_1$ ,  $P_2$  și  $\Delta P$  decât pentru intervalul de alunecări  $0 \div s'$ , unde  $s' < 1$ .

b) Folosind programul CEAH01 se generează funcțiile (3.57) și (3.62) impunând pentru turația indusului valoarea  $n_1'$ .

Pentru cuplajul CEAH-60/1000 valorile calculate pentru funcțiile menționate sînt prezentate în anexa E<sub>3</sub>, iar caracteristicile mecanice și de putere sînt trasate în fig.4.15 și respectiv 4.16. În ambele grafice prin linie punctată sînt delimitate porțiunile de caracteristici pe care funcționarea cuplajului nu este admisă din cauza încălzirii inadmisibile a indusului cauzată de pierderile de putere din cuplaj.

#### 4.3.4.3. Caracteristicile mecanice ale cuplajului CEAH-60/1000 în regim de frînă.

Se menționează de la început că CEAH-60/1000 așa cum este proiectat și construit nu poate funcționa în regim de frînă decât după luarea în considerare a măsurilor de răcire forțată a indusului, pentru ca încălzirea acestuia cauzată de pierderile

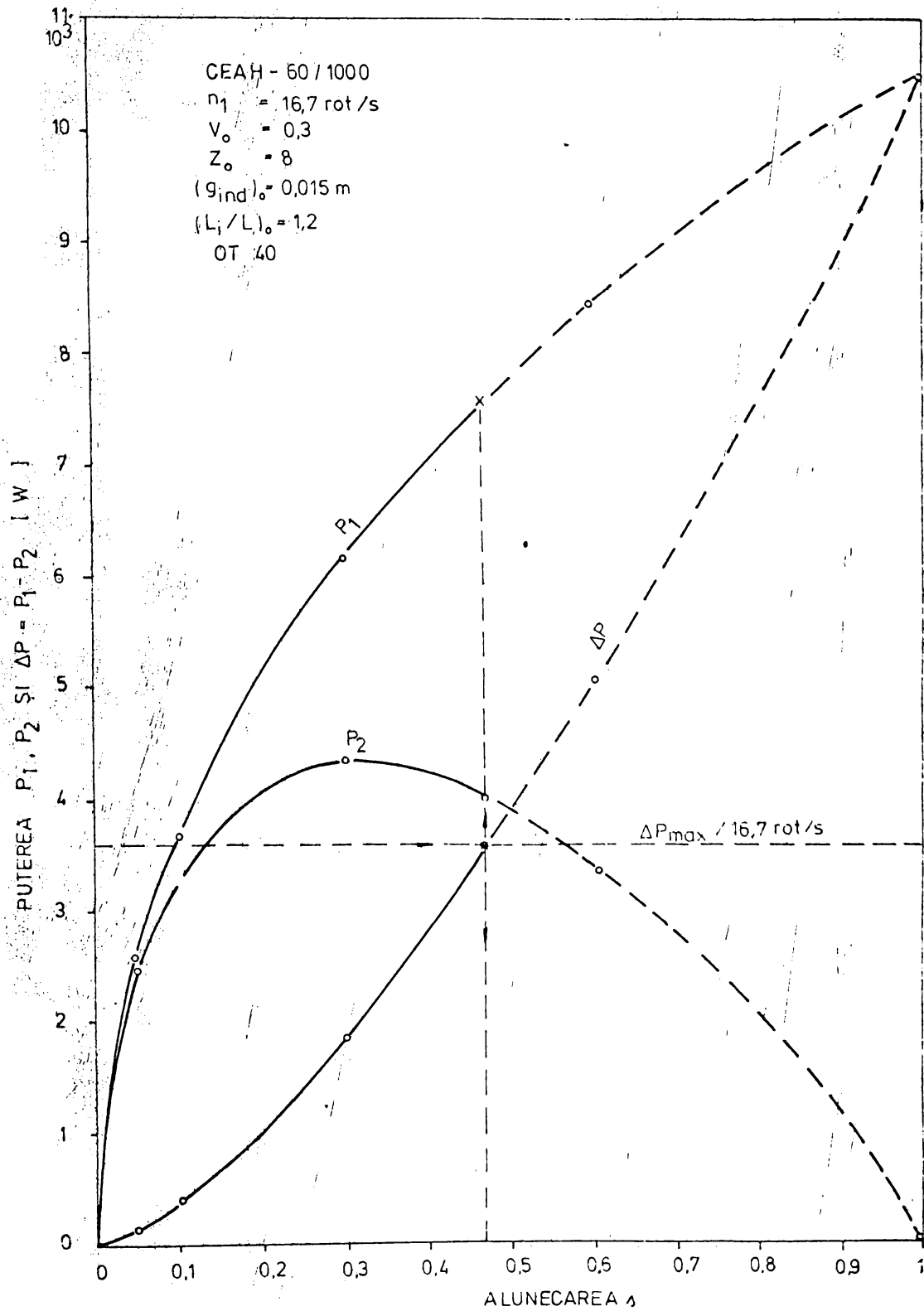


Fig.4.14. Curbele  $P_1=f(s)$ ;  $P_2=f(s)$  și  $\Delta P=r(s)$  calculate pentru cuplajul CEAH-60/1000 optimizat; pentru curentul de excitație nominal.

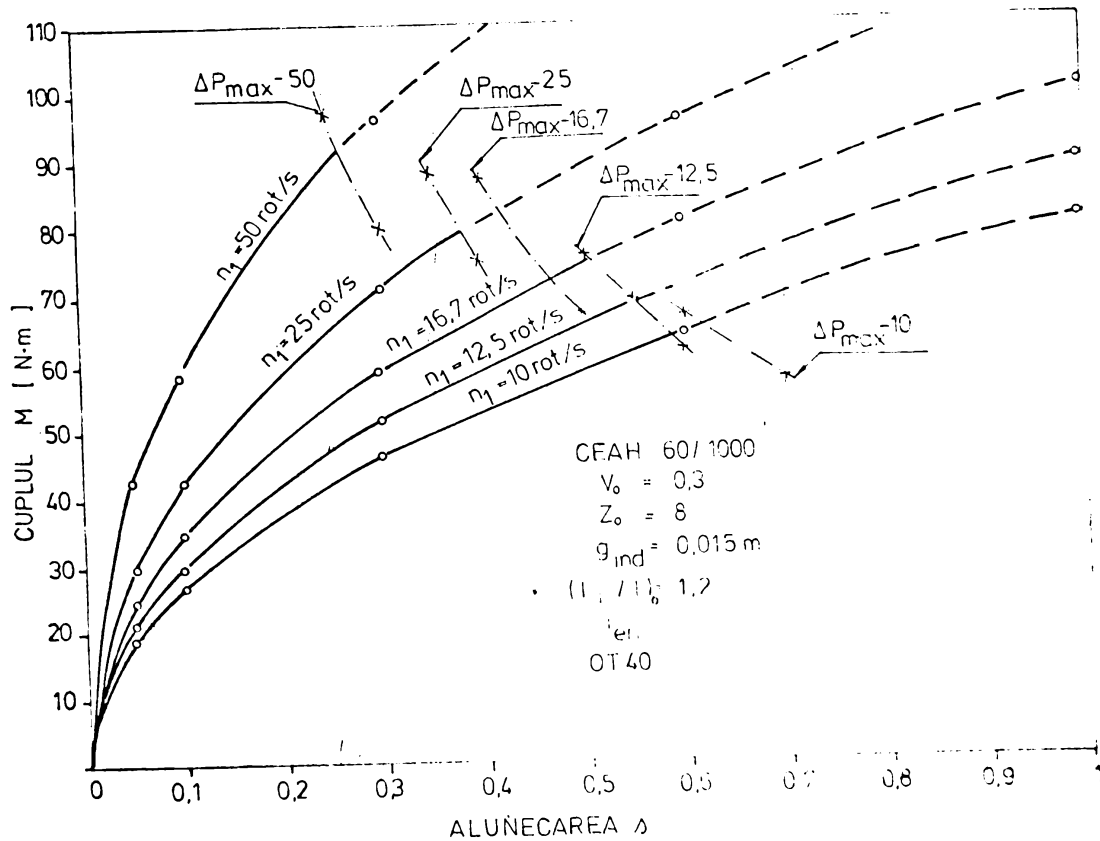


Fig.4.15. Curbele  $M=f(s)$  aferente cuplajului CFAH-60/1000 optimizat pentru diferite turării  $n_1$  ale motorului de acţionare.

de putere în indus să nu depăşească valoarea maximă admisă. Fără luarea în considerare a răcirii forţate a indusului, cuplajul CFAH-60/1000 ar putea funcţiona ca frînă numai cu valori reduse pentru curenţii de excitaţie, astfel ca relaţia (3.00) privind pierderile maxime de putere în indus să fie respectată.

Cu ajutorul programului CFAH01 se generează funcţia (3.57), căreia i se ataşează domeniile de definiţie (3.58) în vederea determinării caracteristicii mecanice pentru cuplajul CFAH-60/1000 în regim de frînă.

Rezultatele calculului numeric pentru cazul în care  $n_1 = 1000 \text{ rot/min}$  sînt prezentate în anexa E<sub>4</sub>, iar caracteristi-



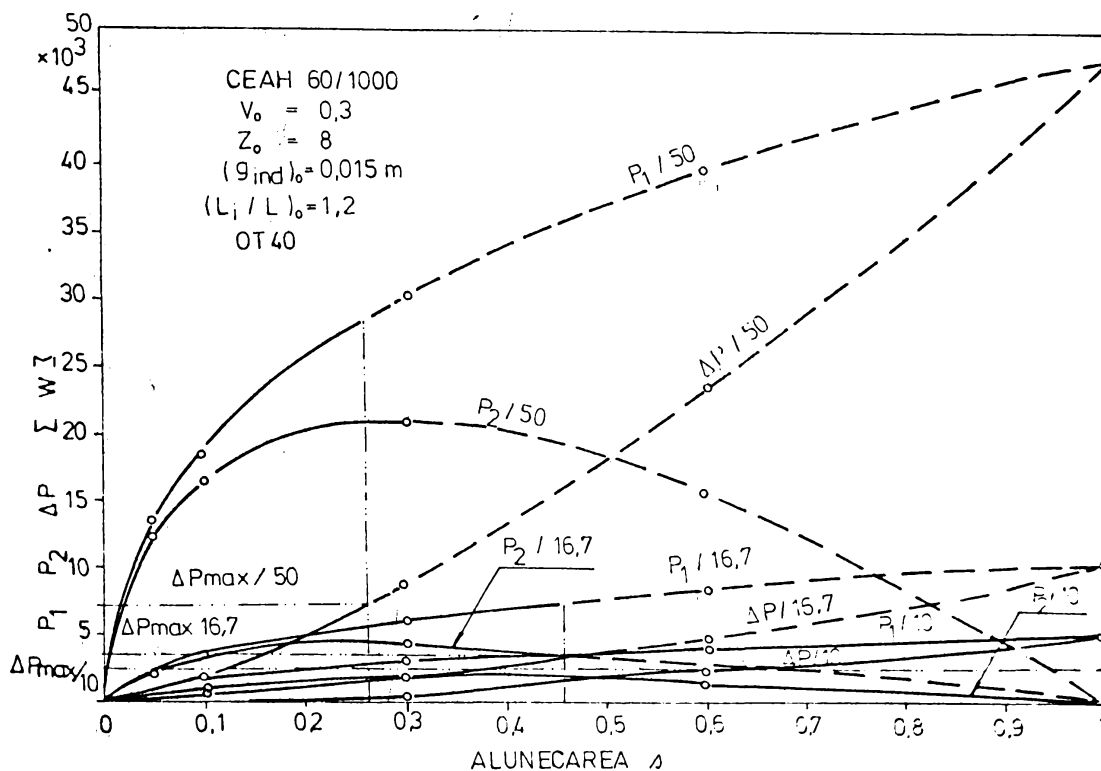


fig.4.16. Curbele  $P_1=f(s)$ ,  $P_2=f(s)$ ,  $\Delta P=f(s)$  aferente cupiajului CEAH-60/1000 optimizat, pentru diferite turatii  $n_1$  ale motorului de actiune si curent de excitatie nominal.

cile mecanice pentru cupiajul CEAH-60/1000 pentru alunecari cuprinse între 1 și 3 sînt trasate în fig.4.17.

4.4. Studiul influenței unui strat de metal neferomagnetic depus pe indus înspre întrefier asupra caracteristicilor de funcționare ale cupiajului CEAH-60/1000.

4.4.1. Etapole de efectuare a studiului.

La efectuarea studiului influenței stratului de metal neferomagnetic depus pe indusul cupiajului, s-au avut în vedere următoarele etape de lucru :

a) Se pornește de la cupiajul electromagnetic cu alunecare CEAH-60/1000 optimizat, pentru care se cunosc valorile op-

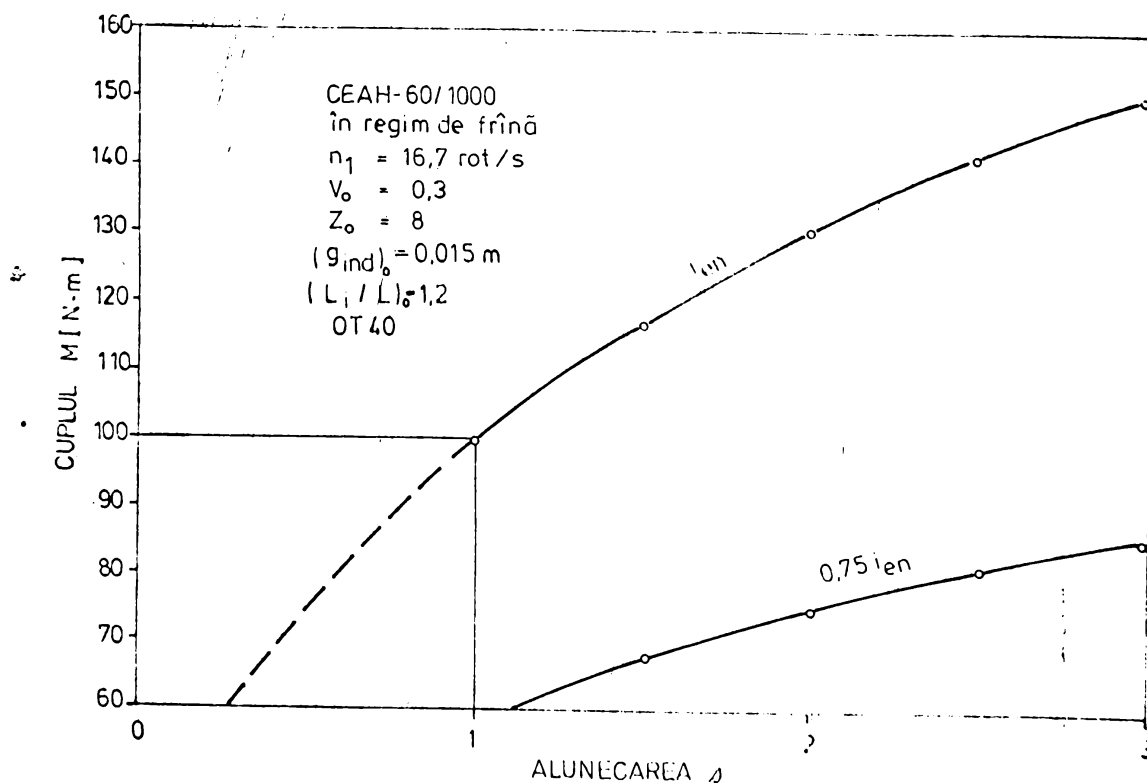


Fig.4.17. Caracteristica mecanică  $M=f(s)$  pentru cuplajul CEAH-60/1000 în regim de frînă.

time pentru parametrii ce influențează valoarea cuplului specific, adică  $Z_0, V_0, (g_{ind})_0, (L_i/L)_0$ , precum și caracteristicile de funcționare ale acestuia.

b) Se studiază influența rezistivității  $\rho_{nef}$  și grosimii  $g_{nef}$  a unui strat de metal neferomagnetic depus pe indusul feromagnetic înspre întrefier asupra caracteristicilor de funcționare a cuplajului CEAH-60/1000.

Pentru a nu se face confuzii între cele două cuplaje (realizate de altfel practic), cuplajul CEAH-60/1000 prevăzut cu strat de metal neferomagnetic pe indus a fost simbolizat CEAH-Cu/1000, unde "Cu" are semnificația de strat neferomagnetic (Cupru în execuția practică). Prin urmare cuplajul CEAH-Cu/1000 prezintă dimensiunile de bază ale cuplajului CEAH-60/1000 în conformitate cu cele stabilite la paragraful 4.3.3. De data aceasta grosimea efectivă optimizată a indusului feromagnetic se notează cu  $(g_{ind.fe})_0$  (fig.3.10), iar grosimea totală a indusului rezultă :

$$g_{ind} = (g_{ind.fe})_0 + g_{nef} \quad (4.15)$$

Se determină cu aceasta ocazie prin calcul numeric grosimea  $g_{nef}$  a unui strat de cupru, care conduce la o caracteristică mecanică dorită, adică cuplul critic  $M_k$  să se obțină la o anumită alunecare critică  $s_k$ , (inclusiv pentru regimul de frână când  $s_k=1$ ).

c) Se procedează la optimizarea cuplajului CEAH-Cu/loco în sensul că pentru cuplajul care are stratul neferomagnetic din cupru de grosime  $g_{nef}$  se recalculează valorile optime ale parametrilor  $v, Z, L_i/L$  și  $(g_{ind.fe})$  care conduc la un cuplu specific maxim.

d) Se calculează și se trasează grafic caracteristicile mecanice și de putere ale cuplajului CEAH-Cu/loco optimizat.

4.4.2. Schemă logică și program de calcul în Fortran CEAH11 pentru optimizarea și determinarea caracteristicilor de funcționare ale cuplajelor electromagnetice cu alunecare de tip homopolar cu indus feromagnetic avînd deus pe indus înspre intrefier un strat de metal neferomagnetic.

Schema logică de calcul are aceeași structură cu schema logică CEAH01 prezentată în fig.4.3 cu modificările impuse de cele consemnate la paragraful 3.3. Schema logică nu a mai fost introdusă în lucrare, dar pe baza acestei scheme logice a fost întocmit programul de calcul CEAH11 de concepție originală, aparținînd autorului și prezentat integral în anexa F. Programul de calcul CEAH11 permite studiarea influenței grosimii și rezistivității stratului neferomagnetic asupra caracteristicilor de funcționare, optimizarea cuplajului și determinarea caracteristicilor de funcționare pentru cuplajul optimizat.

4.4.3. Studiul influenței grosimii  $g_{nef}$  și a rezistivității  $\rho_{nef}$  a stratului de metal neferomagnetic asupra caracteristicilor de funcționare ale cuplajului CEAH-Cu/loco.

4.4.3.1. Influența grosimii  $g_{nef}$  a stratului neferomagnetic (realizat din cupru)

În vederea determinării caracteristicilor de funcționare pentru cuplajul CEAH-Cu/1000 avînd depus pe indus înspre întrier un strat de cupru de grosime  $\delta_{nef}$  variabilă, se generează funcția (3.75) utilizînd programul de calcul CEAH11.

Pentru stratul de cupru s-a luat în considerare o rezistivitate  $\rho_{nef}=0,24 \cdot 10^{-7} \Omega m$  corespunzătoare unei temperaturi de funcționare a indusului de  $120^\circ C$ . La calculul acestei rezistivități s-a ținut seama și de efectul de capăt, luînd în considerare un coeficient  $\xi$  corespunzător dimensiunilor cuplajului.

Rezultatele obținute în urma rulării pe calculator sînt prezentate în anexa F<sub>1</sub>, iar caracteristicile mecanice ridicate în baza acestor calcule pentru un curent de excitație nominal sînt trasate în fig.4.18.

Se observă că acestea au o alură asemănătoare cu cea a caracteristicilor mecanice de la o mașină asincronă. Scăderea grosimii stratului de metal neferomagnetic are același efect asupra caracteristicilor mecanice ale cuplajului ca și creșterea valorii rezistenței reostatului din circuitul rotoric al mașinii asincrone cu rotorul bobinat asupra caracteristicilor mecanice artificiale ale mașinii asincrone. Valoarea cuplului critic nu se modifică, dar crește alunecarea critică pe măsură ce scade grosimea stratului de metal neferomagnetic.

Pentru o grosime a stratului de cupru  $\delta_{nef}=0,001 m$ , valoarea cuplului critic este de  $288 N \cdot m$  și se obține la o alunecare critică  $s_k=0,5$ . Pentru aceeași grosime a stratului de cupru, valoarea de  $60 N \cdot m$  cît reprezintă cuplul nominal al cuplajului CEAH-60/1000 se obține la o alunecare  $s=0,04$ , iar la alunecarea  $s=0,3$  cît era alunecarea nominală al aceluiași cuplaj, cuplul devine  $266 N \cdot m$  deci de circa 4,5 ori mai mare.

Posibilitatea evacuării naturale a căldurii din indus, limitează în unele situații porțiunile de caracteristică mecanică admise în funcționare.

După cum se observă din graficele prezentate în fig. 4.18, utilizînd un strat de cupru  $\delta_{nef.lim}=0,004 m$  se poate explora în condiții normale de funcționare întreaga porțiune stabilă a caracteristicii de funcționare. Dacă se folosește, în schimb, un strat de cupru  $\delta_{nef}=0,001 m$  se poate explora

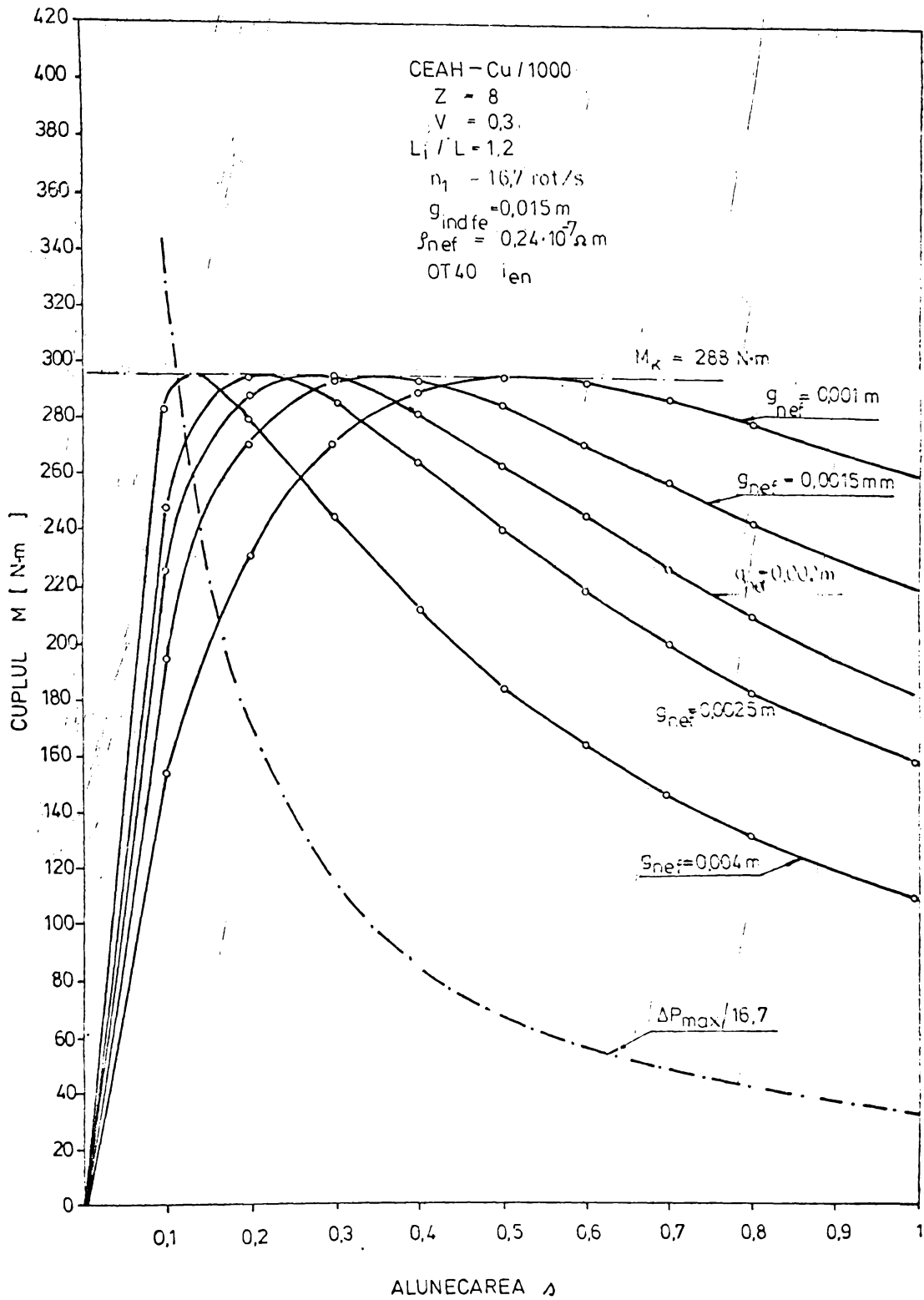


Fig.4.18. Curbele M=f(s) pentru cuplajul CEAH-Cu/1000 avind aplicat pe indus înspre intrefier un strat de cupru de grosime variabilă.

numai primele două treimi din porțiunea stabilă a caracteristicii, ultima treime intrând în zona pierderilor de putere în indus mai mari decât cele admisibile.

În concluzie la cele prezentate mai sus, se poate spune că :

a) Depunerea unui strat de metal neferomagnetic pe indus înspre întrefier, conduce la creșterea valorii cuplului transmis de cuplaj.

b) Există o grosime limitată  $\delta_{nef.lim}$  pentru stratul de metal neferomagnetic care permite utilizarea întregii porțiuni stabile din caracteristica mecanică a cuplajului fiind plasată sub curba pierderilor maxime de putere în indus. În cazul cuplajului CEAH-Cu/1000, grosimea stratului de cupru este  $\delta_{nef}=0,004m$ .

c) Pentru grosimi ale stratului neferomagnetic  $\delta_{nef} > \delta_{nef.lim}$  reglarea turației la ieșirea din cuplaj se poate face numai în limitele corespunzătoare alunecării  $s$ , unde  $0 < s \leq s_k$ ,  $s_k$  fiind alunecarea critică ce corespunde grosimii  $\delta_{nef}$ . În această situație punctul de funcționare al acționării cuplaj-mașină de lucru se poate plasa prin reglarea curentului de excitație numai în interiorul conturului limitat de curbele a, o și axa alunecării, fig.4.19.

d) Alegând pentru stratul de metal neferomagnetic o grosime  $\delta_{nef} < \delta_{nef.lim}$  se poate realiza reglarea turației la ieșirea din cuplaj în limite mai largi, întrucât alunecarea critică are valoare mai mare. Si acest lucru este ilustrat în fig.4.19. Punctul de funcționare al acționării cuplaj-mașina de lucru poate ocupa orice poziție din interiorul conturului delimitat de curbele c, d, e și axa alunecării, dar valoarea cuplului transmis de cuplaj este inferioară valorii cuplului critic. Dacă se iau măsuri de răcire forțată a indusului, atunci punctul de funcționare poate fi plasat și în conturul delimitat de curbele d, f și g cu valori ale cuplului tinzând spre cuplul critic  $M_k$ .

e) Alegând o grosime potrivită pentru stratul de metal neferomagnetic se poate obține o caracteristică mecanică la care cuplul critic se obține la alunecarea critică  $s_k=1$ . În felul acesta se poate realiza o frână cu curenți turbionari de mare

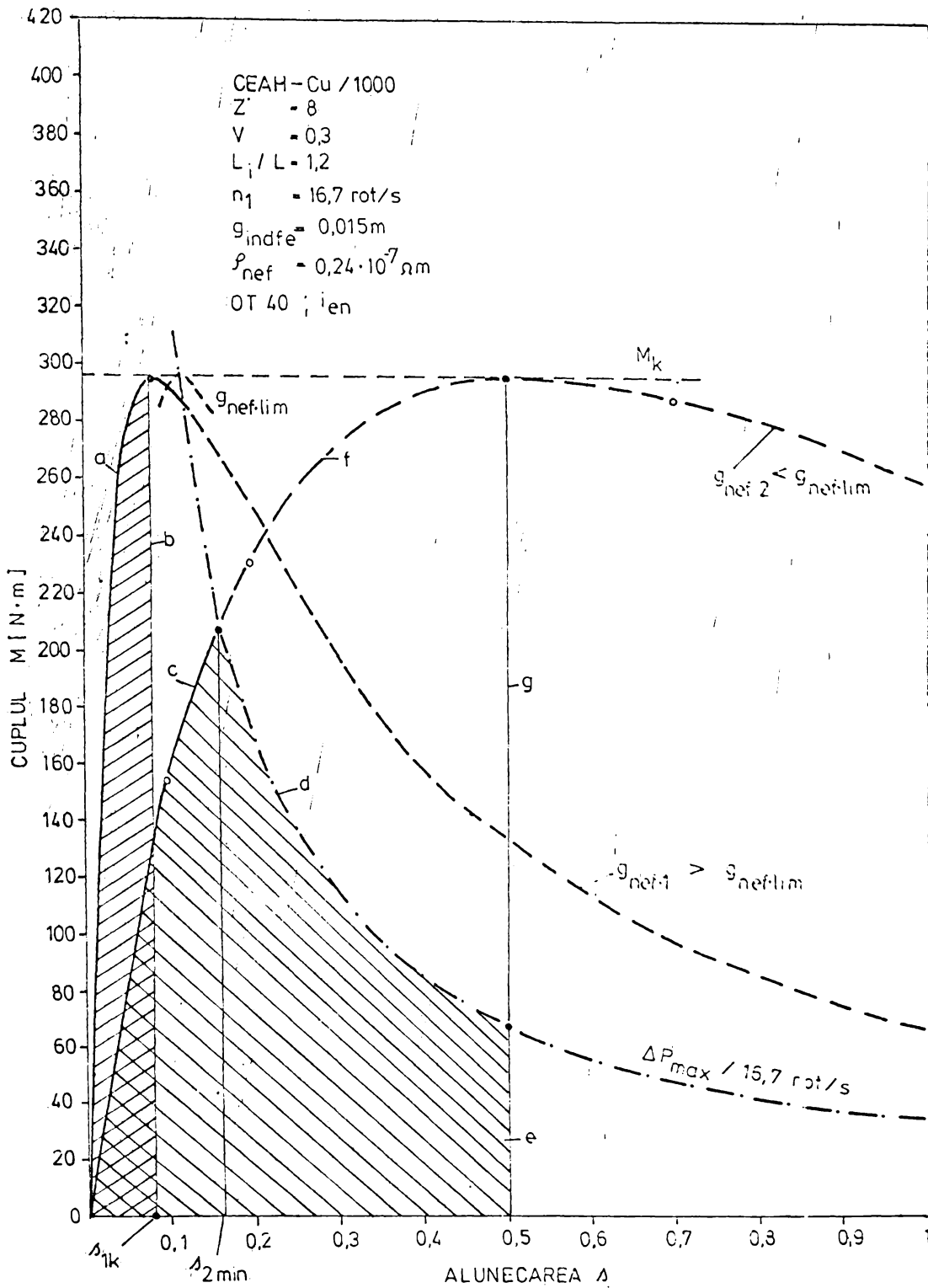


Fig.4.19. Explicativă privind influența grosimii stratului de metal neferomagnetic depus pe indus înspre întrefier asupra poziției punctului de funcționare ale unei acționări cu cuplaj electromagnetic cu alunecare de tip CEAH-Cu/1000.

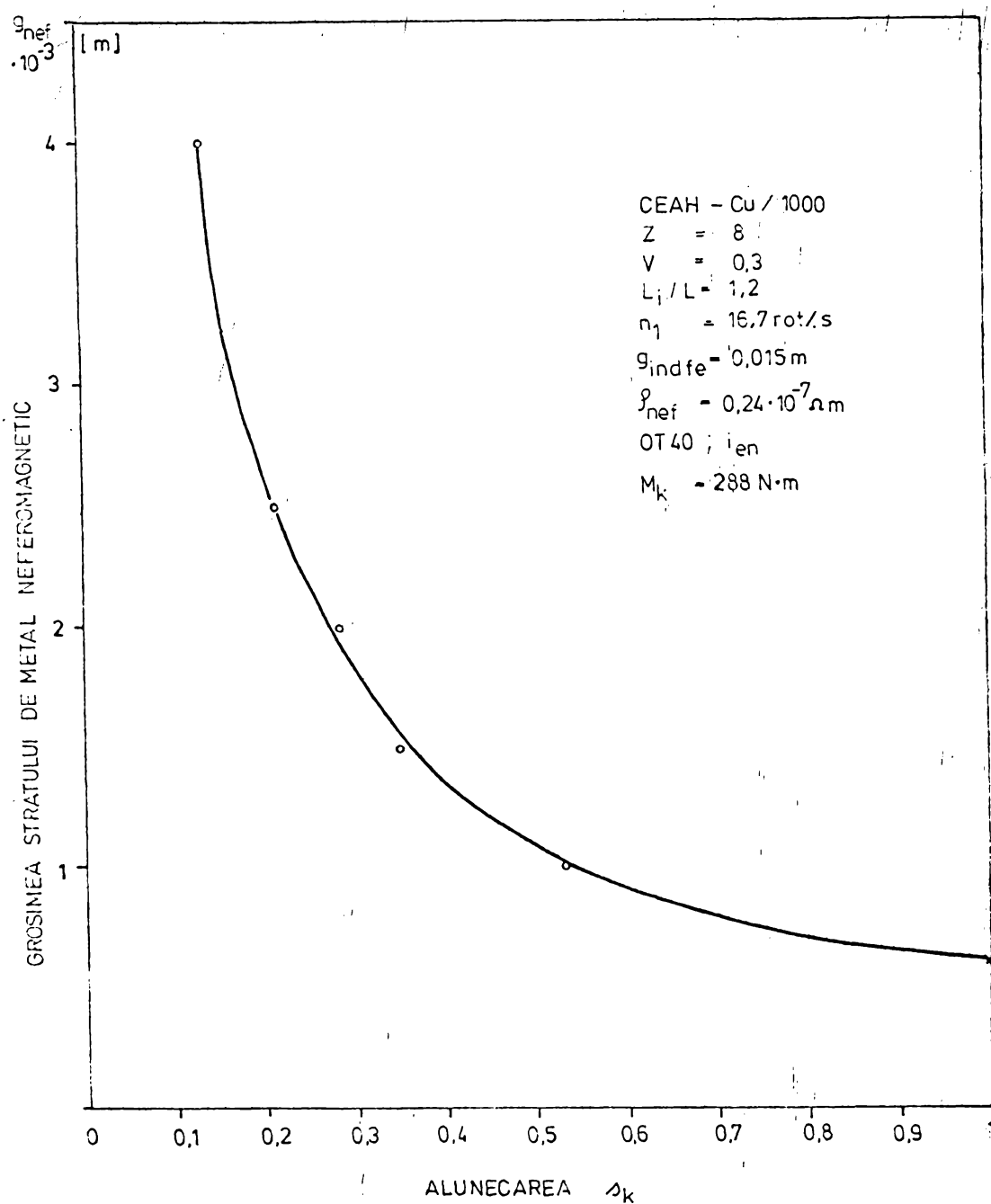


Fig.4.20. Curba  $g_{nef} = g_{nef}(s_k)$  pentru cuplajul CEAH-Cu/1000 în vederea determinării valorii lui  $g_{nef}$  pentru funcționarea în regim de frână cu indusul blocat.



randament, la care cuplul de frinare este de valoare ridicată. Mașina care trebuie frînată se leagă la inductor, iar indusul se blochează putînd fi răcit forțat, spre exemplu cu apă.

În fig.4.20 s-a reprezentat pentru cuplajul CEAH-Cu/1000 dependența dintre grosimea stratului de cupru și alunecarea critică pentru care cuplul dezvoltat de cuplaj are valoarea critică. Cu ajutorul graficului s-a determinat că pentru transformarea cuplajului CEAH-Cu/1000 în vederea funcționării în regim de frînă este necesar ca stratul de cupru să aibă grosimea  $\delta_{nef}=0,000625$  m. Această frînă dezvoltă un cuplu de frinare maxim în valoare de 288 N.m.

Anexa F<sub>1</sub> prezintă date și pentru ridicarea caracteristicilor de putere pentru toate situațiile prezentate mai sus.

#### 4.4.3.2. Influența rezistivității stratului de metal neferomagnetic $\rho_{nef}$

Cu ajutorul programului CEAH11 se generează funcția (3.77) în vederea studierii influenței rezistivității stratului de metal neferomagnetic asupra caracteristicilor mecanice ale cuplajului CEAH-Cu/1000. Rezultatele obținute în urma rulării programului pe calculator sînt prezentate în anexa F<sub>2</sub>, iar în fig. 4.21 se prezintă caracteristicile mecanice  $M=f(s)$  pentru cuplajul CEAH-Cu/1000 avînd aplicat pe indus un strat de metal neferomagnetic de grosime  $\delta_{nef}=0,001$  m și diferite valori pentru rezistivitatea  $\rho_{nef}$ .

Din analiza graficului se constată că aceste caracteristici se aseamănă cu cele ale unui motor asincron cu rotorul bobinat avînd introdus în circuitul rotoric un reostat cu rezistență variabilă. Creșterea rezistivității stratului de metal neferomagnetic de pe indusul cuplajului electromagnetic are același efect asupra caracteristicii mecanice a cuplajului ca și creșterea valorii rezistenței din circuitul rotoric a unui motor asincron asupra caracteristicilor mecanice ale acestuia, adică cuplul critic rămîne constant cu creșterea rezistivității stratului de metal neferomagnetic, în schimb crește alunecarea critică.

Dacă printr-o metodă oarecare s-ar reuși ca pe o adîncime de 0,001 m sa se distrugă numai proprietățile magnetice ale oțelului, pe suprafața indusului înspre intrefier ar exista un

strat neferomagnetic cu rezistivitatea  $\rho_{nef}=2,4 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot m$ . Acest lucru ar permite îmbunătățirea parametrilor de funcționare a cuplajului CEAH-60/1000 întrucât la alunecarea  $s=0,3$  cuplul dezvoltat de cuplaj la curentul nominal de excitație ar crește de la 60 N.m la 100 N.m, deci o creștere cu 70 %.

Din analiza graficelor prezentate în fig.4.21 se poate trage concluzia că alegând pentru stratul  $\delta_{nef}=0,001 \text{ m}$  un metal neferomagnetic cu rezistivitatea de cca.  $0,52 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot m$ , cuplul critic  $\tau$ -ar obține la o alunecare critică de cca  $s_k=1$ , deci cuplajul CEAH-Cu/1000 ar putea funcționa în regim de frână cu un cuplu de frinare maxim de 288 N.m.

Cele menționate în paragraful 4.4.3.1. și 4.4.3.2. privind asemănarea caracteristicilor mecanice ale cuplajului electromagnetic cu alunecare, avînd stratul de metal neferomagnetic de grosime variabilă și diferite rezistivități, cu cele ale unui motor asincron cu rotorul bobinat, trebuie înțelese că rămîn valabile pentru grosimi ale stratului de metal neferomagnetic mult inferioare grosimii indusului feromagnetic, adică :

$$\delta_{nef} \ll \delta_{ind.fe}$$

#### 4.4.3.3. Alegerea grosimii $\delta_{nef}$ a stratului de cupru în vederea realizării practice a cuplajului CEAH-Cu/1000.

Pentru realizarea practică a cuplajului CEAH-Cu/1000 s-a ales un strat de cupru de grosime  $\delta_{nef} = 0,001 \text{ m}$ , prin intermediul caruia se poate realiza o caracteristică mecanică ce permite explorarea domeniului pentru alunecarea cerută în acționarea propusă, adică  $0 < s < 0,5$  conform fig.4.18 și 4.19.

#### 4.4.4. Optimizarea cuplajului CEAH-Cu/1000

Optimizarea cuplajului CEAH-Cu/1000 urmărește, așa cum s-a precizat în paragraful 4.4.1, recalcularea parametri-

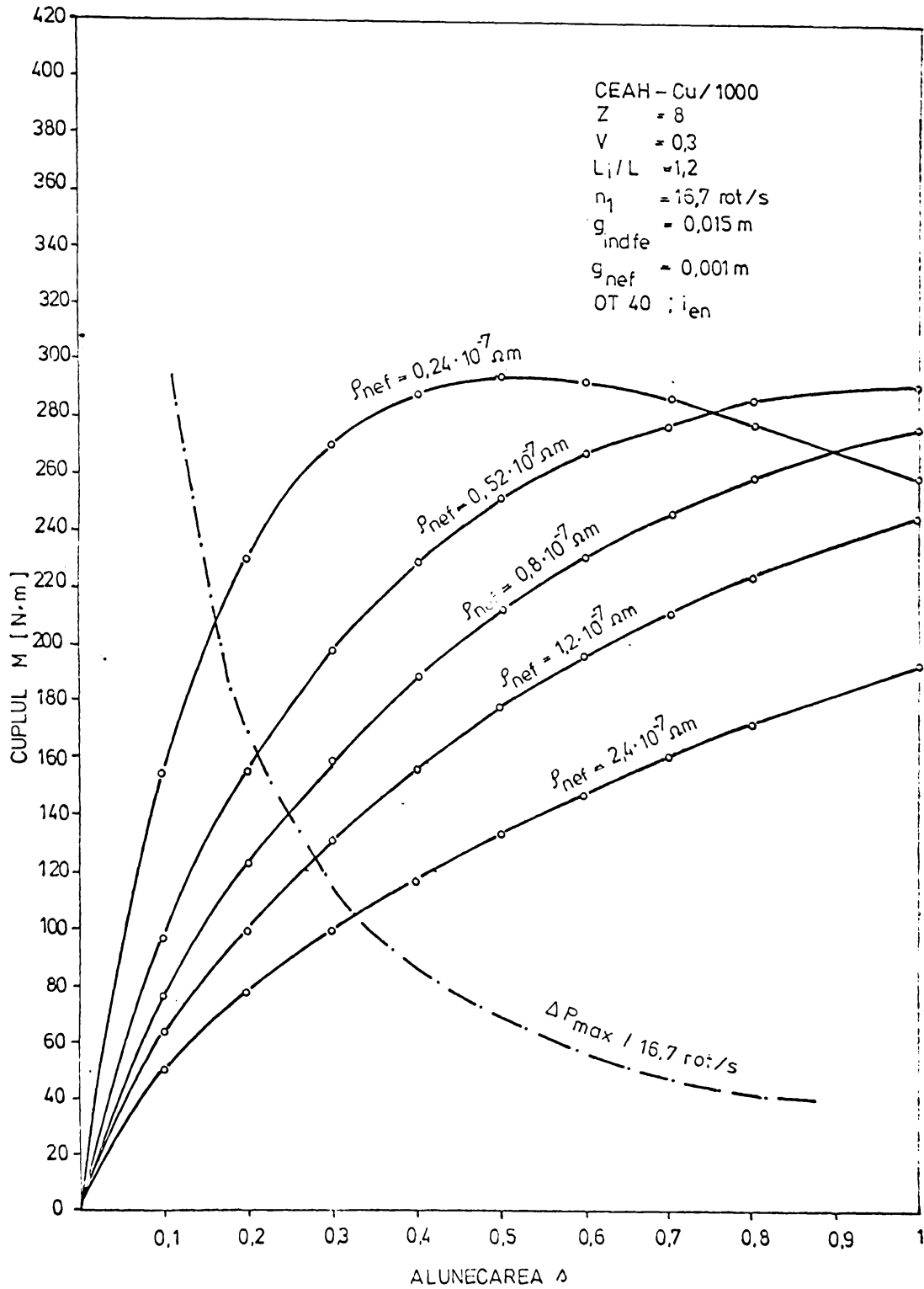


Fig.4.21. Curbele  $M=f(s)$  pentru cuplajul CEAH-Cu/1000 avînd aplicat pe indus înspre întrefier un strat de metal neferomagnetic cu diferite valori pentru rezistivitatea  $\rho_{nef}$ .

lor  $Z_0, V_0, (L_1/L)_0$  și  $(g_{ind.fe})_0$ , care conduc la un cuplu specific maxim dezvoltat de cuplaj, în condițiile în care stratul de metal neferomagnetic are grosimea  $g_{nef}$  și rezistivitatea  $\rho_{nef}$  determinate astfel încât să se obțină caracteristica mecanică dorită (paragraful 4.4.3.3).

Generarea funcțiilor (3.79) pe calculator și trasarea graficelor corespunzătoare au arătat că fiecare parametru menționat influențează independent unul de altul valoarea cuplului specific, curbele prezentând câte un singur punct de maxim pe domeniul de definiție. În urma analizei graficelor și acceptând aceeași eroare de  $\pm 5\%$  în determinarea punctului de maxim, s-a convenit ca valorile optime pentru parametri să fie :  $Z_0=8$ ,  $V_0=0,3$ ,  $(L_1/L)_0=1,2$  și  $(g_{ind.fe})_0=0,015$  m, aceleași ca și pentru cuplajul CEAH-60/1000. Acest lucru a permis ca noua variantă de cuplaj, adică CEAH-Cu/1000, să se obțină din cuplajul CEAH-60/1000 prin simpla înlocuire a indusului feromagnetic masiv cu indusul prevăzut pe întrefier cu un strat de cupru.

În continuare, pentru ilustrarea modului în care au fost determinate valorile optime pentru parametri menționați, se prezintă numai aspectele ce privesc determinarea valorii optime pentru grosimea  $g_{ind.fe}$  a indusului.

Se generează funcția (3.79) referitoare la variația cuplului specific în funcție de grosimea efectivă a metalului feromagnetic  $M_{sp}=f(g_{ind.fe})$  pentru curentul nominal de excitație și având ca parametru alunecarea  $s$ .

Rezultatele obținute în urma rulării pe calculator sînt prezentate în anexa R<sub>3</sub>, iar curbele corespunzătoare sînt trasate în fig.4.22.

Din analiza curbelor se constată, așa cum s-a menționat mai sus, că parametrul  $g_{ind.fe}$  influențează valoarea cuplului specific, curbele respective prezentînd un singur punct de maxim pe domeniul de definiție, iar poziția punctului de maxim depinde de valoarea alunecării.

Micșorarea grosimii  $g_{ind.fe}$  atrage după sine obținerea cuplului specific maxim pentru alunecări mai mari.

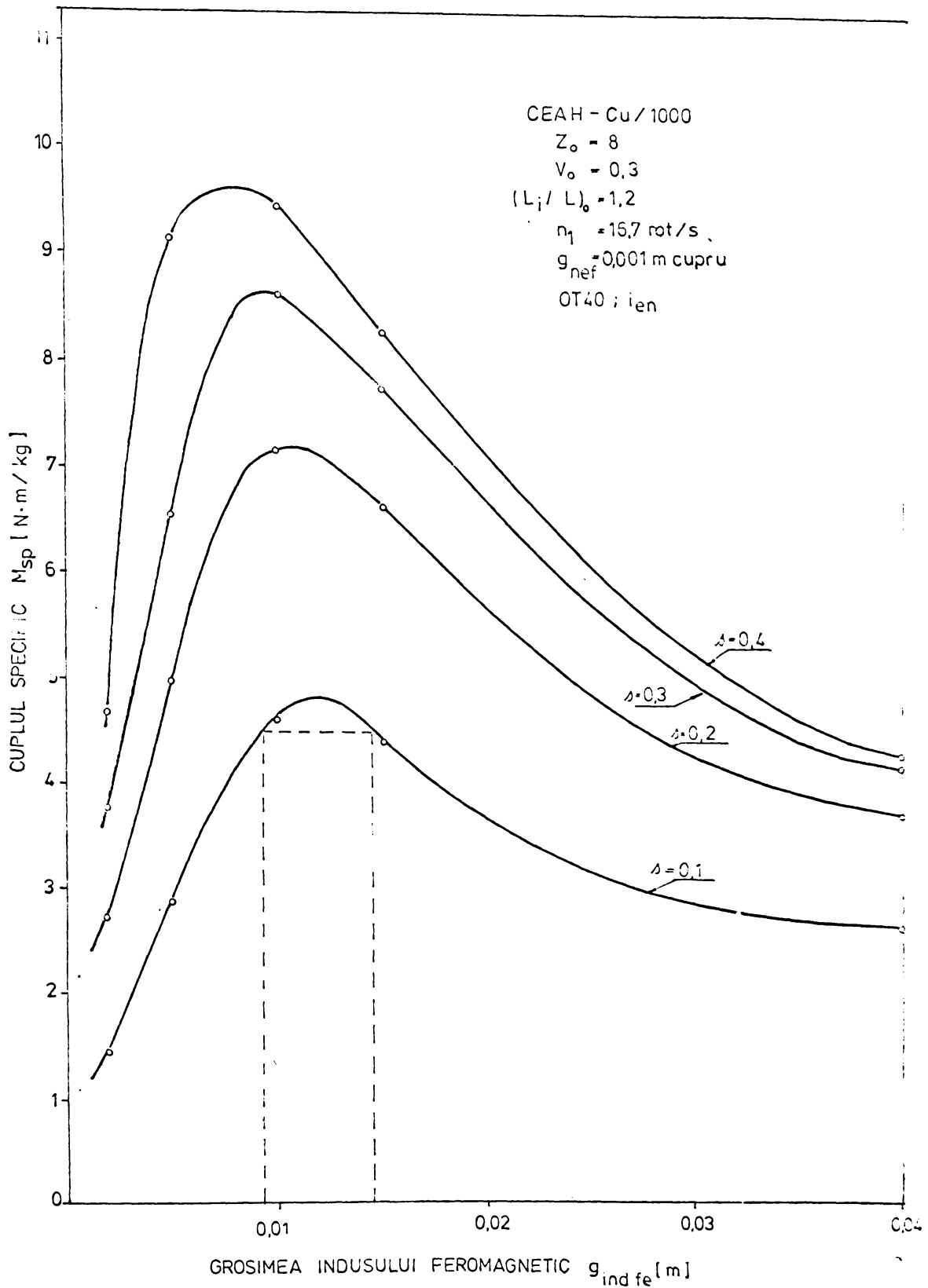


Fig.4.22. Determinarea grosimii optime a indusului feromagnetic masiv pentru cuplajul CEAH-Cu/1000.

Pentru o alunecare  $s=0,1$  și acceptând eroarea de  $\pm 5\%$  în stabilirea punctului de maxim, se poate alege  $(g_{ind.fe})_0 = 0,015$  m, ceea ce conduce la o grosime totală a indusului  $(g_{ind}) = 0,016$  m.

Folosind aceleași date din anexa F<sub>3</sub>, în fig.4.23 au fost trasate curbele de variație a cuplului dezvoltat de cuplaj în funcție de alunecare și avînd ca parametru pe  $g_{ind.fe}$ . Si din analiza acestor curbe se desprinde concluzia că alegerea dimensiunii pentru  $g_{ind.fe}$  este o problemă de optimizare, deoarece de la anumite grosimi ale indusului feromagnetic, dublarea acesteia nu mai conduce la o creștere sensibilă a valorii cuplului dezvoltat de cuplaj.

#### 4.4.5. Caracteristicile mecanice și de putere pentru cuplajul CEAH-Cu/1000 optimizat.

Se generează funcțiile (3.80 și 3.81) și folosind programul de calcul CEAH11 se calculează caracteristicile mecanice și de putere pentru cuplajul CEAH-Cu/1000 optimizat, avînd ca parametru valoarea curentului de excitație. Valorile calculate sînt prezentate în anexa F<sub>4</sub>. Caracteristicile mecanice ale cuplajului sînt trasate în fig.4.24, iar cele de putere în fig.4.25.

Spre comparație, aceleași calcule sînt efectuate pentru cuplajul CEAH-Cu/1000 prevăzut cu un indus feromagnetic de grosime  $g_{ind.fe} = 0,003$  m.

Din analiza curbelor trasate se constată performanțele deosebite ale cuplajului CEAH-Cu/1000 optimizat în raport cu cele ale cuplajului CEAH-60/1000 optimizat.

Performanțe asemănătoare cu ale cuplajului CEAH-60/1000 optimizat le prezintă cuplajul CEAH-Cu/1000 la care grosimea indusului feromagnetic este de numai 0,003 m și deci grosimea totală a indusului este de aproape 4 ori mai mică.

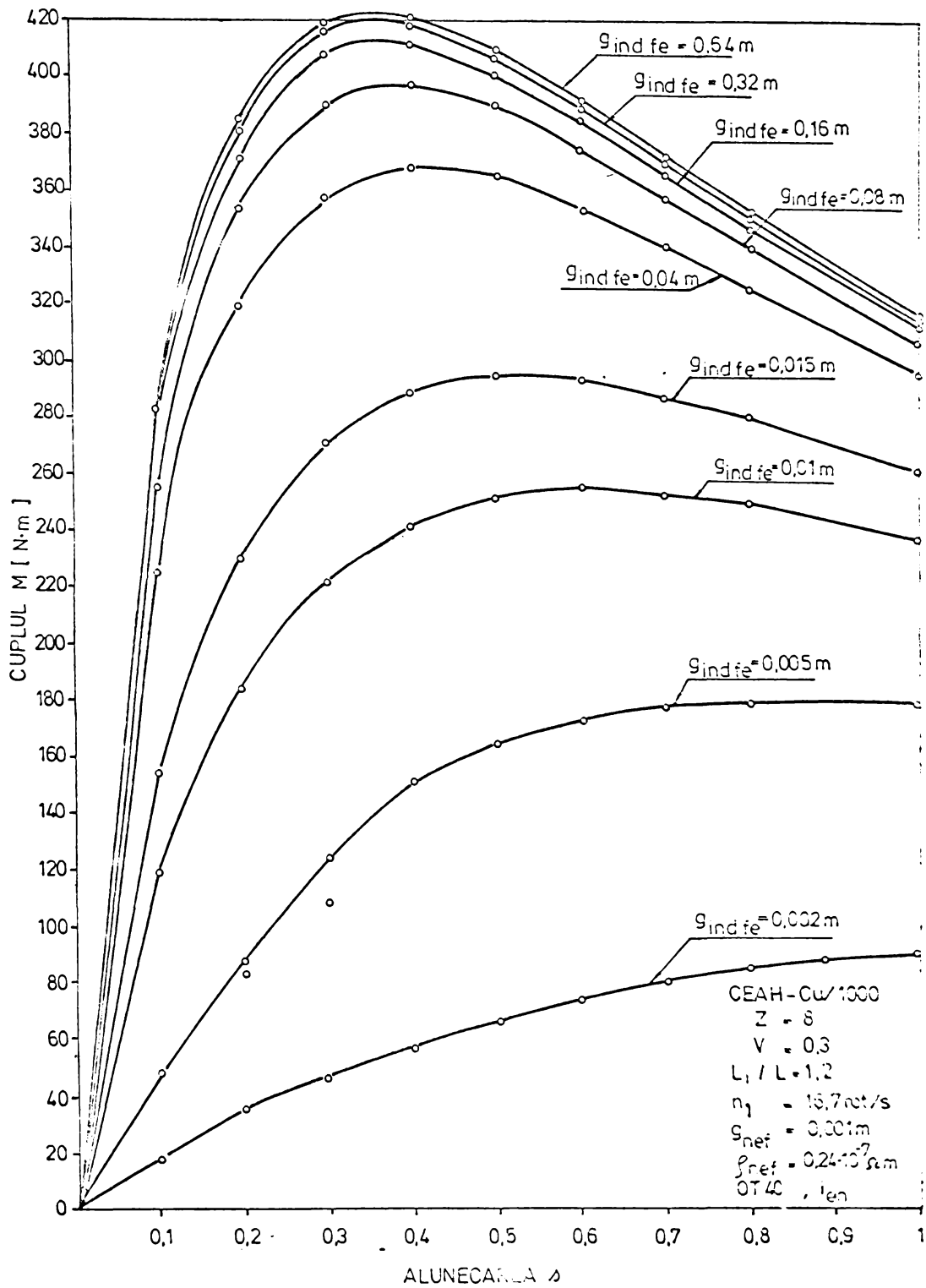


Fig.4.23. Curbele  $M=f(s)$  pentru cupiajul CEAH-Cu/1000, avind indusul feromagnetic de grosime variabila.

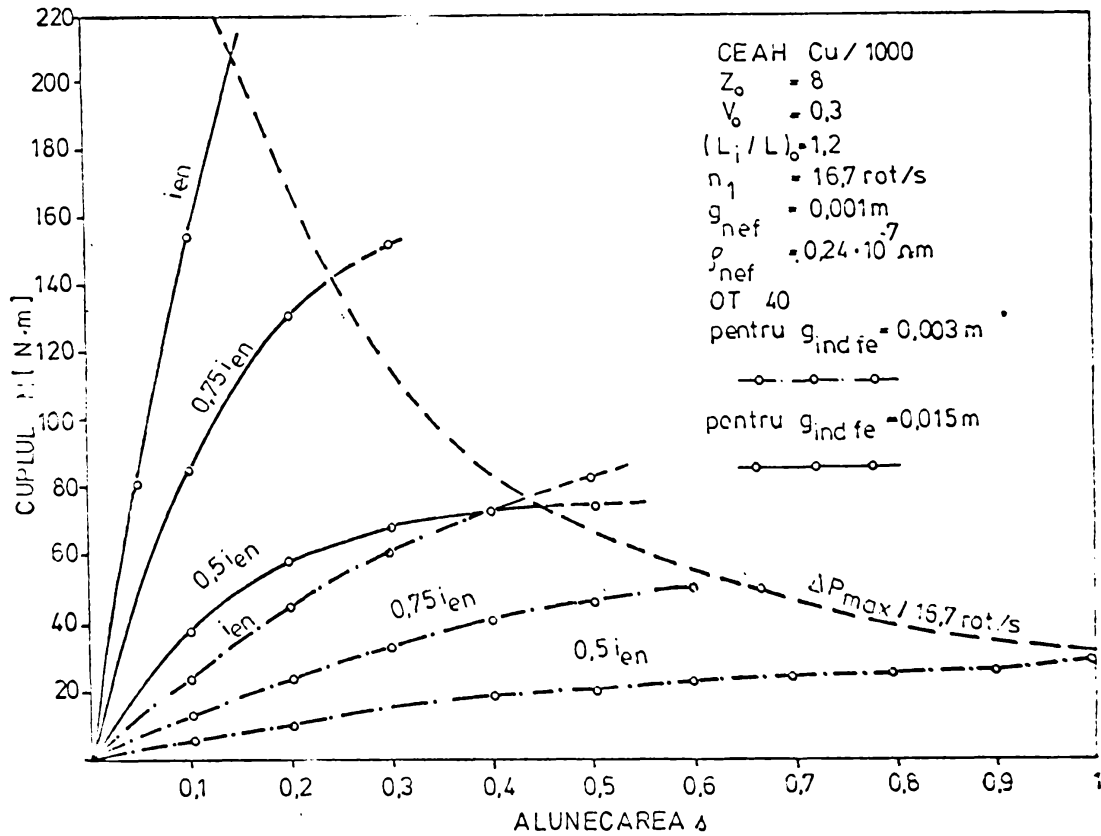


Fig.4.24. Caracteristicile de funcționare ale cuplajului CEAH-Cu/1000 optimizat având indusul feromagnetic de grosimi 0,015 m și respectiv 0,003 m și grosimea stratului de cupru de 0,001 m.



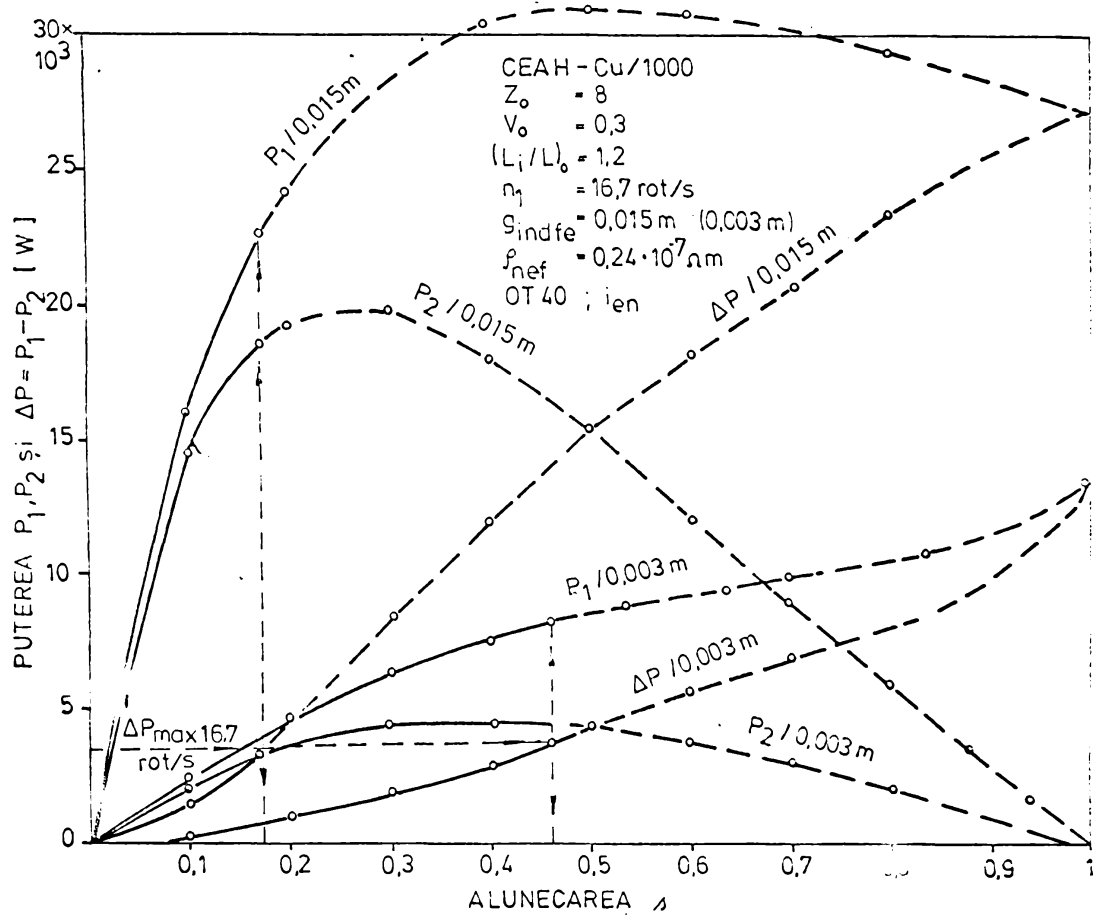


Fig.4.25. Caracteristicile de putere ale cuplajului CEAH-Cu/1000.

CAPITOLUL V

REZULTATELE EXPERIMENTALE SI APRECIERI ASUPRA  
METODEI DE CALCUL ADOPTATE

5.1. Instalația de încercare.

Instalația de încercare pentru cuplajele electromagnetice cu alunecare face parte din dotarea laboratorului de mecanică din cadrul Institutului de Subingineri Hunedoara. Aceasta permite determinarea cuplului electromagnetic dezvoltat de cuplaj pentru diferite alunecări și diferiți curenți de excitație. Schema de principiu este prezentată în fig.5.1, iar în fig.5.2 se prezintă o vedere de ansamblu asupra instalației existente.

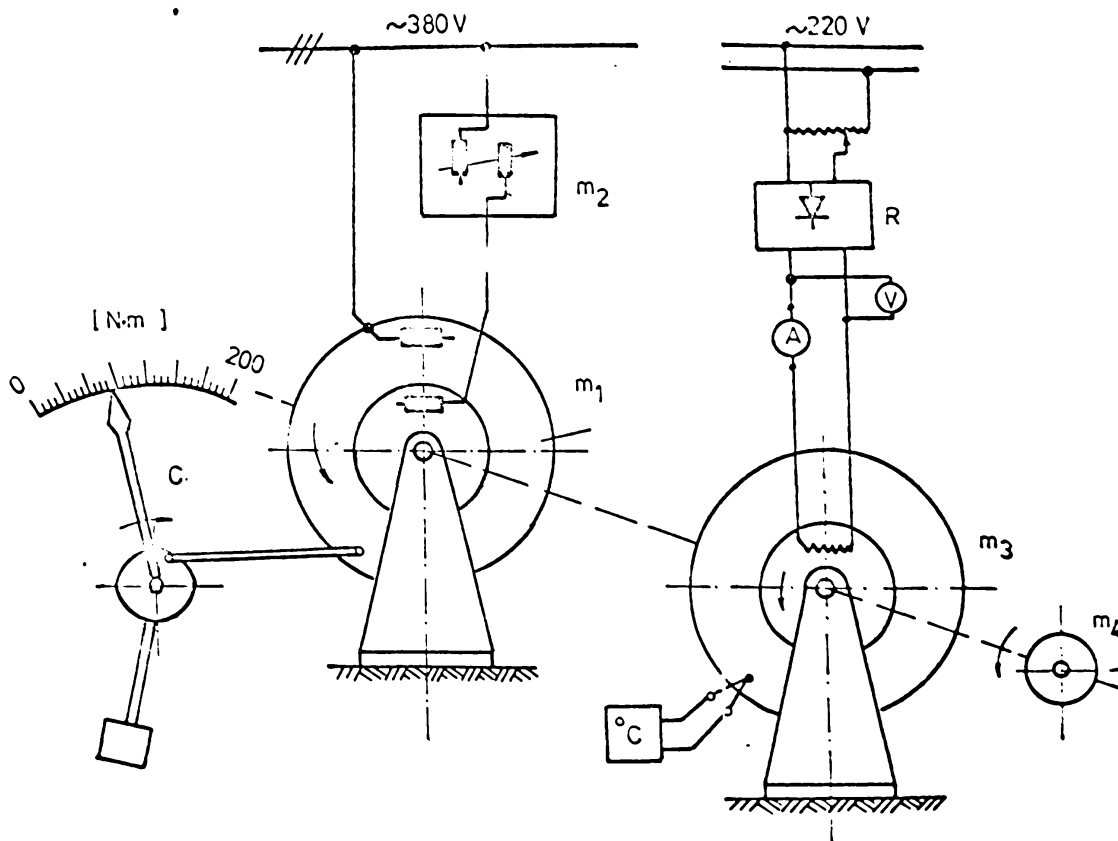


Fig.5.1. Schema instalației de încercare a cuplajului electromagnetic cu alunecare.

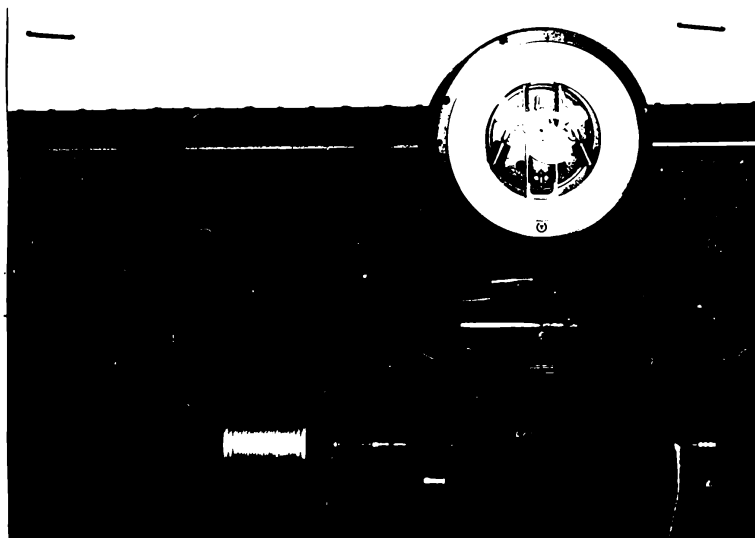


Fig.5.2. Vederea de ansamblu a instalației de încercare.

În principiu, instalația de încercare este formată din următoarele componente :

- $m_1$ - dinamometru;
- $m_2$ - regulator de inducție;
- $m_3$ - cuplaj electromagnetic cu alunecare pentru încercat;
- $m_4$ - tahogenerator;
- R- redresor;

A, V- ampermetru respectiv voltmetru de curent continuu;

C- cântar pentru măsurarea cuplului dezvoltat de cuplaj;

Dinamometrul  $m_1$  este o mașină de curent alternativ cu dublă alimentare, ce poate lucra atât în regim de motor cât și de generator. Statorul se alimentează direct de la rețeaua trifazată, iar rotorul este cuplat peste regulatorul de inducție  $m_2$  cu reglaj manual sau automat prin servomotor. Prin modificarea tensiunii reglabile cu care se alimentează rotorul, se modifică puterea dinamometrului, deci cuplul dezvoltat de acesta, deci cuplul dezvoltat de cuplajul electromagnetic cu alunecare cu care acesta este cuplat direct.

Rotorul dinamometrului se reazemă pe lagăre și formează cu

statorul o unitate mecanică. Efortul de torsiune care ia naștere în timpul încărcării (prin intermediul cuplajului) acționează asupra statorului în sens invers ca pe rotor. Întrucât statorul este basculant, se poate citi valoarea momentului direct la cântarul C (cadranul cântarului fiind gradat în N·m).

Termocuplul °C împreună cu aparatul de măsură permit ca citirea cuplului dezvoltat de cuplaj să se facă în condițiile în care temperatura indusului este egală cu temperatura considerată în calcule.

## 5.2. Rezultatele încercărilor de laborator.

Așa după cum s-a menționat și în cap. IV, în cadrul tezei de doctorat au fost calculate, optimizate și realizate practic două variante de cuplaje:

- cuplaj electromagnetic cu alunecare de tip homopolar cu indus masiv feromagnetic, simbolizat CEAH-60/1000;

- cuplaj electromagnetic cu alunecare de tip homopolar cu indus feromagnetic având depus pe indus înspre interior un strat de cupru, de grosime aleasă din considerente de a obține caracteristica mecanică dorită, simbolizat CEAH-Cu/1000.

Cu scopul de a scoate în evidență posibilitățile oferite de stratul de metal neferomagnetic în îmbunătățirea performanțelor cuplajelor, în cadrul tezei s-a mai calculat și realizat practic o variantă de cuplaj neoptimizată, la care grosimea indusului feromagnetic este mult mai mică decât cea a cuplajelor optimizate.

În continuare se prezintă rezultatele încercărilor de laborator pentru toate cele 3 cuplaje realizate practic.

### 5.2.1. Încercarea cuplajului CEAH-60/1000

Ridicarea caracteristicii mecanice  $M=r(s)$  pentru diferite valori a curentului de excitație a necesitat măsurarea cuplului dezvoltat de cuplaj, prin urmare cuplul cu care se încarcă motorul  $m_1$  pentru diferite turații relative a rotorului față de statorul blocat mecanic a cuplajului și raportarea acestei turații relative la turația nominală a motorului de antrenare, deci la turația nominală a cuplajului. Măsurătorile s-au efectuat în așa fel încât în timpul încercărilor indusul

cuplajului să aibă o temperatură de funcționare apropiată de cea impusă în calcule pentru temperatura teoretică de funcționare.

Rezultatele experimentale sînt prezentate în tabelul 5.1; alunecarea a fost determinată prin raportarea turației relative dintre rotorul și statorul cuplajului la o turație  $n_1=1000$  rot/min, corespunzătoare funcționării cuplajului CEAH-60/1000.

REZULTATELE ÎNCERCĂRII CUPLAJULUI CEAH-60/1000

Tabel 5.1

Nr. crt.	$0,5 i_{en}$				$0,75 i_{en}$				$i_{en}$			
	$n_1 - n_2$	$n_1$	$\Delta$	M	$n_1 - n_2$	$n_1$	$\Delta$	M	$n_1 - n_2$	$n_1$	$\Delta$	M
	rot/min	rot/min		N·m	rot/min	rot/min		N·m	rot/min	rot/min		N·m
1	100	1000	0,1	10	100	1000	0,1	21,5	100	1000	0,1	37,0
2	200	1000	0,2	13,5	200	1000	0,2	30,0	200	1000	0,2	50,0
3	300	1000	0,3	16,5	300	1000	0,3	36,0	300	1000	0,3	60,0
4	400	1000	0,4	18,0	400	1000	0,4	40,5	400	1000	0,4	67,5
5	500	1000	0,5	19,5	500	1000	0,5	44,0				
6	600	1000	0,6	20,5	600	1000	0,6	46,5				
7	700	1000	0,7	21,0	700	1000	0,7	48,0				
8	800	1000	0,8	21,5								
9	900	1000	0,9	22,0								
10	1000	1000	1,0	22,5								

În baza acestor date experimentale în fig.5.3 sînt trasate - pentru comparație atât caracteristicile mecanice experimentale cît și cele teoretice aferente cuplajului CEAH-60/1000. Din analiza acestor caracteristici se poate desprinde concluzia că estimarea teoretică a caracteristicilor mecanice ale cuplajului prin utilizarea programului de calcul CEAH01 bazat pe metoda straturilor, a dat rezultate bune, abaterile de la valorile măsurate nu depășesc 10 %, eroare admisă în calculele ingineresti.

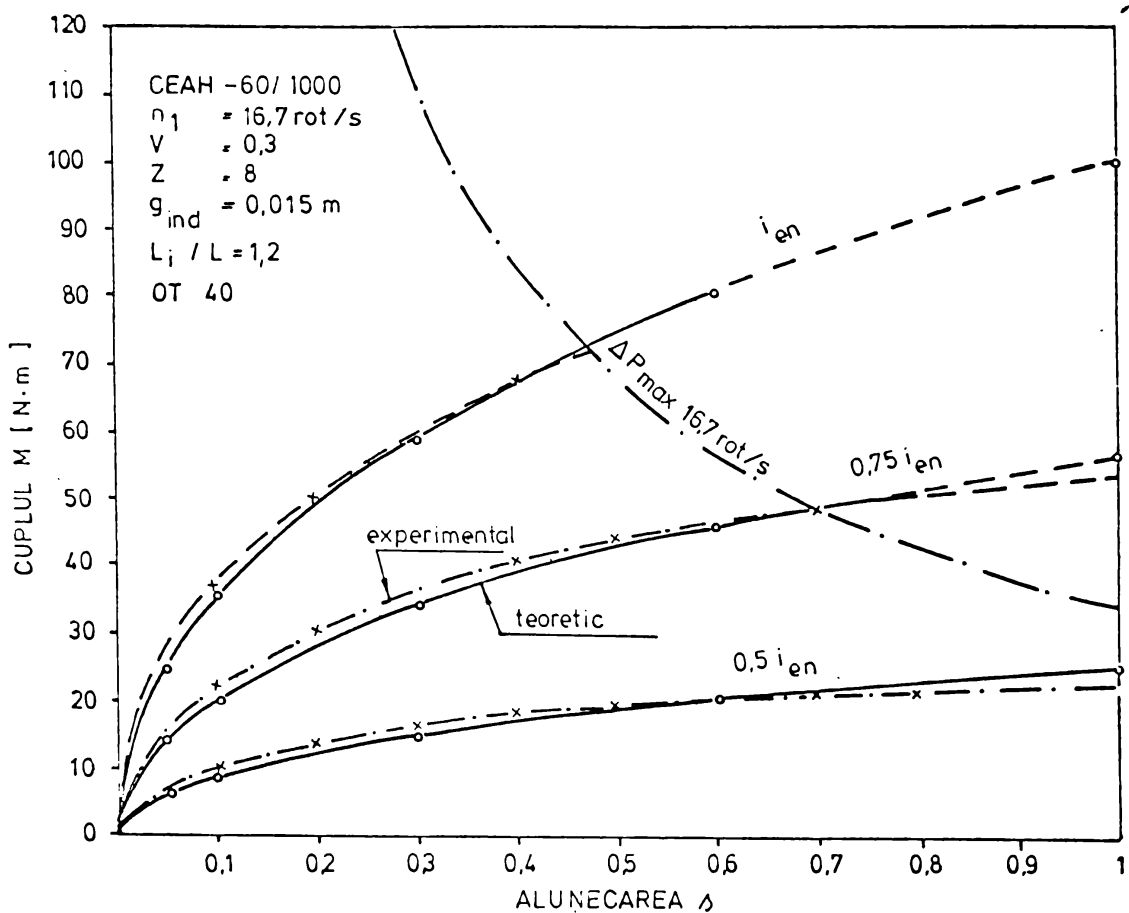


Fig.5.3. Caracteristicile mecanice  $M=M(s)$  aferente cuplajului CEAH-60/1000.

5.2.2. Rezultatele încercării cuplajelor CEAH-Cu/1000.

Încercarea cuplajelor s-a efectuat în același mod prezentat la aliniatul precedent pentru cuplajul CEAH-60/1000, rezultatele experimentale sînt cuprinse în tabelele 5.2 pentru cuplajul CEAH-Cu/1000 și respectiv 5.3.pentru cuplajul CEAH-Cu/1000 neoptimizat.

În baza datelor experimentale, în fig. 5.4 sînt prezentate spre comparație atât caracteristicile mecanice teoretice cît și cele experimentale pentru ambele cuplaje. Din analiza graficelor se poate trage concluzia că programul de calcul CEAH11 permite calcularea caracteristicilor mecanice pentru cuplajele electromagnetice cu alunecare cu indus masiv feromagnetic avînd

REZULTATELE ÎNCERCĂRII CUPLAJULUI CEAH-Cu/1000 OPTIMIZAT  
 AVÎND INDUSUL FEROMAGNETIC  $g_{ind\ fe} = 0,015\ m$

Tabel 5.2.

Nr crt	$0,5\ i_{en}$				$0,75\ i_{en}$				$i_{en}$			
	$n_1-n_2$	$n_1$	$\lambda$	M	$n_1-n_2$	$n_1$	$\lambda$	M	$n_1-n_2$	$n_1$	$\lambda$	M
	rot/min	rot/min		N·m	rot/min	rot/min		N·m	rot/min	rot/min		N·m
1	50	1000	0,05	22,0	50	1000	0,05	30,0	50	1000	0,05	63,5
2	100	1000	0,1	35,5	100	1000	0,1	76,5	100	1000	0,1	146
3	200	1000	0,2	55,0	150	1000	0,15	100	150	1000	0,15	188
4	300	1000	0,3	64,5	200	1000	0,2	120				
5	400	1000	0,4	72,5								

REZULTATELE ÎNCERCĂRII CUPLAJULUI CEAH Cu/1000 NEOPTIMIZAT  
 AVÎND INDUSUL FEROMAGNETIC  $g_{ind\ fe} = 0,003\ m$

Tabel 5.3.

Nr crt	$0,5\ i_{en}$				$0,75\ i_{en}$				$i_{en}$			
	$n_1-n_2$	$n_1$	$\lambda$	M	$n_1-n_2$	$n_1$	$\lambda$	M	$n_1-n_2$	$n_1$	$\lambda$	M
	rot/min	rot/min		N·m	rot/min	rot/min		N·m	rot/min	rot/min		N·m
1	50	1000	0,05	4,5	50	1000	0,05	8,5	50	1000	0,05	22,0
2	100	1000	0,1	7,5	100	1000	0,1	15,5	100	1000	0,1	36,0
3	200	1000	0,2	12,5	200	1000	0,2	26,5	200	1000	0,2	55,0
4	300	1000	0,3	15,5	300	1000	0,3	34,5	300	1000	0,3	65,0
5	400	1000	0,4	18,0	400	1000	0,4	41,0	400	1000	0,4	72,5
6	500	1000	0,5	20,0	500	1000	0,5	45,0				
7	600	1000	0,6	21,0	600	1000	0,6	48,5				
8	700	1000	0,7	21,5								
9	800	1000	0,8	22,5								
10	900	1000	0,9	24,0								
11	1000	1000	1,0	25,0								

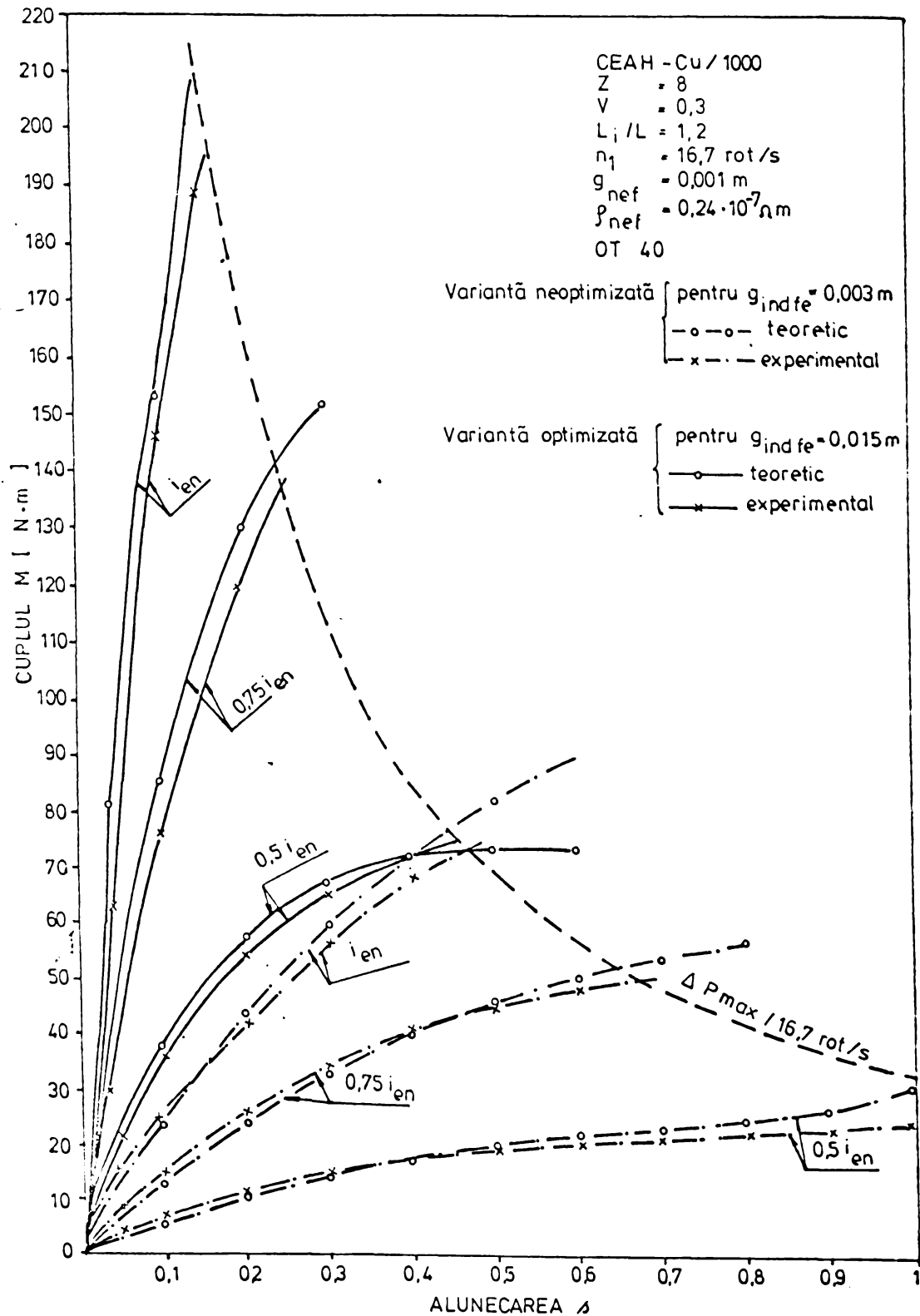


Fig.5.4. Caracteristicile de runctionare ale cuplajului CEAH-Cu/1000 avind indusul feromagnetic  $g_{\text{ind.fe}}$  de 0,015 m, respectiv 0,003 m si grosimea stratului de cupru  $g_{\text{nef}} = 0,001 \text{ m}$ .



depus pe inaus înspre întrefier un strat de metal neferomagnetic, program bazat pe metoda straturilor și dă rezultate bune, erorile încadrându-se în cele admise pentru calculele ingineresti, fiind sub 10 %.

5.3. Comparatie între cuplajele realizate în cadrul prezentei lucrări și cuplajele realizate de firme constructoare de cuplaje din URSS și RFG.

La aprecierea performanțelor cuplajului CEAH-60/1000 s-au avut în vedere lucrările /30,48 / referitoare la performanțele cuplajelor electromagnetice cu alunecare cu indus masiv feromagnetic fabricate în URSS și respectiv RFG. Din analiza acestor lucrări se constată că cuplajul CEAH-60/1000, cu toate că nu este realizat cu materiale cu calități magnetice deosebite, atinge performanțele cuplajelor realizate de firmele constructoare consacrate. Astfel, cuplajul CEAH-60/1000 cu o masă de 95 kg se încadrează între tipurile de cuplaje П MC-0,6 și П MC-1 fabricate în URSS cu masele de 54 și respectiv 120 kg care dezvoltă un cuplu nominal de 60 și respectiv 100 N.m. De asemenea, cuplajul CEAH-60/1000 se încadrează între tipurile de cuplaje IKM22 și IKM26 fabricate în RFG de firma Stromag care dezvoltă la o turație relativă dintre indus și inductor de 750 rot/min cupiuri de 72 și respectiv 105 N.m, având masele de 80 și respectiv 115 kg. Din fig.5.3. se poate vedea că CEAH-60/1000 dezvoltă la aceeași turație relativă un cuplu de 90 N.m, necesitând ca și tipurile de cuplaje IKM ventilator pentru răcire forțată.

Cuplajul CEAH-Cu/1000 nu-și are corespondent în cataloagele de produse mai sus menționate, nefiind fabricat de firmele respective. Performanțele unui astfel de cuplaj se găsesc undeva între cele ale cuplajului cu indus masiv feromagnetic și cele ale cuplajului asincron cu indus bobinat. La subcapitolul 4.4. s-au prezentat performanțele deosebite obținute de cuplajul CEAH-Cu/1000 față de cele ale cuplajului CEAH-60/1000. Performanțele cuplajului CEAH-Cu/1000 sînt însă inferioare performanțelor unui cuplaj cu indus bobinat cum ar fi spre exemplu cel fabricat de firma Stromag IKS36A/64-231 care avînd o masă de cca 115 kg,

dezvolta un cuplu critic de 550 N.m față de cei 288 N.m dezvoltați de cuplajul CEAH-Cu/1000 cu o masă de cca 95 kg. Trebuie însă avut în vedere că la cuplajul CEAH-Cu/1000 circuitul magnetic nu este realizat cu materiale magnetice cu proprietăți deosebite, Cuplajul CEAH-Cu/1000 prezintă însă avantajul unei tehnologii de execuție incomparabil mai simple decât al cuplajelor asincrone cu indusul bobinat.

## CAPITOLUL VI

### CONCLUZII

1. În literatura de specialitate, expresiile analitice pentru calculul caracteristicilor de funcționare ale cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare cu indus masiv feromagnetic, sînt obținute în baza unor premise simplificatoare care constau în aproximarea curbei de magnetizare a materialului indusului feromagnetic printr-o funcție exponențială, luarea în considerare a unei permeabilități magnetice a materialului indusului cu variație exponențială sau chiar constantă.

Pentru eliminarea influențelor negative a ipotezelor de calcul asupra rezultatelor de calcul privind caracteristicile de funcționare ce se obțin cu metodele din literatura de specialitate, în teză se aplică sub o formă originală "metoda straturilor" ce permite utilizarea curbei reale de magnetizare a materialului din care este realizat circuitul magnetic al cuplajului sau frînei.

2. Metoda straturilor de calcul a cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare constă în divizarea fictivă a indusului feromagnetic masiv într-un număr  $S$  de straturi, fiecărui strat fiindu-i atribuite valori constante pentru permeabilitatea magnetică  $\mu$  corespunzătoare cîmpului magnetic din stratul respectiv.

Originalitatea în aplicarea metodei straturilor la calculul cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare constă în următoarele:

2.1. Metoda straturilor îmbină calculul analitic cu un calcul numeric pe calculator fără de care finalizarea ei nu ar fi posibilă. Calculul analitic constă în scrierea și prelucrarea unui sistem de  $2S+2$  ecuații cu tot atîtea necunoscute complexe aferente cîmpului electromagnetic din intrefier și din cele  $S$  straturi de divizare fictivă a indusului masiv, iar calculul numeric constă în calcularea acestui sistem de ecuații și determinarea performanțelor cuplajului.

2.2, Divizarea indusului masiv se face în așa fel încît pe fiecare din cele  $S$  straturi să existe o aceeași atenuare procentuală a intensității cîmpului magnetic  $H_x$  (se are în vedere siste-

mul de axe de coordonate prezentat în fig.2.1). În procesul de calcul pe calculator, recalcularea grosimii straturilor indusului se face în funcție de valoarea adâncimii de pătrundere a câmpului electromagnetic în indus, care la rândul ei este recalculată în funcție de permeabilitatea magnetică  $\mu$  aferentă primului strat de divizare numerotat dinspre întrefier.

2.3. La calculul ecuațiilor câmpului electromagnetic s-a lucrat cu o inducție echivalentă de calcul, care are aceeași perioadă și fază inițială ca și prima sinusoidă din dezvoltarea în serie Fourier a distribuției inducției magnetice reale din întrefierul cuplajului și cu valoare efectivă egală cu valoarea efectivă a tuturor armonicilor din dezvoltarea în serie Fourier. Substituirea distribuției inducției magnetice reale din întrefier cu inducția echivalentă de calcul, conduce la micșorarea erorilor de calcul a performanțelor cuplajului față de situația când s-ar lucra numai cu armonica fundamentală în serie Fourier.

2.4. Calcularea permeabilității magnetice  $\mu_i$  aferente stratului cu numărul de ordine  $i$ , se face printr-un calcul iterativ, în funcție de componenta normală a inducției magnetice  $B_{y,i}$  de pe suprafața de separație dintre straturi, înspre întrefier, folosind interpolarea polinomială, curba  $\mu = f(B)$  fiind introdusă prin puncte în memoria calculatorului.

În vederea reducerii erorilor de propagare în procesul de interpolare, în cadrul tezei s-a mers pe o interpolare polinomială printr-un număr maxim de 8 puncte consecutive. Stabilirea poziției acestor puncte pe curba  $\mu = f(B)$  se face, în procesul de calcul pe calculatorul numeric prin comparare, astfel ca  $B_{y,i}$  să se găsească la jumătatea intervalului de interpolare.

2.5. La determinarea lungimii active  $L_a$  a indusului (fig.3.3) s-a mers pe ideea luării în considerare a lungimii maxime dintre valorile determinate din considerente termice  $L_{at}$  și electromagnetice  $L_{am}$ . La determinarea lungimii  $L_{at}$  s-a ținut seama de rezultatele experimentale obținute de firmele specializate în construcția de cuplaje, iar lungimea  $L_{am}$  s-a calculat cu expresia (3.24) dedusă în lucrare.

2.6. La calcularea reluctanței magnetice  $R_{m1}$  a inductorului și a excitației totale  $F$  din cuplaj, prin relațiile (3.44) și (3.47) se ține seama și de prezența componentei continue a fluxului magnetic din circuitul magnetic al cuplajului.

2.7. După cum se specifică în teză, metoda straturilor, așa cum este ea redactată, poate fi utilizată la calculul cuplajelor electromagnetice cu alunecare cu indus masiv de orice tip (homopolar, cu poli complet intercalați, Lundell, etc.), dar ea este particularizată numai pentru cuplajul de tip homopolar.

2.8. În baza teoriei metodei straturilor elaborată în cap. II și particularizată în cap. III, în cadrul tezei a fost concepută o schemă logică de calcul CEAHOO și un program de calcul în fortran CEAHOO, ambele de concepție originală, pentru calculul preliminar de dimensionare a cuplajelor electromagnetice cu alunecare de tip homopolar cu indus masiv feromagnetic. Programul de calcul CEAHOO este ușor de manevrat și prin înlocuirea cartelelor de date cu altele corespunzătoare, poate fi utilizat la calculul preliminar de dimensionare a cuplajelor de tip homopolar de orice putere și cu circuit magnetic realizat din metal feromagnetic dorit.

2.9. Metoda straturilor, prin programul de calcul întocmit, permite calculul frânelor electromagnetice cu alunecare ca un caz particular al cuplajelor, impunând condiția pentru alunecare  $s=1$ .

3. Deoarece folosește curba reală de magnetizare, metoda straturilor conduce la evaluarea mai corectă a influenței pe care o au diferite elemente constructive ale cuplajului asupra performanțelor acestuia (numărul de dinți  $Z$ , rapoartele  $V$  și  $L_1/L$ , grosimea indusului masiv  $g_{ind}$ ). Metoda straturilor permite de asemenea studierea cuplajului la care grosimea indusului masiv  $g_{ind}$  este chiar mai mică decât adâncimea de pătrundere a câmpului electromagnetic, variantă de cuplaj netratată în literatura de specialitate. Dacă indusul feromagnetic este de grosime mai mică decât adâncimea de pătrundere a câmpului electromagnetic, el se divide numai în  $S-1$  straturi, iar stratul cu numărul de ordine  $S$  se consideră a fi aer de grosime infinită.

Considerentele prezentate mai sus au permis introducerea în cadrul tezei a unui criteriu de optimizare referitor la cuplul specific maxim, prin cuplu specific înțelegându-se raportul dintre

cuplaj dezvoltat de cuplaj și masa variabilă a acestuia (masa indusului și a dinților).

Optimizarea cuplajului urmărește determinarea dimensiunilor definitive ale cuplajului, calculate preliminar cu programul de calcul CEAH00, precum și valoarea optimă a parametrilor  $V_0, Z_0, (L_i/L)_0$  și  $(g_{ind})_0$  care conduc la un cuplu specific maxim dezvoltat de cuplaj.

În acest sens, în cadrul tezei a fost concepută o schemă logică de calcul CEAH01 și un program de calcul în Fortran CEAH01 pentru optimizarea cuplajelor electromagnetice cu alunecare de tip homopolar cu indus masiv feromagnetic și calculul caracteristicilor de funcționare ale cuplajelor optimizate. Programul de calcul este ușor de manevrat și prin înlocuirea cartelelor de date cu altele corespunzătoare poate fi utilizat la optimizarea și calculul caracteristicilor de funcționare pentru cuplaje homopolare de orice putere.

În cadrul tezei sînt prezentate două metode de optimizare, una numerică și alta grafo-numerică. Programul CEAH01 se bazează pe metoda grafo-numerică de optimizare date fiind avantajele pe care le oferă (paragraf 3.2).

4. Metoda straturilor permite estimarea influenței asupra performanțelor cuplajului, pe care o are aplicarea pe indusul feromagnetic masiv a unui strat din metal neromagnetic, indusul masiv avînd grosime mai mică sau mai mare decît adîncimea de pătrundere a cîmpului electromagnetic, variante de cuplaje de asemenea netratate în literatura de specialitate.

Dacă pe indus înspre întrefier este aplicat un strat de metal neromagnetic, atunci indusul feromagnetic se divide în S-1 respectiv S-2 straturi, după cum indusul este de grosime mai mare, respectiv mai mică decît adîncimea de pătrundere a cîmpului electromagnetic, iar adîncimea de pătrundere se recalculează în procesul de calcul pe calculator în funcție de permeabilitatea magnetică  $\mu$  aferentă primului strat feromagnetic.

În cadrul tezei a fost conceput un program de calcul în Fortran CEAH11, de concepție originală, prin intermediul căruia se realizează următoarele:

a) Plecînd de la cuplajul electromagnetic optimizat cu

ajutorul programului CEAH01 se studiază efectul rezistivității  $\rho_{nef}$  și grosimii  $g_{nef}$  a stratului neferomagnetic asupra performanțelor cuplajului și se determină valorile pentru  $\rho_{nef}$  și  $g_{nef}$  care conduc la o caracteristică mecanică dorită.

b) Se optimizează cuplajul electromagnetic cu alunecare prevăzut cu strat de metal neferomagnetic pe indus înspre intrerier de grosime  $g_{nef}$  și rezistivitate  $\rho_{nef}$  în sensul că se determină valoarea optimă a parametrilor  $Z_0, v_0, (L_i/L)_0$  și  $(g_{ind.fe})_0$  care conduc la un cuplu specific maxim dezvoltat de cuplaj.

c) Pentru cuplajul optimizat se determină caracteristicile mecanice și de putere.

5. Utilizînd programele de calcul CEAH00, CEAH01 și CEAH11, în cadrul tezei au fost calculate, optimizate și realizate practic două variante de cuplaje electromagnetice cu alunecare de tip homopolar și anume :

- cuplajul CEAH-60/1000 cu indus masiv feromagnetic;
- cuplajul CEAH-Cu/1000 cu indus masiv feromagnetic avînd deus pe indus înspre intrerier un strat de cupru de 0,001 m grosime determinate din considerente de a obține caracteristica mecanică dorită.

Spre comparație cu cuplajele optimizate și cu scopul de-a scoate în evidență posibilitățile oferite de stratul de metal neferomagnetic în îmbunătățirea performanțelor cuplajelor, în cadrul tezei s-a mai calculat și realizat practic o variantă de cuplaj la care indusul feromagnetic este de grosime mult mai mică decît cea a cuplajelor optimizate.

6. Cele trei variante de cuplaje au fost supuse experimentărilor de laborator pentru ridicarea practică a caracteristicilor mecanice de funcționare. Pentru efectuarea încercărilor s-a utilizat instalația de încercare existentă în dotarea laboratorului de mecanică din cadrul I.S.Hunedoara (fig.5.2).

Rezultatele experimentărilor de laborator au confirmat corectitudinea efectuării calculelor bazate pe metodologia adoptată în teză, abaterile dintre valorile calculate și cele determinate experimental fiind admise în calculele ingineresti, ele nedepășind 10 %.

7. La aprecierea performanțelor cuplajului CEAH-60/1000 s-au avut în vedere datele de catalog pentru cuplajele fabricate în URSS și RMG. Din analiza acestora se constată că cuplajul CEAH-60/1000, cu toate că nu este realizat cu materiale cu calități magnetice deosebite (circuitul magnetic este realizat din oțel turnat OT40 obținut la oțelăriile din cadrul C.S.Hunedoara), atinge performanțele cuplajelor realizate de firmele constructoare consacrate.

Cuplajul CEAH-Cu/1000 nu-și are corespondent în cataloagele de produse mai sus menționate, el nefiind fabricat de firmele respective. Performanțele cuplajului CEAH-Cu/1000 sînt însă mult superioare performanțelor cuplajului cu indus masiv feromagnetic cu aceeași geometrie.

8. Programele de calcul CEAH01 și CEAH11 permit obținerea și a altor informații referitoare la teoria cuplajelor și frînelor electromagnetice cu alunecare, pentru aceasta fiind necesar ca în procesul de calcul pe calculator să se facă citirea mărimilor care interesează.

În cadrul tezei s-a urmărit în mod deosebit contribuția pe care reacția indusului  $F_R$  o are asupra valorii totale  $F$  a forței magnetomotoare de excitație și valoarea unghiului de defazaj dintre cele două mărimi funcție de diverși parametri ( $Z, V, n_1, B, \epsilon_{ind}, \epsilon_{ner}$ , etc).

Ținînd seama de rezultatele experimentale prezentate în lucrarea /7/ care indică pentru unghiul de defazaj o valoare orientativă de cca  $135^\circ$ , cu această ocazie se verifică încă odată că metoda straturilor este aplicată corect și programele de calcul sînt bine învocate, unghiurile de defazaj fiind în jurul acestei valori pentru cuplajul cu indus masiv feromagnetic și în regim nominal. În același timp însă se observă, cu ocazia analizei datelor calculate dar reprezentate în teză, că la încărcări mici ale cuplajului acest unghi poate depăși valoarea de  $180^\circ$ , de asemenea acest unghi de defazaj are valori ce tind spre  $180^\circ$  dacă pe indus este aplicat stratul de metal neferomagnetic.



B I B L I O G R A F I E

1. Andriola, A.D.: Electric-slip couplings for use with diesel engines. TRANSACTIONS OF ASME. 63(1941) O.p.567-575.
2. Arhanghelskii, N.K.: Electromagnitnye mufti skoljenia i ih primeneniie v buróviih stankah. ENERGHETICESKII BIULLETEN (1948) nr.4, p.15-20.
3. Babescu, M.: Contribuții la calculul mașinilor liniare de inducție unilaterale - Teză de doctorat. I.P.T.V.Timișoara, 1976.
4. Bichir, N.: Frână electromagnetică cu curenți turbionari. ELECTROTEHNICA nr.7.1959, p.249-259.
5. Boldea, I.: Contribuții privind fenomenele specifice și calculul electromagnetic al motoarelor asincrone plane liniare. Teză de doctorat. I.P.T.V.Timișoara.1972.
6. Borrs, H.: Die electromagnetische Schlupfkupplung und ihre Anwendung im Schiffbau. HANSA. 93(1956) Nr.12-13, p.526-536.
7. Davies, E.I.: An experimental and theoretical study of eddy current couplings and brakes. AIES TRANSACTIONS ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS (1963) AV.p.401-419.
8. Davies, E.I.: Experimental verification of the generalised theory of eddy-current couplings. PROC.IEE.Vol.122.Nr.1 JANUARY 1975, p.67-72.
9. Davies, E.I.: General theory of eddy-current couplings and brakes. PROC.IEE.vol.113.Nr.5.MAY 1966, p.825-836.
10. Davies, E.I.: Transient performance of eddy-current couplings. PROC.IEE.vol.122.Nr.10, OCTOBER 1975, p.1128-1135.
11. Die Wirbelstromkupplung im Antriebssystem für Kettenförderer. INDUSTRIE-ANZEIGER. 87 (1965). Nr.28, p.494-495.
12. Dordea, T.: Mașini electrice. Ediția a-2-a .București EDP.1977.

13. Dumitrescu, I.ș.a.: Aplicații ingineresti ale calculatoarelor. E.D.P. București. 1976.
14. Eichhorn, H.: Die elektromagnetische Schöpfkupplung. AEG-MITTEILUNGEN. 42 (1952) Nr. 1-2, p. 71-72.
15. Fransua, A.I.: Considerații asupra funcționării motorului asinchron bifazat cu rotorul în formă de pahar. Electrotehnica. Nr. 7, p. 161-167.
16. Goneu, D., Stricker, S.: Analysis of an Eddy-Current Brake. IEEE Tr. POWERS APP. and SYSTEMS Vol. 84 (1965), p. 361-367.
17. Heiden, C.: Elektromagnetische Kupplungen im Werkzeugmaschinenantrieb. ELEKTROTECHNIK 46 (1964), Nr. 14, p. 239-241.
18. Ifrim, A.: Forța de frînare dezvoltată de frînele de inducție cu disc neferomagnetic. Autoreferat asupra lucrării de dizertație. București. 1963.
19. Ionașcu, Th.M.: Contribuții asupra teoriei frînelor electromagnetice cu alunecare de mare putere. Teză de doctorat. București. 1976.
20. Leibzon, I., ș.a.: Montaj și exploatarea inductorilor mult scoljenia. ENERGHIA. Moskva. 1968.
21. Malti, M.G., Ramakumar, R.: Three-Dimensional Theory of the Eddy-Current Coupling. IEE. Tr. Powers Apparatus and Systems. Vol. 84, 1965, p. 357-361.
22. Marușciac, I.: Metode de rezolvare a problemelor de programare neliniară. Cluj. Editura Dacia. 1973.
23. Conveyor drive using eddy-current coupling. ELEKTRIKAL. MANUFACTURING. 63 (1960) Nr. 6, p. 160-162.
24. Nitsche, C.: Induktions Kupplungen als Überlastsicherung an Kranen FORDERN UND HEBEN. 10 (1960) Nr. 9; p. 667-671.

25. Nitsche, C.: Induktionskupplung als Überlastsicherung an Kranen. MASCHINENWELT UND ELEKTROTECHNIK. 15 (1960) Nr.13, p.563-567.
26. Nitsche, C.: Induktionskupplungen als Synchron und Wirbelstromkupplungen. ELEKTRO-ANZEIGER. RFG. Nr.17/18 Tom 22 (1969) p.36-41.
27. Novac, I.: Maşini şi acţionări electrice. vol.1-3. I.P.T.V. Timişoara, 1978.
28. Ollendarff, F.: Relativistische Elektrodynamik der Wirbelstrombremse. Elektrotechnik und Maschinenbau 1973.90-Nr.3. p.113-118.
29. Onoprienko, L.G.: Torţevaia magnitnaia mufta s postaiami iz splava Sm Co. ELEKTROTEHNIKA-URSS. Nr.10 1977, p.43-49.
30. Poliakov, V.S.: Spravocinik po muftam. Maşinastroiение. 1974.
31. Pozdeev, A.D.: Cuplaje şi frâne electromagnetice cu indus masiv. Traducere din l.rusă, E.T. Bucureşti, 1965.
32. Pelczewski, W: Zastosowanie sprzężeniopółizgówych w napędach dźwigni. ARCHIWUM BUDOWY MASZYN 2 (1955) Nr.1, p.55-57.
33. Răduleţ, R., Ifrim, A.: Contribuţie la teoria frinelor de inducţie. Studii şi Cercetări de Energetică nr.1 (1961), p.99-119.
34. Rozman, Ia.B.: Bessmupenciatoe regulirovanie skorosti posredstvom elektromagnitnoi mufti scoljenia. STANKI I INSTRUMENTY 27 (1956).Nr.8, p.27-31.
35. Rozman, Ia.B.: Ustoistvo, Svoistva i oblasti primeneniia bessmupenciatovoprivoda s elektromagnitnoi muftoi scoljenia. Moskva. MASGHIZ. 1956.
36. Rudisch, W.: Der Einsatz von Induktionskupplungen im allgemeinen Maschinenbau. MASCHINEN WELT UND ELEKTROTECHNIK. 11 (1956) Nr.21-22, p.345-348 şi Nr.23-24, p.367-370.
37. Rudisch, W.: Der Einsatz von Induktionskupplungen im allgemeinen Maschinenbau. WERKSTATT UND BETRIEB. 89 (1950) Nr.2, p.53-58.

38. Runger, G.: Automatisierung der Antriebstechnik durch regelbare Wechselstrom.
39. Sains, K.: Electro-magnetic clutches and brakes. INSTRUMENT PRACTICE 13 (1964) Nr.3, p.242-248 și Nr.4, p.340-344.
40. Sarov, V.S.: Reacții masivno stalno iacora v elektromagnitnoi mufti scoljenia. ELEKTRICESTVO (1957), Nr.10 p.42-46.
41. Sarov, V.S.: Elektromagnitnâe mufti scoljenia. MOSKVA .Oobronsiiz.1958.
42. Scetin, T.A.: Inducționie mufti dlia crivașipnih presov. KUZNECINOSTAMPVOČINOE PROIZVODSTVO: 3(1961) Nr.12, p.20-27.
43. Simonis, F.W.: Ein neuer elektromagnetischer Antrieb und Drehmomentwandler mit Eigenschaften einer elektrisch stufenlos verstellbaren Getriebe. KONSTRUKTION. 13 (1961).Nr.6, p.239-241.
44. Skaralis, T.: Application of eddy-current adjustable drives in the steel industry. IRON AND STEEL ENGINEER.34 (1957) Nr.5, p.95-98.
45. Stănilă, V.: Cercetări privind îmbunătățirea parametrilor de funcționare a cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare. Contract cercetare științifică nr.80 /19.03.1983.
46. Stănilă, V.: Calculul cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare, cu inductor masiv feromagnetic, utilizând metoda straturilor. I.P.T.V.Timișoara-I.S.Hunedoara. Lucrări științifice ale cadrelor didactice, pag.183-194.
47. Stănilă, V.: Determinarea expresiilor pentru inducțiile magnetice  $B_{\delta e}$  și  $B_{\delta 1}$  din intrefierul CEA și FEA în vederea calculului acestora prin metoda straturilor. I.P.T.V. Timișoara-I.S.Hunedoara. Lucrări științifice ale cadrelor didactice, pag.195-202.

48. Stromag GmbH (RFG), Unna 475, Postfach 309/310.
49. Sora, C.: Bazele electrotehnicii. București. E.D.P. 1982
50. Terplan, Z.: Különleges tengelykapcsolók. Budapest. MUSEUMI KÖNYVKIADÓ 1971.
51. Vorobieva, T.M.: Elektromagnitnye mufti. GOSUDARSTVENOE ENERGETICHESKOE IZDATELSTVO. MOSKVA. 1960 Leningrad.
52. Ziesel, K.: Antrieb von Mehrfach-Drahtziehmaschinen mit elektromagnetischen Schlupfkupplungen. DRAHT-WELT. 46 (1960) Nr. 12, p. 977-981.
53. Ziesel, K.: Antrieb von Ventilatoren mit Induktionskupplungen. MASCHINENWELT UNDE ELEKTROTECHNIK .16 (1961) Nr. 5, p. 199-201.
54. Ziesel, K.: Aufbau und Einsatz von Induktionskupplungen. INDUSTRIE-ANZEIGER. 84 (1962) Nr. 31. p. 596-597 și Nr. 26, p. 486-488.
55. Babescu, M.: Teoria frânei tubulare cu inductor feromagnetic. Buletin I.P.T.v. Timișoara, Tom 31/45/, Fascicola 1-2, 1986, pp. 31-32.
56. Nișiguș, N.: Frână electromagnetică cu curenți turbionari (din activitatea) ICPB București, 1985.
57. Stănilă, V.; Weber, F.: Cuplaj electromagnetic cu alunecare de tip homopolâr cu inductor masiv feromagnetic. Dosar inovație, dec. 1987.

A N N O T A T I O N

• Dezvoltarea în serie Fourier a inducției magnetice din întrefierul cuplajului electromagnetic cu alunecare, cu inductor de tip homopolar și de tip blindat și determinarea expresiilor pentru inducțiile de calcul, în complex  $\underline{B}_f(x,z)$  și  $\underline{B}_e(x,z)$ .

### 1. Cuplajul cu inductor de tip homopolar.

Forma de variație a inducției magnetice în întrefierul cuplajului tip homopolar este prezentată în fig. A1. Se observă că forma de variație a inducției magnetice în întrefier prezintă o simetrie după axa z. Din acest considerent, dezvoltarea în serie Fourier a funcției  $B_y(x,z)$  se va face numai după zona A-A.

Funcția care trebuie dezvoltată în serie Fourier are expresia:

$$B_y(x,z) = \begin{cases} B_0 & \text{pentru } x \in [0, t_z] \\ 0 & \text{pentru } x \in (t_z, 2\delta) \end{cases} \quad (A1)$$

Notînd :

$$v = \frac{t_z}{2\delta} \quad (A2)$$

se obține :

$$t_z = 2\delta v \quad (A3)$$

Deoarece expresia  $B_y(x,z)$  pentru cazul luat în considerare nu depinde de coordonata z, dezvoltarea în serie Fourier se va face numai după axa x.

Expresia generală a funcției  $B_y(x,z)$  dezvoltată în serie Fourier este :

$$B_y(x,z) = C_0 + \sum_{t=1}^{\infty} (A_t \sin(\pi t \frac{x}{2}) + B_t \cos(\pi t \frac{x}{2})) \quad (A4)$$

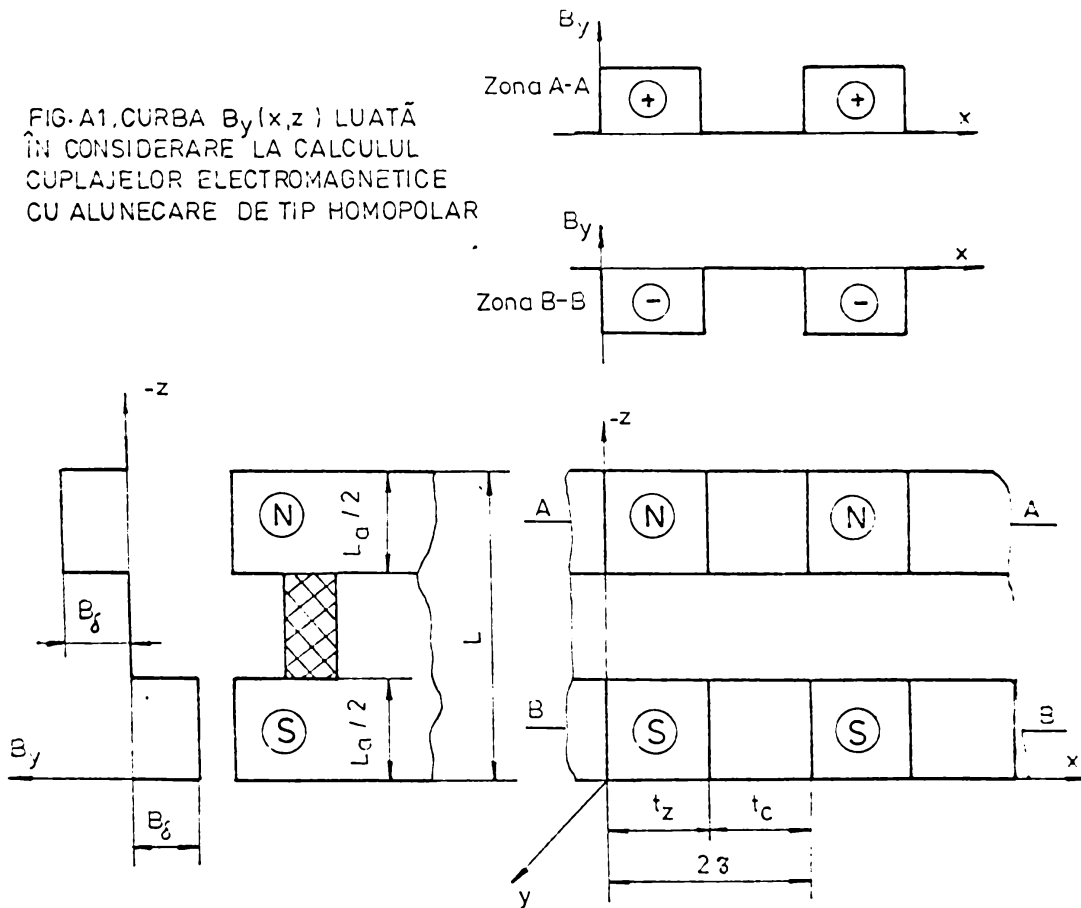
Coefficienții  $C_0$ ,  $A_t$  și  $B_t$  se determină cu relațiile:

$$C_0 = \frac{1}{2z} \int_0^{2z} B_y dx ;$$

$$A_t = \frac{1}{z} \int_0^{2z} B_y \sin\left(\pi t \frac{x}{z}\right) dx ; \quad (A5)$$

$$B_t = \frac{1}{z} \int_0^{2z} B_y \cos\left(\pi t \frac{x}{z}\right) dx.$$

FIG. A1. CURBA  $B_y(x, z)$  LUATĂ ÎN CONSIDERARE LA CALCULUL CUPLAJELOR ELECTROMAGNETICE CU ALUNECARE DE TIP HOMOPOLAR





Pentru situația concretă a funcției  $B_y(x, z)$  dată prin (A1), rezultă :

$$\begin{aligned} C_0 &= V B_\delta ; \quad A_t = \frac{B_\delta}{\pi t} (1 - \cos(2\pi tV)) \\ B_t &= \frac{B_\delta}{\pi t} \sin(2\pi tV) . \end{aligned} \quad (A6)$$

Pentru scrierea în complex a inducției magnetice din intrefier, expresia (A4) se pune sub forma :

$$B_y(x, y) = C_0 + \sum_{t=1}^{\infty} C_t \sin(\pi t \frac{x}{b} + \varphi_t) \quad (A7)$$

unde :

$$C_t = \sqrt{A_t^2 + B_t^2} = \frac{2B_\delta}{\pi t} \sin(\pi tV) \quad (A8)$$

$$\varphi_t = \arctg \frac{B_t}{A_t} = \arctg(\operatorname{ctg}(\pi tV)) .$$

Prin urmare :

$$\begin{aligned} B_y(x, z) &= V B_\delta + \frac{2B_\delta}{\pi} \sum_{t=1}^{\infty} \frac{1}{t} \sin(\pi tV) \sin(\pi t \frac{x}{b} + \\ &+ \arctg(\operatorname{ctg}(\pi tV))) . \end{aligned} \quad (A9)$$

Expresia în complex a inducției magnetice din intrefier  $\underline{B}_\delta(x, z)$  a cărei variație în timp va genera curenți turbionari în inductor va fi :

$$\begin{aligned} \underline{B}_\delta(x, z) &= - \frac{2B_\delta}{\pi} \sum_{t=1}^{\infty} \frac{1}{t} \sin(\pi tV) \exp(-j(\pi t \frac{x}{b} + \\ &+ \arctg(\operatorname{ctg}(\pi tV)))) . \end{aligned} \quad (A10)$$

Sau exprimînd fazorul prin valoarea efectivă :

$$\begin{aligned} \underline{B}_\delta(x, z) &= \frac{-\sqrt{2} B_\delta}{\pi} \sum_{t=1}^{\infty} \frac{1}{t} \sin(\pi tV) \exp(-j(\pi t \frac{x}{b} + \\ &+ \arctg(\operatorname{ctg}(\pi tV)))) . \end{aligned} \quad (A11)$$

Armonica fundamentală din dezvoltarea în serie Fourier a inducției din intrefier  $\underline{B}_{\delta 1}(x, z)$  se obține din expresia (A11)

pentru  $t = 1$ .

$$\underline{B}_{\delta 1}(x, z) = -\frac{\sqrt{2}B_{\delta}}{\pi} \sin(\pi V) \exp(-j(\pi \frac{x}{\tau} + \arctg(\operatorname{ctg}(\pi V)))) \quad (A12)$$

Expresia găsită pentru inducția în întrefier (A10) se poate echivala cu o sinusoidă avînd aceeași frecvență ca și armonica fundamentală din descompunerea în serie Fourier și cu valoare efectivă egală cu cea a funcției dezvoltată în serie Fourier. Prin urmare :

$$\underline{B}_{\delta e}(x, z) = -\sqrt{\frac{1}{2\tau} \int_0^{2\tau} \sum_{t=1}^{\infty} (C_t \sin(\pi t \frac{x}{\tau} + \varphi_t))^2 \exp(-j(\pi \frac{x}{\tau} + \arctg(\operatorname{ctg}(\pi V)))} + \frac{\sqrt{2}B_{\delta}}{\pi} \sqrt{\sum_{t=1}^{\infty} \frac{1}{t^2} \sin^2(\pi t V)} \exp(-j(\pi \frac{x}{\tau} + \arctg(\operatorname{ctg}(\pi V)))) \quad (A13)$$

unde :  $B_{\delta} > 0$ .

## 2) Cuplaj cu inductor de tip blindat.

Inducția în întrefierul cuplajului depinde de coordonatele  $x$  și  $z$  și prezintă o simetrie față de axa  $z$  (fig. A2).

Acceptînd că sub talpa polară inducția magnetică are valoarea  $B_{\delta}$ , iar la extremitatea gheare  $B_{\delta p}$ , atunci funcțiile  $B_y(x, z)$  corespunzătoare graficelor din fig. A2, care trebuie descompuse în serie Fourier, vor avea expresiile :

Zona A-A pentru  $z \in [0, -s)$

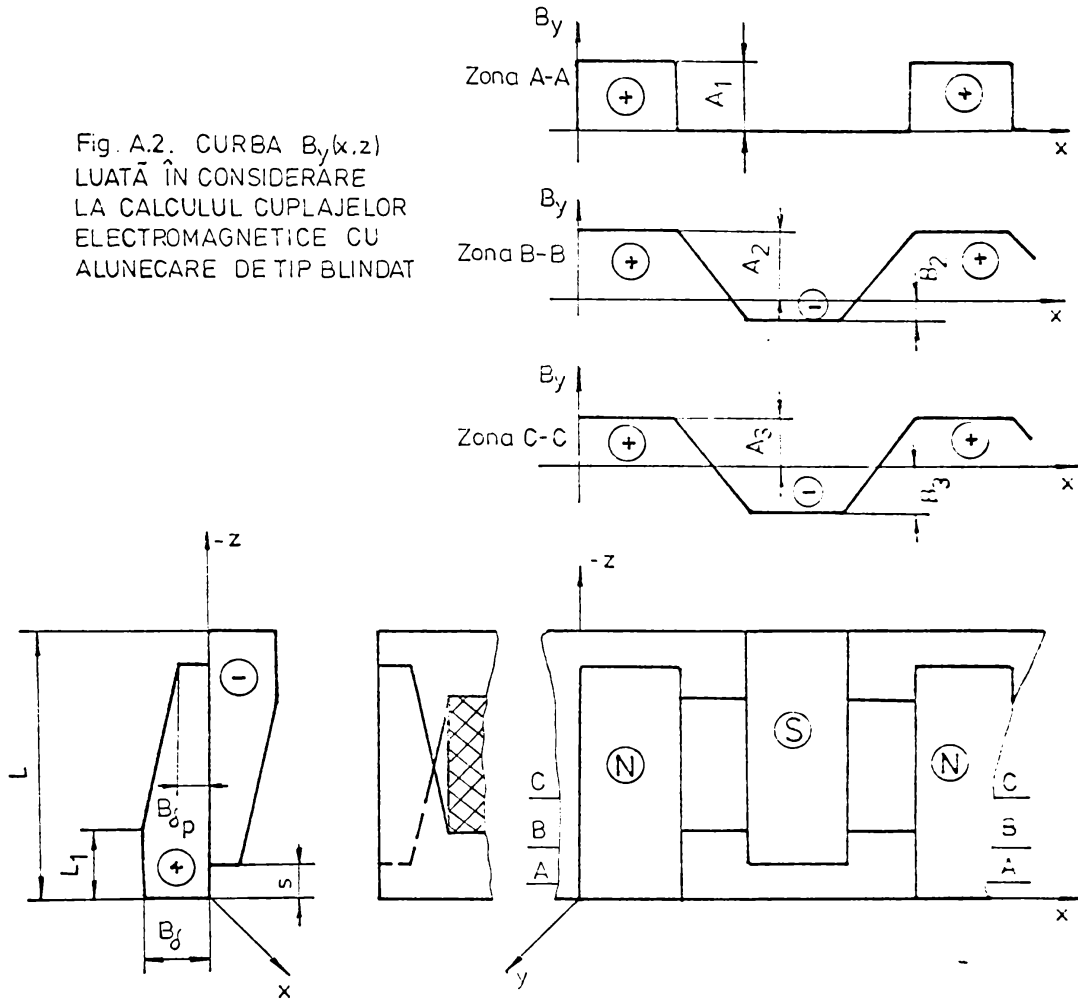
$$B_y(x, z) = \begin{cases} A_1 & \text{pentru } x \in [0, t_p] \\ 0 & \text{pentru } x \in (t_p, 2\tau) \end{cases} \quad (A14)$$

unde :  $A_1 = B_{\delta}$ . (A15)

Zona B-B pentru  $z \in [-s, -L_1)$

$$B_y(x, z) = \begin{cases} A_2 & \text{pentru } x \in [0, t_p) \\ -\frac{A_2 - B_2}{\tau_c} (x - t_p) + A_2 & \text{pentru } x \in [t_p, \tau) \\ B_2 & \text{pentru } x \in [\tau, \tau + t_p) \\ \frac{A_2 - B_2}{\tau_c} (x - 2\tau) + A_2 & \text{pentru } x \in [\tau + t_p, 2\tau) \end{cases} \quad (A16)$$

Fig. A.2. CURBA  $B_y(x,z)$   
 LUATĂ ÎN CONSIDERARE  
 LA CALCULUL CUPLAJELOR  
 ELECTROMAGNETICE CU  
 ALUNECARE DE TIP BLINDAT



unde :

$$\begin{cases}
 A_2 = B_0 \\
 B_2 = \frac{B_0 - B_{0p}}{L - L_1 - s} z + B_0 \frac{s}{L - L_1 - s} - B_{0p} \frac{L - L_1}{L - L_1 - s} \\
 B_2 < 0
 \end{cases} \quad (A17)$$

Zona C-C pentru  $z \in [-L_1, -L/2)$

$$B_y(x,z) = \begin{cases} A_3 & \text{pentru } x \in [0, t_p) \\ -\frac{A_3 - B_3}{t_c} (x - t_p) + A_3 & \text{pentru } x \in [t_p, z) \\ B_3 & \text{pentru } x \in [z, z + t_p) \\ \frac{A_3 - B_3}{t_c} (x - 2z) + A_3 & \text{pentru } x \in [z + t_p, 2z) \end{cases} \quad (A18)$$

unde :

$$\begin{cases} A_3 = \frac{B_\zeta - B_\zeta^p}{L - L_1 - s} z + \frac{B_\zeta(L-s) - B_\zeta^p L_1}{L - L_1 - s} & (A19) \\ B_3 = \frac{B_\zeta + B_\zeta^p}{L - L_1 - s} z + \frac{s B_\zeta - (L - L_1) B_\zeta^p}{L - L_1 - s} \\ B_3 < 0 \end{cases}$$

Se observă că în caz general, expresia inducției magnetice în intrefierul cuplajului pentru zona B-B și C-C, este de forma :

$$B_y(x,z) = \begin{cases} A & \text{pentru } x \in [0, t_p) \\ -\frac{A-B}{t_c} (x - t_p) + A & \text{pentru } x \in [t_p, z) \\ B & \text{pentru } x \in [z, z + t_p) \\ \frac{A-B}{t_c} (x - 2z) + A & \text{pentru } x \in [z + t_p, 2z) \end{cases} \quad (A20)$$

unde grupul de mărimi (A,B) ia valorile din expresiile (A17), respectiv (A19).

Pentru simplificarea calculelor, expresia (A20) se pune sub forma :

$$B_y(x,z) = \begin{cases} U_1 & \text{pentru } x \in [0, t_p) \\ U_2 x + U_3 & \text{pentru } x \in [t_p, t_p + t_c) \\ U_4 & \text{pentru } x \in [z, z + t_p) \\ U_5 x + U_6 & \text{pentru } x \in [z + t_p, 2z) \end{cases} \quad (A21)$$

unde :

$$\begin{aligned}
 U_1 &= A ; & U_2 &= -\frac{A-B}{t_c} ; \\
 U_3 &= \frac{\beta A - t_p B}{t_c} ; & U_4 &= B ; \\
 U_5 &= -U_2 ; & U_6 &= \frac{-(\beta + t_p)A + 2\beta B}{t_c}
 \end{aligned}
 \tag{A22}$$

Pentru zona A-A, expresia inducției magnetice este cea corespunzătoare unui cuplaj homopolar, expresiile pentru inducțiile de calcul fiind aceleași din relațiile (A11, A12 respectiv A13).

Deoarece calculul cuplajului blindat se reduce la calculul unui număr de  $2n$  cuplaje montate pe același ax și pentru fiecare cuplaj elementar se consideră că inducția magnetică este aceeași după axa  $z$  și egală cu valoarea acesteia de la mijlocul cuplajului elementar după coordonata  $z$ , dezvoltarea în serie Fourier a funcției  $B_y(x, z)$  se face numai după coordonata  $x$ .

Expresia generală a funcției  $B_y(x, z)$  dezvoltată în serie Fourier este aceeași din (A4), iar valoarea coeficienților  $C_0$ ,  $A_t$  și  $B_t$  se determină cu relațiile (A5).

Cu aceleași notații (A2) și (A3), efectuând calculele se găsește pentru  $t = 1, 3, 5, \dots$  :

$$\begin{aligned}
 C_0 &= \frac{A+B}{2} \\
 A_t &= -\frac{2(A-B)}{\pi^2 t^2 (1-2V)} \sin(2\sqrt{t}V) \\
 B_t &= \frac{2(A-B)}{\pi^2 t^2 (1-2V)} (1 + \cos(2\sqrt{t}V))
 \end{aligned}
 \tag{A23}$$

Expresia generală a funcției  $B_x(x, z)$  dezvoltată în serie Fourier va fi :

$$\begin{aligned}
 B_x(x, z) &= \frac{A+B}{2} + \frac{2(A+B)}{\pi^2(1-2V)} \sum_{t=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{t^2} \left[ \sin(2\sqrt{t}V) \sin(\sqrt{t} \frac{x}{\delta}) + \right. \\
 &\quad \left. + (1 + \cos(2\sqrt{t}V)) \cos(\sqrt{t} \frac{x}{\delta}) \right]
 \end{aligned}
 \tag{A24}$$

Pentru scrierea în complex a inducției magnetice din intr.

rier, expresia (A24) se pune sub forma (A7), unde  $C_t$  și  $\varphi_t$  sînt date de expresiile (A8). Rezultă :

$$C_t = \frac{4(A-B)}{\tilde{\gamma}^2 t^2 (1-2V)} \cos(\tilde{\gamma} t V) \quad (A25)$$

$$\varphi_t = \text{arctg}(\text{ctg}(\tilde{\gamma} t V)) .$$

Expresia în complex a inducției magnetice din întrefier  $B_\delta(x, z)$  a cărei variație în timp va genera curenți turbionari în indus va fi :

$$B_\delta(x, z) = - \frac{4(A-B)}{\tilde{\gamma}^2 (1-2V)} \sum_{t=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{t^2} (\cos(\tilde{\gamma} t V) \cdot \exp(-j(\tilde{\gamma} t \frac{x}{\tau} + \text{arctg}(\text{ctg}(\tilde{\gamma} t V)))) . \quad (A26)$$

Sau exprimînd fazorul prin valoarea efectivă :

$$B_\delta(x, z) = - \frac{\sqrt{2} \cdot 2(A-B)}{\tilde{\gamma}^2 (1-2V)} \sum_{t=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{t^2} (\cos(\tilde{\gamma} t V) \cdot \exp(-j(\tilde{\gamma} t \frac{x}{\tau} + \text{arctg}(\text{ctg}(\tilde{\gamma} t V)))) . \quad (A27)$$

Armonica fundamentală din dezvoltarea în serie Fourier a inducției din întrefier  $B_{\delta 1}(x, z)$  se obține din expresia (A27) pentru  $t = 1$ :

$$B_{\delta 1}(x, z) = - \frac{2\sqrt{2}(A-B)}{\tilde{\gamma}^2 (1-2V)} \cos(\tilde{\gamma} V) \exp(-j(\tilde{\gamma} \frac{x}{\tau} + \text{arctg}(\text{ctg}(\tilde{\gamma} V)))) \quad (A28)$$

Expresia găsită pentru inducția în întrefier (A26) se poate echivala cu o sinusoidă echivalentă, avînd aceeași frecvență ca și armonica fundamentală din descompunerea în serie Fourier și cu o valoare eficace egală cu cea a funcției dezvoltată în serie Fourier. Prin urmare :

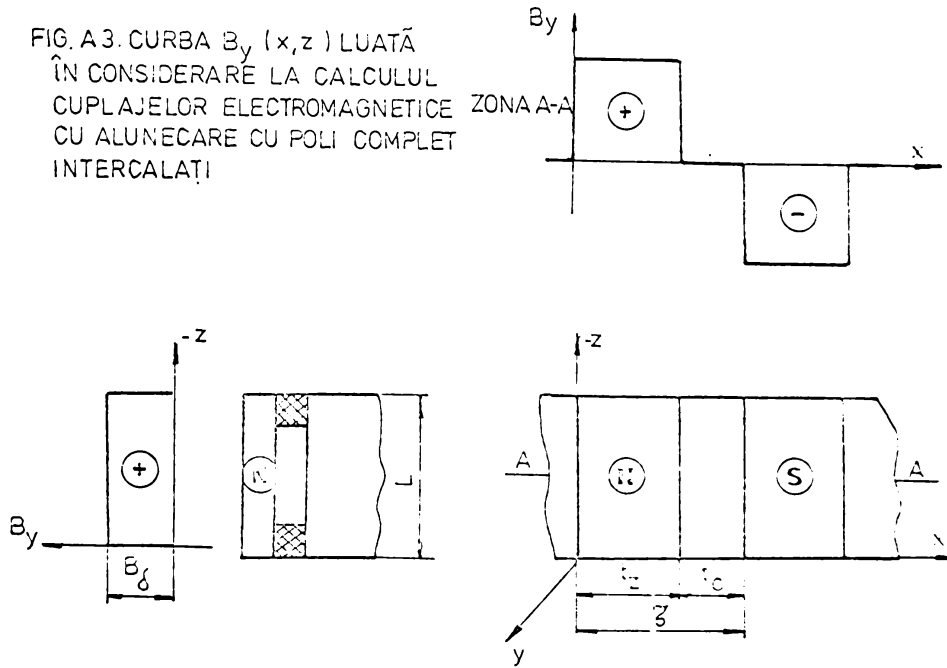
$$B_{\delta c}(x, z) = - \sqrt{\frac{1}{2V}} \int_0^{2z} (C_t \sin(\tilde{\gamma} t \frac{x}{\tau} + \varphi_t)^2 dx \cdot \exp(-j(\tilde{\gamma} \frac{x}{\tau} + \text{arctg}(\text{ctg}(\tilde{\gamma} V)))) =$$

$$= - \frac{2\sqrt{2}(A-B)}{\tilde{\gamma}^2 (1-2V)} \sqrt{\sum_{t=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{t^4} \cos^2(\tilde{\gamma} t V) \cdot \exp(-j(\tilde{\gamma} \frac{x}{\tau} + \text{arctg}(\text{ctg}(\tilde{\gamma} V))))} \quad (A29)$$

3. Cuplajul cu poli alternanți.

Forma de variație a inductiei magnetice (fig.A3) este identică cu cea prezentată în fig.A2 pentru zona B-b sau C-C unde :

FIG. A3. CURBA  $B_y(x,z)$  LUATĂ ÎN CONSIDERARE LA CALCULUL CUPLAJELOR ELECTROMAGNETICE CU ALUNECARE CU POLI COMPLET INTERCALAȚI



$B_{2z} = -A_{2z} = -B_{\delta}$  respectiv  $B_{2z} = -A_{2z} = -B_{\delta}$ . În felul acesta relațiile A28 respectiv A29 devin :

$$B_{\delta 1}(x,z) = -\frac{4\sqrt{2} B_{\delta}}{j^2(1-2v)} \cos(\sqrt{v}V) \exp(-j(\sqrt{v}\frac{z}{\delta} + \arctg(\sigma\sqrt{v}))) \quad (A30)$$

$$B_{\delta e}(x,z) = -\frac{4\sqrt{2} B_{\delta}}{j^2(1-2v)} \sqrt{\sum_{t=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{t^2} \cos^2(\sqrt{t}V) \exp(-j(\sqrt{t}\frac{z}{\delta} + \arctg(\sigma\sqrt{t}))} \quad (A31)$$

a-10



CURBELE  $B = f(H)$  ȘI  $\mu = f(B)$  RIDICATE EXPERIMENTAL  
PENTRU OT 40

Tabel B 1

Nr crt	B [ T ]	H [ A / m ]	$\mu$ [ H / m ] $\cdot 10^{-4}$
1	0	0	2,85
2	0,1	350	2,85
3	0,2	550	3,82
4	0,3	700	4,28
5	0,4	750	5,33
6	0,5	800	6,27
7	0,6	900	6,66
8	0,7	1000	7,00
9	0,8	1100	7,27
10	0,9	1150	7,83
11	1,0	1250	8,00
12	1,1	1400	7,85
13	1,2	1550	7,74
14	1,3	1800	7,22
15	1,4	2300	6,08

Nr crt	B [ T ]	H [ A / m ]	$\mu$ [ H / m ] $\cdot 10^{-4}$
16	1,5	3000	5,00
17	1,6	5000	3,20
18	1,7	6250	2,06
19	1,715	9250	1,96
20	1,73	10000	1,73
21	1,76	12000	1,45
22	1,785	14000	1,27
23	1,815	16000	1,13
24	1,845	18000	1,03
25	1,86	20000	0,93
26	1,88	22000	0,85
27	1,90	24000	0,79
28	1,92	26000	0,74
29	1,94	28000	0,69
30	1,96	30000	0,65

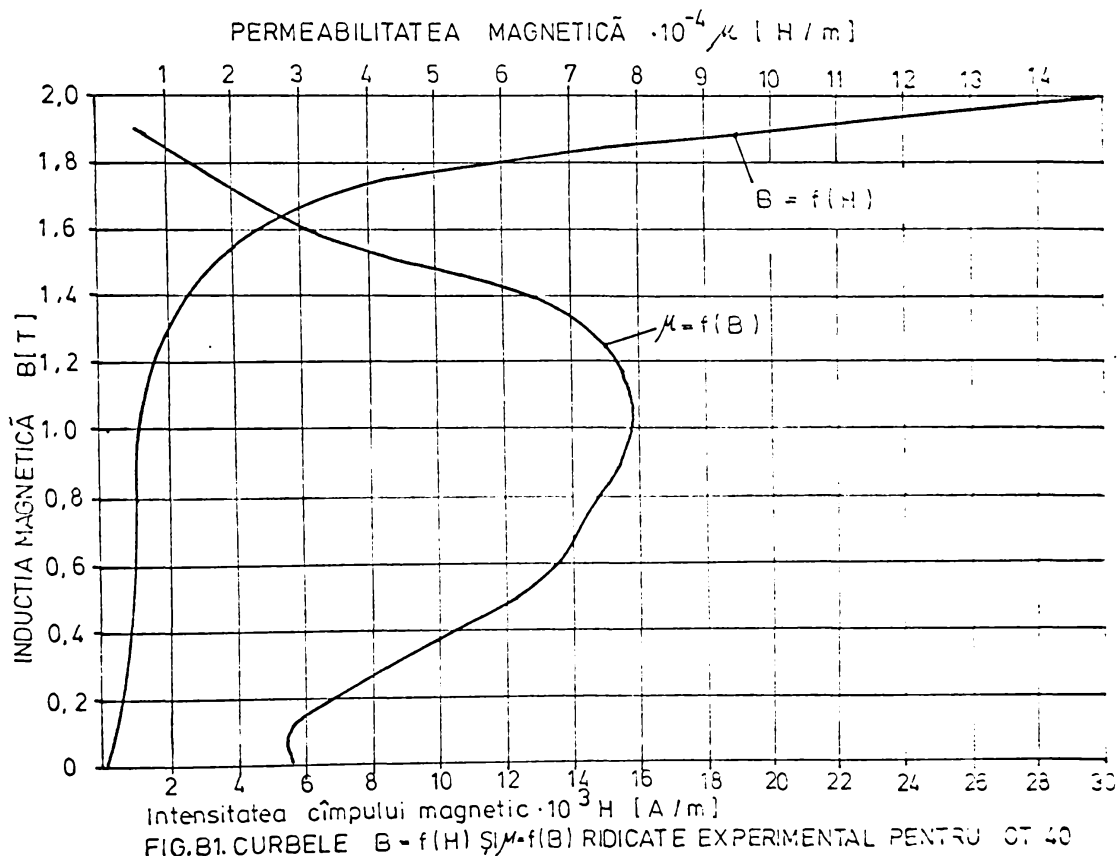
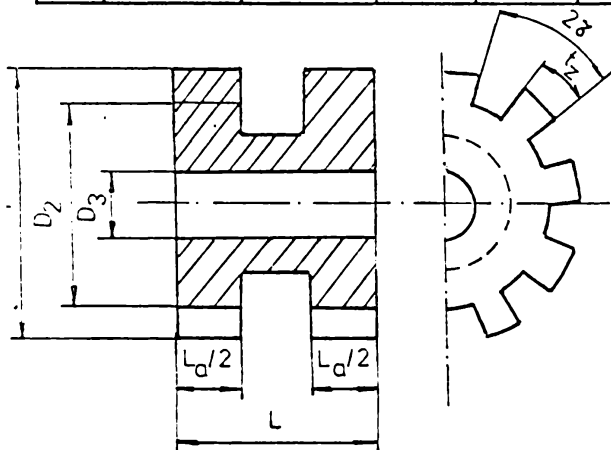


FIG. B1. CURBELE  $B = f(H)$  ȘI  $\mu = f(B)$  RIDICATE EXPERIMENTAL PENTRU OT 40

CURBELE  $R_{m1} = f(\phi)$  CALCULATE PENTRU  $V = ct$

Nr crt	$\phi$ [ Wb ] $\cdot 10^4$	$R_{m\ ind}$ [ $H^{-1}$ ] $\cdot 10^4$	V=0,2		V=0,3		V=0,45		V=0,6	
			$R_{mz}$ [ $H^{-1}$ ] $\cdot 10^4$	$R_{m1}$ [ $H^{-1}$ ] $\cdot 10^4$	$R_{mz}$ [ $H^{-1}$ ] $\cdot 10^4$	$R_{m1}$ [ $H^{-1}$ ] $\cdot 10^4$	$R_{mz}$ [ $H^{-1}$ ] $\cdot 10^4$	$R_{m1}$ [ $H^{-1}$ ] $\cdot 10^4$	$R_{mz}$ [ $H^{-1}$ ] $\cdot 10^4$	$R_{m1}$ [ $H^{-1}$ ] $\cdot 10^4$
1	0	264	26	290	16	280	12	276	8	272
2	0,5	69	23	92	15	84	11	80	7	76
3	1,0	60	20	80	14	74	10	70	7	67
4	1,5	56	17	73	12	68	9	65	7	63
5	2,0	51	15	66	11	62	9	60	6	57
6	2,5	47	13	60	11	58	8	55	6	53
7	3,0	46	12	58	10	56	7	53	6	52
8	3,5	44	11	55	9	53	6	50	5	49
9	4,0	42	10	52	8	50	5	47	5	47
10	4,5	41	10	51	8	49	4	45	4	45
11	5,0	39	10	49	7	46	4	43	4	44
12	5,5	36	9	45	7	43	4	40	4	40
13	6,0	33	9	42	6	39	4	37	4	37
14	6,5	32	9	41	6	38	4	36	4	36
15	7,0	31	9	40	6	37	4	35	4	35
16	7,5	30	11	41	6	36	4	34	4	34
17	8,0	28	13	41	6	34	4	32	4	32
18	9,0	26	21	47	6	32	4	30	4	30
19	10,0	26	47	73	6	32	4	30	4	30
20	11,0	26	100	126	7	33	4	30	4	30
21	12,0	26	150	176	9	35	4	30	4	30
22	13,0	28	210	238	13	41	4	32	4	32
23	14,0	33	270	303	20	53	4	37	4	37
24	15,0	42	320	362	34	76	4	46	4	46
25	16,0	66	380	446	55	121	4	70	4	70
26	17,0	126	440	566	85	211	4	130	4	130
27	18,0	219	490	709	115	334	6	225	4	223
28	18,5	313	520	833	130	443	7	320	4	317
29	19,0	492	550	1042	150	642	8	500	4	496
30	20,0	1190	600	1790	190	1380	10	1200	4	1194



Inductor realizat din OT 40

$D_1 = 0,295\ m$  ;  $D_2 = 0,255\ m$

$D_3 = 0,065\ m$  ;  $L_a = 0,145\ m$

$L = 0,194\ m$  ;  $z = 12$

$$R_{m\ ind} = \sum \frac{l_i}{\mu_i \cdot S_{fe,i}}$$

$$R_{mz} = \frac{4z \cdot (D_1 - D_2)}{\mu \cdot V \cdot L_a \cdot (\mu \cdot (D_1 - D_2))}$$

$R_{m1}$  - reluctanța magnetică totală a inductorului raportată la un pol magnetic

$R_{mz}$  - idem pentru dinți

$R_{m\ ind}$  - idem pentru inductor fără dinți

OBS :  $\mu = f(B)$  se determină în secțiunea de la jumătatea înălțimii dintelui

```

VVVV      V      IIIII      CCCC      TTTT      OOOO      OOOO      RRRRR      RRRRR      RRRRR
VVVV      V      IIIII      CCCC      TTTT      OOOO      OOOO      RRRRR      RRRRR      RRRRR
VVVV      V      IIIII      CCCC      TTTT      OOOO      OOOO      RRRRR      RRRRR      RRRRR
VVVV      V      IIIII      CCCC      TTTT      OOOO      OOOO      RRRRR      RRRRR      RRRRR
VVVV      V      IIIII      CCCC      TTTT      OOOO      OOOO      RRRRR      RRRRR      RRRRR
VVVV      V      IIIII      CCCC      TTTT      OOOO      OOOO      RRRRR      RRRRR      RRRRR
VVVV      V      IIIII      CCCC      TTTT      OOOO      OOOO      RRRRR      RRRRR      RRRRR
VVVV      V      IIIII      CCCC      TTTT      OOOO      OOOO      RRRRR      RRRRR      RRRRR
VVVV      V      IIIII      CCCC      TTTT      OOOO      OOOO      RRRRR      RRRRR      RRRRR
VVVV      V      IIIII      CCCC      TTTT      OOOO      OOOO      RRRRR      RRRRR      RRRRR

```

EAHOO, AN:WV88, PN:VICTOR  
LE FORTRAN

P R O G R A M CEAHOO  
=====

CEAHOO 06/08/85 06.09.20  
ANEXA NR. 3  
=====

CALCULUL CUPLAJELOR ELECTROMAGNETICE CU ALUNECARE DE TIP HOMOPOLAR  
PRIN METODA STRATURILOR

APLICATIE: CALCULUL CUPLAJULUI CEAH-68/1000 (MNE=68 N.M.MNE=1000R/MIN)  
INDUSUL SI INDUCTORUL SINT REALIZATE DIN OT 40

DATE INITIALE  
=====

J1M = NUMARUL DE ITERATII MAXIM IMPUS LA CALCULUL PERMEABILITATII  
N = MAGNETICIZAREA STRATURILOR DIN INDUS  
N = NUMARUL DE PUNCTE PRIN CARE SINT DATE CURBELENTICAD=F(H\*D) SI  
S = MIU1D=F(B1D)  
T = NUMARUL DE STRATURI DE DIVIZARE A INDUSULUI  
T = NUMARUL DE ARMONICI LUATE IN CALCUL LA DESCOMPUNEREA LUI  
BUEFTA = DELTA IN SERIE FOURIER  
CS = VALOAREA MEDIE A INDUCTIEI MAGNETICE IN MIJLOCUL DINTELUI  
CS = COEFICIENTUL CE APROXIMAZA CADEREA DE TENSIOANE MAGNETICE IN  
FIERUL CUPLAJULUI  
DELTA0 = MARIMEA INTRODUCERII  
EPSI10 = COEFICIENTUL DE SUPRAINCARCARE A CUPLAJULUI  
EPSI11 = COEFICIENTUL DE ADMISIA LA CALCULUL ITERATIV AL PERMEABILITATII MAGNETIC  
K1 = RAPORTUL DINTRE DIAMETRUL INTERIOR SI CEL EXTERIOR AL CUPLAJULUI  
K2 = RAPORTUL DINTRE LUNGIMEA INDUSULUI SI DIAMETRUL EXTERIOR AL CUPLAJULUI  
K3 = RAPORTUL DINTRE LUNGIMEA INDUSULUI SI LUNGIMEA INDUCTORULUI  
K4 = COEFICIENTUL DIN APROXIMAREA CURBEI DE MAGNETICIZARE PRIN PARABOLA  
K5 = RAPORTUL DINTRE LUNGIMEA ACTIVA SI LUNGIMEA TOTALA A INDUSULUI  
KM = COEFICIENTUL DE FORMA PENTRU CUPLAJUL HOMOPOLAR  
MPMAX = COEFICIENTUL MAXIM TRASMIS DE CUPLAJ IN CONDITIILE PIERDERILOR MAXIM  
ME PRIN ALUNECARE  
M1 = COEFICIENTUL NOMINAL CA N2N  
N1 = TURATIA MOTORULUI DE ACTIUNARE  
N2PMAX = TURATIA LA IESIREA DIN CUPLAJ IN CONDITIILE PIERDERILOR MAXIME  
N2N = TURATIA MASINII DE LUCKU IN CONDITIILE FUNCTIONARII LA CUPLAJ  
N4 = NOMINAL  
P1 = EXPONENTUL DIN APROXIMAREA CURBEI DE MAGNETICIZARE PRIN PARABOLA  
PSI = 3.14  
RO = COEFICIENTUL PRIN CARE SE TINDE SEAMA DE EFECTUL DE CAPAT  
V = REZISTIVITATEA MATERIALULUI INDUSULUI  
V = RAPORTUL DINTRE LATIMEA DANTELUI SI CE DOUA ORI PASUL POLAR

CURBE DATE PRIN PUNCTE  
=====

MIU1D=F(B1D) = REPREZINTA CURBA PERMEABILITATII MAGNETICE FUNCTIE DE  
INDUCTIE PENTRU MATERIALUL INDUSULUI

MARIMI CALCULATE  
=====

J1 = NUMARUL DE ITERATII REALIZAT LA CALCULUL PERMEABILITATII  
BC(1) = INDUCTIA MAGNETICA TOTALA AFERENTA STRATURILOR  
D = DIAMETRUL INTERIOR AL INDUSULUI PENTRU CUPLAJUL HOMOPOLAR CU  
INDUS EXTERIOR  
D1 = DIAMETRUL EXTERIOR AL INDUSULUI PENTRU CUPLAJUL HOMOPOLAR CU  
INDUS EXTERIOR  
DPIND = PIERDERILE DE PUTERE IN INDUS EGALE CU P1-P2  
FIND = PORTA MAGNETOMOTOARE TOTALA DE EXCITATIE  
GIND = GROSIMEA INDUSULUI  
L = LUNGIMEA TOTALA A INDUCTORULUI  
L1 = LUNGIMEA INDUSULUI  
LA = LUNGIMEA ACTIVA A INDUCTORULUI LA MANCLAM(LAT)  
LAI = LUNGIMEA ACTIVA A INDUCTORULUI CALCULATA DIN CONDITII ELECTRO  
MAGNETICE  
LAT = GROSIMEA ACTIVA A INDUCTORULUI CALCULATA DIN CONDITII TERMICE  
MIU(1) = PERMEABILITATEA MAGNETICA A STRATURILOR SI DIN INDUS

```

M      =CUPLUL TRANSMIS DE CUPLAJ LA N1 SI N2N
N1     =PUTEREA LA INTRAREA IN CUPLAJ PENTRU LA SI N1,N2N
N2     =PUTEREA LA IESIREA DIN CUPLAJ PENTRU LA SI N1,N2N
RMDO   =RELUCTANTA MAGNETICA A INTREFIERULUI
RPAU   =RASPUL POLAR
RUC    =ADINCINEA DE PATRUNDERE A CIMPULUI ELECTROMAGNETIC IN INDUS
ZOPTIM=NUMARUL OPTIM DE DINTI
BUDELTA=INDUCTIA ECHIVALENTA DE CALCUL DIN INTREFIERUL CUPLAJULUI IN
        COMPLEX
BA(X(1)=INDUCTIA MAGNETICA DUPA AXA X AFERENTA STRATULUI I DIN INDUS
BY(Y(1)=INDUCTIA MAGNETICA DUPA AXA Y AFERENTA STRATULUI I DIN INDUS
CFLUX  =FLUXUL DIN INTREFIER AFERENT UNUI POL, IN COMPLEX
FRC    =FORȚA MAGNETOMOTOARE DE REACTIE IN COMPLEX
FPC    =FORȚA MAGNETOMOTOARE PENTRU PRODUCEREA FLUXULUI PRINCIPAL IN
        INTREFIER, IN COMPLEX

```

CEAH00 06/08/85 06.09.20

ALTE MARIMI CARE APAR IN PROCESUL DE CALCUL

```

=====
VARIABLE DE TIP INTREG CARE CONTROLEAZA CYCLURILE DE
I,I1,I2,I1,S11,S21,O
MARIMI DE TIP REAL
A1,A1P,B1,B1P,FR,FIFR,FP,FI,FP,G1,KO,LAMDA(4),MIU,MIUC,MIUC(5),
OMEGA,P,S1,S1GMA
MARIMI DE TIP COMPLEX
ALFA1,A(I,J),B(I,J),BX1,BY1,CA,CA,C(L),GAMA,K(5),PC(6),S1C,S2,PMDO,I
=====

```

INTEGER S,S11,S21,T,ZOPTIM,O,U1

```

REAL BCC(5),K1,K2,K3,K4,K5,KM,KO,L,LI,LA,N2N,N4,B1D(30),MIU1D(30),
1 LAN,LAT,LAMDA(4),MPMAX,MN,M,MIU(5),MIUC(5),N1,N2PMAX

```

```

1 COMPLEX ALFA1,A(1,14),BUDELTA,CFLUX,BY(5),B(12,14),CA,BY1,
1 CA,C(6),GAMA,FRC,FPC,K(5),PC(6),S1C,S2,RMDO,I,FLUXPC
1 .ALFA2,ALFA3

```

```

DATA B1D/0.,0.1,0.15,0.2,0.25,0.3,0.35,0.4,0.45,0.5,0.55,0.6,0.65,
1 0.7,0.75,0.8,0.85,0.9,0.95,1.,1.1,1.2,1.3,1.4,1.5,1.6,1.7,
2 1.8,1.9,2.,
3 MIU1D/30.,30.,30.,30.,30.,30.,30.,30.,30.,30.,30.,30.,30.,30.,
4 30.,30.,30.,30.,30.,30.,30.,28.7,28.4,28.,26.,23.,
5 19.,13.,8.,5.7.

```

```

1 READ(105,1)J1M,S,T,BDELTA,CS1,DELTA0,EPSI,EPSI1,K1,K2,K3,K4,K5,KM,
1 MPMAX,MN

```

```

1 FORMAT(3I5,13F5.0)
READ(105,2)M
2 FORMAT(I5)
3 READ(105,3)N1,N2PMAX,N2N,N4,PSI,V
3 FORMAT(6F5.0)
4 READ(105,4)RO
4 FORMAT(E20.6)
D=77777777
MIU1D(I)=MIU1D(I)*0.0001

```

```

(???) CONTINUE
(???) FORMAT(1,40X,'MCSAJ NU CONVERGE IN J1M ITERATII')
(???) FORMAT(1H1,40X,13HDATE INITIALE)
(???) FORMAT(1H1,40X,13H*****)
(???) FORMAT(1H1,40X,7H1) =,F10.4,6H R/S)
(???) FORMAT(1H1,40X,7H2PMAX) =,F10.4,6H R/S)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HMPMAX) =,F10.4,6H N*)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HK1) =,F10.4)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HK2) =,F10.4)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HK3) =,F10.4)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HDELTA) =,F10.4,6H T)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HN2N) =,F10.4,6H R/S)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HEPSI) =,F10.4)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HPSI) =,F10.4)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HDELTAU) =,F10.4,6H U)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HCSI) =,F10.4)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HK4) =,F10.4)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HK5) =,F10.4)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HN4) =,F10.4)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HPSI) =,F10.4)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HRO) =,E10.4,6H OHM*)
(???) FORMAT(1H1,40X,7H) =,I6)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HV) =,F10.4)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HT) =,F6)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HEPSI1) =,F10.4)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HJ1M) =,F6)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HM) =,F10.4,6H N*)
(???) FORMAT(1H1,40X,7HMARIMI CALCULATE)

```

```

159 480000 FORMAT(1H .40X.76H'*****')
160 490000 FORMAT(1H .40X.77H'DIMPUSH=.E10.4.6H DINTI)
161 500000 FORMAT(1H .40X.78H'IAU =.E10.4.6H )
162 510000 FORMAT(1H .40X.79H'YK =.E10.4.6H )
163 520000
164 530000 FORMAT(1H .40X.70H'GIND =.E10.4.6H )
165 540000 FORMAT(1H .40X.71H'LAT =.E10.4.6H )
166 550000 FORMAT(1H .40X.72H'LAM =.E10.4.6H )
167 560000 FORMAT(1H .40X.73H'LA =.E10.4.6H )
168 570000 FORMAT(1H .40X.74H'LI =.E10.4.6H )
169 580000 FORMAT(1H .40X.75H'DI =.E10.4.6H )
170 590000 FORMAT(1H .40X.76H'HM =.E10.4.6H H*)
171 600000 FORMAT(1H .40X.77H'P1 =.E10.4.6H WATT)
172 610000 FORMAT(1H .40X.78H'P2 =.E10.4.6H WATT)
173 620000 FORMAT(1H .40X.79H'PPIND =.E10.4.6H WATT)
174 630000 FORMAT(1H .40X.70H'DELTE =.E10.4.6H )
175 640000 FORMAT(1H .40X.71H'PERC =.E10.4.6H A)
176 650000 FORMAT(1H .40X.72H'PC =.E10.4.6H A)
177 660000 FORMAT(1H .40X.73H'T =.E10.4.6H A)
178 670000 FORMAT(1H .40X.74H'LUXPC =.E10.4.6H A)
179 680000 FORMAT(1H .40X.75H'HRMDU =.E10.4.6H A/W3)
180 690000
30000 700000 FORMAT(1H .40X.76H'CEAHUO =.E10.4.6H 08/08/35 06.09.20
30000 710000 FORMAT(1H .40X.77H'N1 =.E10.4.6H H/M)
30000 720000 FORMAT(1H .40X.78H'N2 =.E10.4.6H H/M)
30000 730000 FORMAT(1H .40X.79H'N3 =.E10.4.6H H/M)
30000 740000

```

CITIREA DATELOR INITIALE

```

WRITE(108.230)
WRITE(108.240)
WRITE(108.250)N1
WRITE(108.260)N2P*MAX
WRITE(108.270)MP*MAX
WRITE(108.280)K1
WRITE(108.290)K2
WRITE(108.300)K3
WRITE(108.310)BDELTA
WRITE(108.320)N2H
WRITE(108.330)EPSI
WRITE(108.340)KM
WRITE(108.350)DELTAO
WRITE(108.360)CSI
WRITE(108.370)K4
WRITE(108.380)N4
WRITE(108.390)PSI
WRITE(108.400)RO
WRITE(108.410)S
WRITE(108.420)V
WRITE(108.430)T
WRITE(108.440)EPSI1
WRITE(108.450)J1M
WRITE(108.460)MN

```

CALCULUL DIAMETRULUI D SI A NUMARULUI OPTIM DE DINTI ZOPTIM

```

PI=3.141592
MIUO=4.*PI/10000000.
WRITE(108.30000)MIUO
DELTA=2*Y
LAT=(MP*MAX*(N1-N2P*MAX)*K3)/(100.*K3*(K1+D)**1./*(PI*N1)**0.5)
ZOPTIM=((60.0*15.6*BDELTA**0.9**3.1*EPSI*(N1-N2P*MAX)/(10.0**Y.0*
1*(2.*KM)**2.*(DELTAO*(1.+CSI))**1.1*K4*PSI*RO))**0.175
ZOPTIM=8

```

CALCULUL ADINCIMII DE PATRUNDERE YK, A GROSIMII INDUSULUI GIND SI A SIRATURILOR DE DIVIZARE A INDUSULUI LAMDA(I)

```

S1=0.0000/0
YK=6.72*SQRTP(SI*P0/(60.0*ZOPTIM*S1*(N1-N2H)))
GIND=1.2*YK
S11=S-1
DO 1030 I=1,S11
LAMDA(I)=YK*ALOG(S/(S-I*(1.-EXP(-1.*GIND/YK))))
1030 CONTINUE

```

DETERMINAREA INDUCTIEI ECHIVALENTE DE CALCUL SDELTE

```

S1=0.
DO 1040 I=1,T
S1=S1+(1.-COS(2.*PI*V*I))/I**2.
GAMA=CMPLX(0.0,-ATAN(COS(PI*V))/SI*(PI*V))
BDELTE=(-1.*BDELTA*SQRTP(S1)/PI)*CEXP(GAMA)

```

CALCULUL ITERATIV A PERMIABILITATII MAGNETICE APERENTE CELOR STRATURI

```

TAU=PI*D/(2.*ZOPTIM)
K0=PI/TAU
A(1,1)=CMPLX(0.0,-PI/TAU)
A(1,2)=A(1,1)
A(1,2*S+3)=BDELTE
A(2,1)=CMPLX(-1.*K0/MIU0,0.0)
A(2,2)=-1.*A(2,1)
SIGMA=1./(PSI*RO)
OMEGA=2.*PI*(N1-N2N)*ZOPTIM
MIU(1)=0.000067
MIU(2)=0.000070
MIU(3)=0.000073
MIU(4)=0.000080
MIU(5)=0.000090
J1=1
1000 DO 1000 I=1,S
    CA=CMPLX(PI**2./TAU**2.,OMEGA*SIGMA*MIU(I))
    K(I)=CSQRT(CA)
1000 CONTINUE
    CAA=CMPLX(0.,-1/(OMEGA*SIGMA*MIU(1)))
    A(2,3)=CAA*K(1)
    A(2,4)=-A(2,3)
    A(3,3)=CMPLX(-PI/(TAU*SIGMA*OMEGA),0.0)
    A(3,4)=A(3,3)
    A(3,2*S+3)=BDELTE
CEAHU0 00/08/85 06.09.20

DO 1070 I=2,S
    ALFA1=CEXP(K(I-1)*LAMBDA(I-1))
    ALFA2=CEXP(-K(I-1)*LAMBDA(I-1))
    ALFA3=-CEXP(K(I)*LAMBDA(I-1))
    ALFA4=-CEXP(-K(I)*LAMBDA(I-1))
    ALFA5=(1./MIU(I-1))*K(I-1)*CEXP(K(I-1)*LAMBDA(I-1))
    ALFA6=CEXP(-K(I-1)*LAMBDA(I-1))
    ALFA7=K(I-1)/MIU(I-1)
    ALFA8=ALFA2*ALFA5
    ALFA9=(1./MIU(I))*K(I)*CEXP(K(I)*LAMBDA(I-1))
    ALFA10=(-1./MIU(I))*K(I)*CEXP(-K(I)*LAMBDA(I-1))
    ALFA11=(1.,0.0)
    B(1,1)=A(1,1)
    B(1,2)=A(1,2)
    B(1,2*S+3)=A(1,2*S+3)
    B(2,2)=A(2,2)-(B(1,2)*A(2,1))/B(1,1)
    B(2,3)=A(2,3)
    B(2,4)=A(2,4)
    B(2,2*S+3)=(B(1,2*S+3)*A(2,1))/B(1,1)
    B(3,3)=A(3,3)
    B(3,4)=A(3,4)
    B(3,2*S+3)=A(3,2*S+3)
1070 DO 1080 I=2,S
    ALFA1=(0.,0.0)
    ALFA2=A(2*I-1,2*I)-B(2*I-1,2*I)*A(2*I,2*I-1)/B(2*I-1,2*I-1)
    ALFA3=A(2*I,2*I+1)
    ALFA4=A(2*I,2*I+2)
    ALFA5=-B(2*I-1,2*S+3)*A(2*I,2*I-1)/B(2*I-1,2*I-1)
    ALFA6=(A(2*I+1,2*I)-B(2*I-1,2*I)*A(2*I+1,2*I-1))/B(2*I-1,2*I-1)
    ALFA7=A(2*I+1,2*I+1)-B(2*I,2*I+1)*ALFA1
    ALFA8=A(2*I+1,2*I+2)-B(2*I,2*I+2)*ALFA1
    ALFA9=-B(2*I-1,2*S+3)*A(2*I+1,2*I-1)/B(2*I-1,2*I-1)-B(2*I+1,2*S+2)
    ALFA10=-B(2*S+1,2*S+2)*A(2*S+2,2*S+1)/B(2*S+1,2*S+1)
    ALFA11=-B(2*S+1,2*S+3)*A(2*S+2,2*S+1)/B(2*S+1,2*S+1)
    PC(S+1)=B(2*S+2,2*S+5)/B(2*S+2,2*S+2)
1080 S=S+1
    J=2.521
1090 DO 1100 I=2,S
    PC(I)=(B(2*I-1,2*S+3)-B(2*I-1,2*I)*PC(I))/B(2*I-1,2*I-1)
    PC(I-1)=(B(2*I-2,2*S+3)-B(2*I-2,2*I)*PC(I)-B(2*I-2,2*I-1)*L(I))/
    B(2*I-2,2*I-2)
    L(I)=(B(1,2*S+3)-B(1,2)*PC(1))/B(1,1)
    BY1=CMPLX(-PI/(TAU*OMEGA*SIGMA),0.0)
    BY(I)=BY1*(C(I)+PC(I))
    CC(I)=CABS(BY(I))
1100 BY(I)=BY1*(C(I+1)+CEXP(K(I)*LAMBDA(I-1))+PC(I+1)*CEXP(-K(I)*LAMBDA
    (I-1)))
    CC(I)=CABS(BY(I))
1100 CONTINUE
DO 1130 J=1,S
    BY(J)=BID(I3) 916.915.914
1130 CONTINUE

```

337  
338  
339  
340  
341  
  
342  
343  
344  
345  
346  
347  
348  
349  
350  
351  
352  
353  
354  
355  
356  
357  
358  
359  
360  
  
361  
362  
363  
364  
365  
366  
367  
368  
369  
370  
371  
372  
373  
374  
375  
376  
377  
378  
379  
380  
381  
382  
383  
384  
385  
386  
387  
388  
389  
390  
391  
392  
393  
394  
395  
396  
397  
398  
399  
400  
401  
402  
403  
404  
405  
406  
407  
408  
409

```

915 GO TO 919
S1=MIU1D(I3)
916 GO TO 918
S1=I3-3
917 S1=0.0
S15=5+I4
DO 1120 I1=I4,I5
N=1
DO 1110 I2=I4,I5
P=F(I2-I1)86.1110.86
P=P*(BCC(J)-B1D(I2))/(B1D(I1)-B1D(I2))
86 CONTINUE
1110 S1=S1+P*MIU1D(I1)
918 MIUC(J)=S1
GO TO 1130

919 F(BCC(J)-B1D(N))920.921.928
920 I4=N-6
GO TO 917
921 S1=MIU1D(N)
GO TO 918
928 S1=MIU1D(N)*EXP(B1D(N)-BCC(J))+MIUC(N)
GO TO 919
1130 CONTINUE
I=1
IF(ABS(MIU(I)-MIUC(I))/MIUC(I)-EPSI1)1150.1150.1160
1130 MIU(I)=MIUC(I)
IF(I.EQ.5) GO TO 1180
I=I+1
GO TO 1140
1140 MIU(I)=MIUC(I)
IF(I.EQ.5) GO TO 1170
I=I+1
GO TO 1160
1170 IF(J1.EQ.J1M) GO TO 12(0)
IF(MIU(1).LT.U.) M-U(1)=0.0005
YK=6.72*SQR(T(PSI*RC/(6(.0*ZOPTIM*MIUC(1)+(N1-N2N))))
GIND=1.2*YK
DO 1730 I=1,S11
LAMBDA(I)=YK*ALOG(S/(S-I*(1.-EXP(-1.*GIND/YK))))
1730 CONTINUE
J1=J1+1
GO TO 1050

C DETERMINAREA PUTERII,CUPLULUI SI A DIMENSIUNILOR GEOMETRICE ALE
C CUPLAJULUI
1180 A1=REAL(C(1))
B1=AIMAG(C(1))
A1P=REAL(PC(1))
B1P=AIMAG(PC(1))
G1=A1*B1P-A1P*B1
LAM=MIU0*MN/(2.*PI*G1*ZOPTIM**2)
IF(LAM.LT.LAT) LA=LAT
IF(LAM.EQ.LAT) LA=LAT
IF(LAM.GT.LAT) LA=LAM
L=LA/K3
L1=K3*L
P1=U+2.*GIND
P2=P1**4.*D**2.*LA*G1**4/(TAU**2.*MIUC)
P3=P1*M2N/N1
DP1NU=N1-P3
M=2.*PI*LA*ZOPTIM**2.*G1/MIU0

C DETERMINAREA FORTEI MAGNETONOTOAKE DE EXCITATIE A CUPLAJULUI F=I...
C
S2=(C(2)/K(1))*EXP(K(1)*LAMBDA(1))-(PC(2)/K(1))*EXP(-K(1)*LAMBDA(1))
880 I=3
S2=S2+(C(I)/K(I-1))*EXP(K(I-1)*LAMBDA(I-1))-EXP(K(I-1)*LAMBDA(I-1))
LAMBDA(I-2))-(PC(I)/K(I-1))*EXP(-K(I-1)*LAMBDA(I-1))-EXP(-K(I-1)*LAMBDA(I-1))
S2=S2+(PC(S+1)/K(S))*EXP(-K(S)*LAMBDA(S-1))
S2=S2+(PC(2)-C(2))/K(1)
S1C=CMPLX(0.0,+2.*TAU/PI)
FRC=S1C*S2
FR=CABS(FRC)
FIFR=ATAN(AIMAG(FRC)/REAL(FRC))
CFLUX=CMPLX(0.0,TAU*LA/PI)
RMDO=4.*DELTA0/(MIUC*LA*TAU*V)
RMDOII=CMPLX(RMDO*(1.+CSI),0.0)
FPC=CFLUX*DELTA*RMDOII*(-1.0,0.0)
FP=CABS(FPC)
FIFP=ATAN(AIMAG(FPC)/REAL(FPC))
P=SQR(T(FP**2.+FR**2.-2.*FP*FR*COS((FIFP-FIFR)*(100./PI)))

```

F=SQRT(P\*\*2+(BDELTA\*V\*LA\*TAU\*RMDO\*CSI/2.))\*\*2)  
 FLUXPC=(-1.,0.0)\*CFLUX\*BDELTE

GO TO 1220  
 1200 WRITE(108.210)

CC CITREA DATELOR CALCULATE

1240 WRITE(108.470)  
 WRITE(108.480)  
 WRITE(108.490)D  
 WRITE(108.500)ZUPTIM  
 WRITE(108.510)TAU  
 WRITE(108.520)YK  
 WRITE(108.530)GIND  
 WRITE(108.540)LAT  
 WRITE(108.550)LAM  
 WRITE(108.560)LA  
 WRITE(108.570)L  
 WRITE(108.580)L1  
 WRITE(108.590)DI  
 WRITE(108.600)M

WRITE(108.610)P1  
 WRITE(108.620)P2  
 WRITE(108.630)OPIND  
 WRITE(108.640)BDELTE  
 WRITE(108.650)FRC  
 WRITE(108.660)FPC  
 WRITE(108.670)F  
 WRITE(108.680)FLUXPC  
 WRITE(108.690)RMDO  
 DO 1250 I=1,S  
 WRITE(108.700)I,M,U(I)

1250 CONTINUE  
 WRITE(108.720)J1

STOP  
 END

MODULE FZM DATA TYPE P LONGUEUR 4308 (17256)  
 TITRE COLUS HAUT NIVEAU D'ERREUR PENCONTRE = 0) 06 10 32  
 CARA, AN: WW88, JN: CEAH00 . DATE: 06/06/85, HD: 06H10M35S, HF: 06H10M35S, CODE: 000.

STATION DE LIENS  
 CARA, AN: WW88, JN: CEAH00 . DATE: 06/06/85, HD: 06H10M35S, HF: 06H11M32S, CODE: 000.  
 O. TIME: 5

DATE INITIALE  
 \*\*\*\*\*  
 N1 = 16.7000 R/S  
 N2P MAX = 9.1700 R/S  
 MP MAX = 70.0000 N\*M  
 K1 = 1.1000  
 K2 = 1.6700  
 K3 = 1.1000  
 BDELTA = 1.1000 T  
 N2N = 11.7000 R/S  
 EPSI = 1.0000  
 KM = 1.1000  
 DELTA0 = 1.0010 H  
 CSI = 1.3000  
 K4 = 1.6700  
 K5 = 1.7000  
 N4 = 10.0000  
 PSI = 1.2000  
 RO = .2400E-06 OHM\*M  
 S = 5  
 V = 3000  
 T = 50  
 EPSI1 = 1.0010  
 J1M = 40  
 MN = 60.0000 N\*M  
 MIU0 = .1257E-05 H/M  
 MARINI CALCULATE  
 \*\*\*\*\*  
 D = .2000 N  
 ZIMPUS = .0000 DINT  
 TAU = .5792E-01 M  
 YK = .4250E-02 M  
 GIND = .5100E-02 M  
 LAT = .1171E+00 M  
 LAM = .1453E+00 M  
 LA = .1453E+00 M



FLI	==	.1937	+00				
DI	==	.2137	+00				
M	==	.3032	+00				
P1	==	.6000	+04	WA			
P2	==	.6441	+04	WA			
DPIN	==	.7885	+04	WA			
DEL	==	.4222	+00				
FRC	==	.5987	+03				
FPC	==	.2387	+04				
F	==	.4320	+04				
FLUX	==	.8231	+05				
RMDO	==	.1261	+07				
STRA	NR	1	MIU				
STRA	NR	2	MIU				
STRA	NR	3	MIU				
STRA	NR	4	MIU				
STRA	NR	5	MIU				

I.S.HUNEDOARA.AN:WW88.JN:CEAM00 .DATE:06/07/85.HC:06H1432S.HF:06H1441S.C00E:  
 BT





```

2  FORMAT(5F10.0)
8  READ(105,F8.0) D,EPSI1,GIND,L,LA,PI,LI
1222  READ(105,F12.2) RO
9  FORMAT(F10.0)
DO 77777 I=1,N
MIU10(I)=MIU10(I)*0.00001
FLUX12(I)=FLUX12(I)*0.001
RM120(I)=RM120(I)*10000.
RM130(I)=RM130(I)*10000.
77777 CONTINUE
3  FORMAT(1H .10X.93(4H*))
4  FORMAT(1H .10X.94H*      DATE INITIALE
5  VALORI CALCULATE
1  AR. * CUPLU SP. * GIND * N1 * V * Z * ALUNEC * M * IE * NARA V
6  FORMAT(1H .10X.75H* * R/S * * * * * N.M * A * KG.
7  FORMAT(1H .10X.94(4H*))
12  FORMAT(1H1/////////10X.94(4H*))
100 1H*.F6.3.1H*.10X.14.1H*.F5.2.1H*.F4.2.1H*.I3.1H*.F6.2.1H*.F6.1.1
2  F6.2.1H*.F6.2.1H*.F6.2.1H* * .8H * =YK .1H*
101 1H*.10X.3H* 0 * * 2 * 3 * 4 * 5 * 6 *
102 1H*.10X.1H*.14.1H*.F5.2.1H*.F4.2.1H*.I3.1H*.F6.2.1H*.F6.1.1
2  F6.2.1H*.F6.2.1H*.F6.2.1H*
200 1H1.10X.27HNU CONVERGE IN J1M ITERATII)
300 1H1.10X.62H MARTI CARE NU SI-AU MODIFICAT VALOAREA IN PROC
301 1H .10X.65(4H*))
302 1H .10X.7HH =,I6)
303 1H .10X.7HS =,I6.4X.9H STRATURII)
304 1H .10X.7HT =,I6.4X.2H ARMONICI)
306 1H .10X.7HDELTA0 =,F10.4.2H )
307 1H .10X.7HD =,F10.4.2H )
309 1H .10X.7HEPSI1 =,F10.4)
310 1H .10X.7HGIND =,F10.4.2H )
311 1H .10X.7HH =,F10.4.2H )
312 1H .10X.7HHC =,F10.4.2H )
313 1H .10X.7HHS =,F10.4.2H )
316 1H .10X.7HK6 =,F10.4)
317 1H .10X.7HIL =,F10.4.2H )
318 1H .10X.7HILA =,F10.4.2H )
319 1H .10X.7HPT =,F10.4)
321 1H .10X.7HRO =,F10.4.5H OHMT)
322 1H .10X.7HW =,F10.4.5H SPIRE)
400 1H1/////////10X.94H P R O G R A M CEA'01
1  A N E X A NR. )
401 1H .10X.94H=====)
402 1H .10X.94HDETERMINAREA CARACTERISTICILOR DE FUNCTIONARE AL
1  E CUPLAJULUI ELECTROMAGNETIC CU ALUNECARE)
403 1H .10X.94HCEA'01 AVIND RAPORTUL L1/L=1.2 .V=0.3 .GUMARUL
1  DE DINTI Z=8.GROSIMEA INDUSULUI GIND=0.05H.)
404 1H .10X.94HPENTRU THRATIA MOTORULUI DE ACTIONARE N1=1000 R-
1  T/MIN. INDUSUL SI INDUCTORUL REALIZAT DEN 0-40)
WRITE(103,300)
WRITE(103,301)
WRITE(103,302)
WRITE(103,303)
WRITE(103,304)
WRITE(103,306) DELTA0
WRITE(103,307) D
WRITE(103,309) EPSI1
WRITE(103,310) GIND
WRITE(103,311) H
WRITE(103,312) HC
WRITE(103,313) HS
WRITE(103,316) K6
WRITE(103,317) L
WRITE(103,318) LA
WRITE(103,319) PI
WRITE(103,321) RO
WRITE(103,322) W
WRITE(103,323)
WRITE(103,324)
WRITE(103,325)
WRITE(103,326)
WRITE(103,327)
WRITE(103,328)
WRITE(103,329)
WRITE(103,330)
WRITE(103,331)
WRITE(103,332)
WRITE(103,333)
WRITE(103,334)
WRITE(103,335)
WRITE(103,336)
WRITE(103,337)
WRITE(103,338)
WRITE(103,339)
WRITE(103,340)

```

225  
226  
227  
228  
229  
230  
231  
232  
233  
234  
235  
236  
237  
238  
239  
240  
241  
242  
243  
244  
245  
246  
247  
248  
249  
250  
251  
252  
253  
254  
255  
256  
257  
258  
259  
260  
261  
262  
263  
264  
265  
266  
267  
268  
269  
270  
271  
272  
273  
274  
275  
276  
277  
278  
279  
280  
281  
282  
283  
284  
285  
286  
287  
288  
289  
290  
291  
292  
293  
294  
295  
296  
297  
298  
299  
300  
301  
302  
303  
304  
305  
306  
307  
308  
309  
310  
311  
312  
313  
314  
315  
316  
317  
318  
319  
320  
321  
322  
323  
324  
325  
326  
327  
328  
329  
330  
331  
332  
333  
334  
335  
336  
337  
338  
339  
340  
341  
342  
343  
344  
345  
346  
347  
348  
349  
350  
351  
352  
353  
354  
355  
356  
357  
358  
359  
360  
361  
362  
363  
364  
365  
366  
367  
368  
369  
370  
371  
372  
373  
374  
375  
376  
377  
378  
379  
380  
381  
382  
383  
384  
385  
386  
387  
388  
389  
390  
391  
392  
393  
394  
395  
396  
397  
398  
399  
400  
401  
402  
403  
404  
405  
406  
407  
408  
409  
410  
411  
412  
413  
414  
415  
416  
417  
418  
419  
420  
421  
422  
423  
424  
425  
426  
427  
428  
429  
430  
431  
432  
433  
434  
435  
436  
437  
438  
439  
440  
441  
442  
443  
444  
445  
446  
447  
448  
449  
450  
451  
452  
453  
454  
455  
456  
457  
458  
459  
460  
461  
462  
463  
464  
465  
466  
467  
468  
469  
470  
471  
472  
473  
474  
475  
476  
477  
478  
479  
480  
481  
482  
483  
484  
485  
486  
487  
488  
489  
490  
491  
492  
493  
494  
495  
496  
497  
498  
499  
500

```

W0=PI/4  
W1=PI/4  
W2=PI/4  
W3=PI/4  
W4=PI/4  
W5=PI/4  
W6=PI/4  
W7=PI/4  
W8=PI/4  
W9=PI/4  
W10=PI/4  
W11=PI/4  
W12=PI/4  
W13=PI/4  
W14=PI/4  
W15=PI/4  
W16=PI/4  
W17=PI/4  
W18=PI/4  
W19=PI/4  
W20=PI/4  
W21=PI/4  
W22=PI/4  
W23=PI/4  
W24=PI/4  
W25=PI/4  
W26=PI/4  
W27=PI/4  
W28=PI/4  
W29=PI/4  
W30=PI/4  
W31=PI/4  
W32=PI/4  
W33=PI/4  
W34=PI/4  
W35=PI/4  
W36=PI/4  
W37=PI/4  
W38=PI/4  
W39=PI/4  
W40=PI/4  
W41=PI/4  
W42=PI/4  
W43=PI/4  
W44=PI/4  
W45=PI/4  
W46=PI/4  
W47=PI/4  
W48=PI/4  
W49=PI/4  
W50=PI/4  
W51=PI/4  
W52=PI/4  
W53=PI/4  
W54=PI/4  
W55=PI/4  
W56=PI/4  
W57=PI/4  
W58=PI/4  
W59=PI/4  
W60=PI/4  
W61=PI/4  
W62=PI/4  
W63=PI/4  
W64=PI/4  
W65=PI/4  
W66=PI/4  
W67=PI/4  
W68=PI/4  
W69=PI/4  
W70=PI/4  
W71=PI/4  
W72=PI/4  
W73=PI/4  
W74=PI/4  
W75=PI/4  
W76=PI/4  
W77=PI/4  
W78=PI/4  
W79=PI/4  
W80=PI/4  
W81=PI/4  
W82=PI/4  
W83=PI/4  
W84=PI/4  
W85=PI/4  
W86=PI/4  
W87=PI/4  
W88=PI/4  
W89=PI/4  
W90=PI/4  
W91=PI/4  
W92=PI/4  
W93=PI/4  
W94=PI/4  
W95=PI/4  
W96=PI/4  
W97=PI/4  
W98=PI/4  
W99=PI/4  
W100=PI/4  


```

372 DO 1004 K10=3.3  
M1=ALUNEC(K10)  
N2=N21D(K10)  
N21D(I)=N1\*(1.-ALUNEC(I))  
DO 1005 K20=2.2  
M2=ALUNEC(K20)  
RM20(I)=RM120(I)  
CONTINUE  
DO 38381 J=1,KSUM  
RD1D(J)=BD1D20(J)  
CONTINUE  
GO TO 38389  
38381 DO 38384 I1=1,N  
RM2D(I1)=RM130(I1)  
CONTINUE  
DO 38382 J1=1,KSUM  
RD1D(J1)=BD1D30(J1)  
CONTINUE  
GO TO 38389  
38382 DO 1002 K30=2.2  
M3=ALUNEC(K30)  
PSI=PI/4  
FLUX1D(I)=FLUX12(I)\*(12./Z)  
RM1D(I)=RM2D(I)\*(12./12.)  
CONTINUE  
DO 1005 K60=6.6  
RIND1D=STNDFE(K60)  
YK1D=SI\*HD1D

CEA#01 11/06/85 23.56.34

274 DO 1001 K40=1.5  
M1=ALUNEC(K40)  
N2=N21D(K40)  
DO 1002 K50=1,KSUM  
BDELTA=BD1D(K50)  
MIND=1  
PI=PI/4  
MIND=4.\*PI/1000000.

CC DIVIZAREA INDUSULUI IN 5 STRATURI  
CC  
S1=0.000067  
YK=(6.72/SQRT(60.))\*SQRT(PSI\*RO/(7\*(M1-N2)+S1))  
GIND=1.2\*YK  
S1=S-1  
DO 520 I=1,511  
520 LAMDA(I)=YK\*ALOG(S/(S-I\*(1.-EXP(-1.\*GIND\*YK))))

CC DETERMINAREA INDUCTIEI ECHIVALENTE DE CALCUI  
CC  
S1=0  
DO 530 I=1,T  
530 S1=S1+(1.-COS(2.\*PI\*V\*I))/I\*\*2  
GAMA=CMPLX(0.0,TAN(COS(PI\*V)/SIN(PI\*V)))  
BDELTE=2.\*-1.\*BDELTA\*SQRT(S1)/PI\*\*2\*CEXP(GAMA)

CC CALCULUL ITERATIV AL PERMIABILITATII MAGNETICE MIU DIN CELE 5 STRATURI  
CC  
TAU=PI\*D/(2.\*Z)  
KO=PI/TAU  
A(1.1)=CMPLX(0.0,-PI/TAU)  
A(1.2)=A(1.1)  
A(1.2\*S+3)=BDELTE  
A(2.1)=CMPLX(-1.\*KO/MIND,0.0)  
A(2.2)=CMPLX(KO/MIND,0.0)  
SIGMA=1./(RO\*PSI)

```

OMEGA=2.*PI*(N1+N2)*Z
*MIU(1)=0.000067
*MIU(2)=0.000070
*MIU(3)=0.000073
*MIU(4)=0.000080
*MIU(5)=0.000090
J1=4
540 DO 550 I=1,S
CAL=CMPLX((PI/TAU)**2.,OMEGA*SIGMA*MIU(I))
550 K(I)=CSQRT(CAL)
CAA=CMPLX(0.0,-1./(OMEGA*SIGMA*MIU(1)))
A(2,3)=CAA*K(I)
A(3,4)=-A(2,3)
A(4,3)=CMPLX(-PI/(TAU*SIGMA*OMEGA),0.0)
A(7,4)=A(3,3)
DELTA=3.2*S+3)
DO 560 T=2,S
A(2,1,2*I-1)=EXP(K(I-1)*LAMBDA(I-1))
A(2,1,2*I)=EXP(-K(I)*LAMBDA(I-1))
A(2,1,2*I+1)=-EXP(K(I)*LAMBDA(I-1))
A(2,1,2*I+2)=-EXP(-K(I)*LAMBDA(I-1))
A(2,1,2*I+1)=(-1./MIU(I))*K(I)*EXP(K(I)*LAMBDA(I-1))
A(2,1,2*I+2)=(-1./MIU(I))*K(I)*EXP(-K(I)*LAMBDA(I-1))
560 A(2,1,2*I+3)=A(1,1)
702 B(1,1)=A(1,1)
B(1,2)=A(1,2)
B(1,3)=A(1,3)
B(1,4)=A(1,4)
B(2,1)=A(2,1)
B(2,2)=A(2,2)
B(2,3)=A(2,3)
B(2,4)=A(2,4)
B(3,1)=A(3,1)
B(3,2)=A(3,2)
B(3,3)=A(3,3)
B(3,4)=A(3,4)
B(4,1)=A(4,1)
B(4,2)=A(4,2)
B(4,3)=A(4,3)
B(4,4)=A(4,4)
B(5,1)=A(5,1)
B(5,2)=A(5,2)
B(5,3)=A(5,3)
B(5,4)=A(5,4)
B(6,1)=A(6,1)
B(6,2)=A(6,2)
B(6,3)=A(6,3)
B(6,4)=A(6,4)
B(7,1)=A(7,1)
B(7,2)=A(7,2)
B(7,3)=A(7,3)
B(7,4)=A(7,4)
B(8,1)=A(8,1)
B(8,2)=A(8,2)
B(8,3)=A(8,3)
B(8,4)=A(8,4)
B(9,1)=A(9,1)
B(9,2)=A(9,2)
B(9,3)=A(9,3)
B(9,4)=A(9,4)
B(10,1)=A(10,1)
B(10,2)=A(10,2)
B(10,3)=A(10,3)
B(10,4)=A(10,4)
B(11,1)=A(11,1)
B(11,2)=A(11,2)
B(11,3)=A(11,3)
B(11,4)=A(11,4)
B(12,1)=A(12,1)
B(12,2)=A(12,2)
B(12,3)=A(12,3)
B(12,4)=A(12,4)
B(13,1)=A(13,1)
B(13,2)=A(13,2)
B(13,3)=A(13,3)
B(13,4)=A(13,4)
B(14,1)=A(14,1)
B(14,2)=A(14,2)
B(14,3)=A(14,3)
B(14,4)=A(14,4)
B(15,1)=A(15,1)
B(15,2)=A(15,2)
B(15,3)=A(15,3)
B(15,4)=A(15,4)
B(16,1)=A(16,1)
B(16,2)=A(16,2)
B(16,3)=A(16,3)
B(16,4)=A(16,4)
B(17,1)=A(17,1)
B(17,2)=A(17,2)
B(17,3)=A(17,3)
B(17,4)=A(17,4)
B(18,1)=A(18,1)
B(18,2)=A(18,2)
B(18,3)=A(18,3)
B(18,4)=A(18,4)
B(19,1)=A(19,1)
B(19,2)=A(19,2)
B(19,3)=A(19,3)
B(19,4)=A(19,4)
B(20,1)=A(20,1)
B(20,2)=A(20,2)
B(20,3)=A(20,3)
B(20,4)=A(20,4)
B(21,1)=A(21,1)
B(21,2)=A(21,2)
B(21,3)=A(21,3)
B(21,4)=A(21,4)
B(22,1)=A(22,1)
B(22,2)=A(22,2)
B(22,3)=A(22,3)
B(22,4)=A(22,4)
B(23,1)=A(23,1)
B(23,2)=A(23,2)
B(23,3)=A(23,3)
B(23,4)=A(23,4)
B(24,1)=A(24,1)
B(24,2)=A(24,2)
B(24,3)=A(24,3)
B(24,4)=A(24,4)
B(25,1)=A(25,1)
B(25,2)=A(25,2)
B(25,3)=A(25,3)
B(25,4)=A(25,4)
B(26,1)=A(26,1)
B(26,2)=A(26,2)
B(26,3)=A(26,3)
B(26,4)=A(26,4)
B(27,1)=A(27,1)
B(27,2)=A(27,2)
B(27,3)=A(27,3)
B(27,4)=A(27,4)
B(28,1)=A(28,1)
B(28,2)=A(28,2)
B(28,3)=A(28,3)
B(28,4)=A(28,4)
B(29,1)=A(29,1)
B(29,2)=A(29,2)
B(29,3)=A(29,3)
B(29,4)=A(29,4)
B(30,1)=A(30,1)
B(30,2)=A(30,2)
B(30,3)=A(30,3)
B(30,4)=A(30,4)
B(31,1)=A(31,1)
B(31,2)=A(31,2)
B(31,3)=A(31,3)
B(31,4)=A(31,4)
B(32,1)=A(32,1)
B(32,2)=A(32,2)
B(32,3)=A(32,3)
B(32,4)=A(32,4)
B(33,1)=A(33,1)
B(33,2)=A(33,2)
B(33,3)=A(33,3)
B(33,4)=A(33,4)
B(34,1)=A(34,1)
B(34,2)=A(34,2)
B(34,3)=A(34,3)
B(34,4)=A(34,4)
B(35,1)=A(35,1)
B(35,2)=A(35,2)
B(35,3)=A(35,3)
B(35,4)=A(35,4)
B(36,1)=A(36,1)
B(36,2)=A(36,2)
B(36,3)=A(36,3)
B(36,4)=A(36,4)
B(37,1)=A(37,1)
B(37,2)=A(37,2)
B(37,3)=A(37,3)
B(37,4)=A(37,4)
B(38,1)=A(38,1)
B(38,2)=A(38,2)
B(38,3)=A(38,3)
B(38,4)=A(38,4)
B(39,1)=A(39,1)
B(39,2)=A(39,2)
B(39,3)=A(39,3)
B(39,4)=A(39,4)
B(40,1)=A(40,1)
B(40,2)=A(40,2)
B(40,3)=A(40,3)
B(40,4)=A(40,4)
B(41,1)=A(41,1)
B(41,2)=A(41,2)
B(41,3)=A(41,3)
B(41,4)=A(41,4)
B(42,1)=A(42,1)
B(42,2)=A(42,2)
B(42,3)=A(42,3)
B(42,4)=A(42,4)
B(43,1)=A(43,1)
B(43,2)=A(43,2)
B(43,3)=A(43,3)
B(43,4)=A(43,4)
B(44,1)=A(44,1)
B(44,2)=A(44,2)
B(44,3)=A(44,3)
B(44,4)=A(44,4)
B(45,1)=A(45,1)
B(45,2)=A(45,2)
B(45,3)=A(45,3)
B(45,4)=A(45,4)
B(46,1)=A(46,1)
B(46,2)=A(46,2)
B(46,3)=A(46,3)
B(46,4)=A(46,4)
B(47,1)=A(47,1)
B(47,2)=A(47,2)
B(47,3)=A(47,3)
B(47,4)=A(47,4)
B(48,1)=A(48,1)
B(48,2)=A(48,2)
B(48,3)=A(48,3)
B(48,4)=A(48,4)
B(49,1)=A(49,1)
B(49,2)=A(49,2)
B(49,3)=A(49,3)
B(49,4)=A(49,4)
B(50,1)=A(50,1)
B(50,2)=A(50,2)
B(50,3)=A(50,3)
B(50,4)=A(50,4)
B(51,1)=A(51,1)
B(51,2)=A(51,2)
B(51,3)=A(51,3)
B(51,4)=A(51,4)
B(52,1)=A(52,1)
B(52,2)=A(52,2)
B(52,3)=A(52,3)
B(52,4)=A(52,4)
B(53,1)=A(53,1)
B(53,2)=A(53,2)
B(53,3)=A(53,3)
B(53,4)=A(53,4)
B(54,1)=A(54,1)
B(54,2)=A(54,2)
B(54,3)=A(54,3)
B(54,4)=A(54,4)
B(55,1)=A(55,1)
B(55,2)=A(55,2)
B(55,3)=A(55,3)
B(55,4)=A(55,4)
B(56,1)=A(56,1)
B(56,2)=A(56,2)
B(56,3)=A(56,3)
B(56,4)=A(56,4)
B(57,1)=A(57,1)
B(57,2)=A(57,2)
B(57,3)=A(57,3)
B(57,4)=A(57,4)
B(58,1)=A(58,1)
B(58,2)=A(58,2)
B(58,3)=A(58,3)
B(58,4)=A(58,4)
B(59,1)=A(59,1)
B(59,2)=A(59,2)
B(59,3)=A(59,3)
B(59,4)=A(59,4)
B(60,1)=A(60,1)
B(60,2)=A(60,2)
B(60,3)=A(60,3)
B(60,4)=A(60,4)
B(61,1)=A(61,1)
B(61,2)=A(61,2)
B(61,3)=A(61,3)
B(61,4)=A(61,4)
B(62,1)=A(62,1)
B(62,2)=A(62,2)
B(62,3)=A(62,3)
B(62,4)=A(62,4)
B(63,1)=A(63,1)
B(63,2)=A(63,2)
B(63,3)=A(63,3)
B(63,4)=A(63,4)
B(64,1)=A(64,1)
B(64,2)=A(64,2)
B(64,3)=A(64,3)
B(64,4)=A(64,4)
B(65,1)=A(65,1)
B(65,2)=A(65,2)
B(65,3)=A(65,3)
B(65,4)=A(65,4)
B(66,1)=A(66,1)
B(66,2)=A(66,2)
B(66,3)=A(66,3)
B(66,4)=A(66,4)
B(67,1)=A(67,1)
B(67,2)=A(67,2)
B(67,3)=A(67,3)
B(67,4)=A(67,4)
B(68,1)=A(68,1)
B(68,2)=A(68,2)
B(68,3)=A(68,3)
B(68,4)=A(68,4)
B(69,1)=A(69,1)
B(69,2)=A(69,2)
B(69,3)=A(69,3)
B(69,4)=A(69,4)
B(70,1)=A(70,1)
B(70,2)=A(70,2)
B(70,3)=A(70,3)
B(70,4)=A(70,4)
B(71,1)=A(71,1)
B(71,2)=A(71,2)
B(71,3)=A(71,3)
B(71,4)=A(71,4)
B(72,1)=A(72,1)
B(72,2)=A(72,2)
B(72,3)=A(72,3)
B(72,4)=A(72,4)
B(73,1)=A(73,1)
B(73,2)=A(73,2)
B(73,3)=A(73,3)
B(73,4)=A(73,4)
B(74,1)=A(74,1)
B(74,2)=A(74,2)
B(74,3)=A(74,3)
B(74,4)=A(74,4)
B(75,1)=A(75,1)
B(75,2)=A(75,2)
B(75,3)=A(75,3)
B(75,4)=A(75,4)
B(76,1)=A(76,1)
B(76,2)=A(76,2)
B(76,3)=A(76,3)
B(76,4)=A(76,4)
B(77,1)=A(77,1)
B(77,2)=A(77,2)
B(77,3)=A(77,3)
B(77,4)=A(77,4)
B(78,1)=A(78,1)
B(78,2)=A(78,2)
B(78,3)=A(78,3)
B(78,4)=A(78,4)
B(79,1)=A(79,1)
B(79,2)=A(79,2)
B(79,3)=A(79,3)
B(79,4)=A(79,4)
B(80,1)=A(80,1)
B(80,2)=A(80,2)
B(80,3)=A(80,3)
B(80,4)=A(80,4)
B(81,1)=A(81,1)
B(81,2)=A(81,2)
B(81,3)=A(81,3)
B(81,4)=A(81,4)
B(82,1)=A(82,1)
B(82,2)=A(82,2)
B(82,3)=A(82,3)
B(82,4)=A(82,4)
B(83,1)=A(83,1)
B(83,2)=A(83,2)
B(83,3)=A(83,3)
B(83,4)=A(83,4)
B(84,1)=A(84,1)
B(84,2)=A(84,2)
B(84,3)=A(84,3)
B(84,4)=A(84,4)
B(85,1)=A(85,1)
B(85,2)=A(85,2)
B(85,3)=A(85,3)
B(85,4)=A(85,4)
B(86,1)=A(86,1)
B(86,2)=A(86,2)
B(86,3)=A(86,3)
B(86,4)=A(86,4)
B(87,1)=A(87,1)
B(87,2)=A(87,2)
B(87,3)=A(87,3)
B(87,4)=A(87,4)
B(88,1)=A(88,1)
B(88,2)=A(88,2)
B(88,3)=A(88,3)
B(88,4)=A(88,4)
B(89,1)=A(89,1)
B(89,2)=A(89,2)
B(89,3)=A(89,3)
B(89,4)=A(89,4)
B(90,1)=A(90,1)
B(90,2)=A(90,2)
B(90,3)=A(90,3)
B(90,4)=A(90,4)
B(91,1)=A(91,1)
B(91,2)=A(91,2)
B(91,3)=A(91,3)
B(91,4)=A(91,4)
B(92,1)=A(92,1)
B(92,2)=A(92,2)
B(92,3)=A(92,3)
B(92,4)=A(92,4)
B(93,1)=A(93,1)
B(93,2)=A(93,2)
B(93,3)=A(93,3)
B(93,4)=A(93,4)
B(94,1)=A(94,1)
B(94,2)=A(94,2)
B(94,3)=A(94,3)
B(94,4)=A(94,4)
B(95,1)=A(95,1)
B(95,2)=A(95,2)
B(95,3)=A(95,3)
B(95,4)=A(95,4)
B(96,1)=A(96,1)
B(96,2)=A(96,2)
B(96,3)=A(96,3)
B(96,4)=A(96,4)
B(97,1)=A(97,1)
B(97,2)=A(97,2)
B(97,3)=A(97,3)
B(97,4)=A(97,4)
B(98,1)=A(98,1)
B(98,2)=A(98,2)
B(98,3)=A(98,3)
B(98,4)=A(98,4)
B(99,1)=A(99,1)
B(99,2)=A(99,2)
B(99,3)=A(99,3)
B(99,4)=A(99,4)
B(100,1)=A(100,1)
B(100,2)=A(100,2)
B(100,3)=A(100,3)
B(100,4)=A(100,4)

```

```

570 DO 580 J=2,S21
Y1=3+J
PC(I)=B(2*I-1,2*S+3)-B(2*I-1,2*I)*PC(I)/B(2*I-1,2*I-1)
580 PC(I)=B(2*I-2,2*S+3)-B(2*I-2,2*I)*PC(I)-B(2*I-2,2*I-1)*PC(I)/
1 B(2*I-2,2*I-1)
PC(I)=B(1,2*S+3)-B(1,2)*PC(1)/B(1,1)

```

DETERMINAREA COMPONENTEI BY A INDUCTIEI MAGNETICE IN INDUS SI RECALCULAREA PERMIABILITATII MIU SI A GROSIMII STRATIFICIOR INDUSILOR

```

BY1=CMPLX(-PI/(TAU*OMEGA*SIGMA),0.0)
BY(I)=BY1*(C(2)+PC(2))
590 S=ABS(BY(1))
DO 599 I=2,S
PC(I)=BY1*(C(I+1)*EXP(K(I)*LAMBDA(I-1))+PC(I+1)*EXP(-K(I)*
1 LAMBDA(I-1)))
599 PC(I)=ABS(BY(I))
590 CONTINUE
DO 614 J=1,S
614 DO 615 I=2,S
615 SA=MIU(I)
616 TA=I-1
617 SA=0.0

```

389  
390  
391  
392  
393  
394  
395  
396  
397  
398  
399  
400  
401  
402  
403  
404  
405  
406  
407  
408  
409  
410  
411  
412  
413  
414  
415  
416  
417  
418  
419  
420  
421  
422  
423  
424  
425  
426  
427  
428  
429  
430  
431  
432  
433  
434  
435  
436  
437  
438  
439  
440  
441  
442  
443  
444  
445  
446  
447  
448  
449  
450  
451  
452  
453  
454  
455  
456  
457  
458  
459  
460  
461  
462  
463  
464  
465  
466  
467  
468  
469  
470  
471

```

      T5=2+I4
      DO 1170 I1=I4,I5
      PE=1.0
      DO 1110 T2=I4,I5
      YF(I2-I1)=-B1D(I1)
      86 PE=PE*(BCC(J)-B1D(I2))/(B1D(I1)-B1D(I2))
      1110 CONTINUE
      1120 S1=S1+PE*MIU1D(I1)
      918 HTUC(J)=S1
      GO TO 1130
      919 TF(BCC(J)-B1D(N)) 020.921.028
      920 I4=I1+2
      GO TO 917
      921 S1=MIU1D(N)
      GO TO 913
      928 S1=MIU1D(N)*EXP(B1D(N)-BCC(J))+MIU0
      GO TO 918
      1130 CONTINUE
      T=1
      630 TF(ABS(HTUC(I)-MIUC(I))/MIU(I)-EPSI1)640.640.650
      640 MIUC(I)=HTUC(I)
      MIUC(I)=0.
      TF(T.EQ.S11) GO TO 670
      T=T+1
      GO TO 670
      650 MIUC(I)=HTUC(I)
      MIUC(I)=0.
      TF(T.EQ.S) GO TO 660
      T=T+1
      GO TO 650
      660 TF(J1.EQ.J11) GO TO 1700
      TF(MNND.EQ.3) GO TO 703
      YK=(6.72*SQRT(60.))*SQRT(PSI*RO/(2*(V1-V2)*MIUC(1)))
      8889 YK=YK1D 6888.8888.8889
      MNND=3
      DO 701 I=1,S11
      LAMDA(I)=YK*ALOG(S11/(S11-I*(1.-EXP(-1.))))
      701 CONTINUE
      703 I1=J1+1
      DO 556 I=1,S
      CA=CHPLX((PI/TAU)**2,.OMEGA*SIGMA*MIUC(I))
      556 K(1)=CSQRT(CA)
      *U(5)=MIUC
      K(5)=K0
      CAA=CHPLX(0,0,-1./(OMEGA*SIGMA*MIUC(1)))
      A(2,3)=CAA*K(1)
      A(2,4)=-A(2,3)
      A(3,4)=CHPLX(PI/TAU*SIGMA*OMEGA,0,0)
      A(3,5)=A(3,3)
      A(4,2)*S+1)=BDELTE
      DO 566 I=1,S
      A(2*I+1,2*I+1)=CEXP(K(I)-1)*LAMDA(I-1)
      A(2*I+1,2*I+1)=EXP(K(I)-1)*LAMDA(I-1)
      A(2*I+1,2*I+2)=CEXP(K(I)*LAMDA(I-1))
      A(2*I+1,2*I+2)=EXP(K(I)*LAMDA(I-1))
      A(2*I+1,2*I+1)=-(1./MIUC(I-1))*K(I-1)*CEXP(K(I)-1)*LAMDA(I-1)
      A(2*I+1,2*I+1)=-(1./MIUC(I-1))*K(I-1)*CEXP(K(I)-1)*LAMDA(I-1)
      A(2*I+1,2*I+1)=-(1./MIUC(I-1))*K(I-1)*CEXP(K(I)-1)*LAMDA(I-1)
      566 A(2*I+1,2*I+2)=-(1./MIUC(I))*K(I)*CEXP(K(I)-1)*LAMDA(I-1)
      A(2*I+2,2*I+2)=-(1./MIUC(I))*K(I)*CEXP(K(I)-1)*LAMDA(I-1)
      CAA=CHPLX(PI/TAU*(OMEGA*SIGMA).0,0)
      CEA#04 11/06/85 27.56.34
      A(2*S,2*S+1)=A(2*S,2*S-1)*CAA
      A(2*S,2*S)=A(2*S,2*S)*CAA
      CAA=CHPLX(0,0,PI/TAU)
      A(2*S,2*S+1)=A(2*S,2*S+1)*CAA
      A(2*S,2*S+2)=A(2*S,2*S+2)*CAA
      CAA=CHPLX(0,0,1./(SIGMA*OMEGA))
      A(2*S+1,2*S+1)=A(2*S+1,2*S+1)*CAA
      A(2*S+1,2*S)=A(2*S+1,2*S)*CAA
      A(2*S+1,2*S+1)=A(2*S+1,2*S+1)
      A(2*S+1,2*S+2)=A(2*S+1,2*S+2)
      DO 8888 I=1,S
      CONTINUE
      GO TO 700
      8888 S1=J1+1
      YK=YK1D
      DO 700 I=1,S11
      LAMDA(I)=YK*ALOG(S/(S-I*(1.-EXP(-1.*SIND/YK))))
      700 CONTINUE
      I1=J1+1
      GO TO 340

```

C DETERMINAREA CUPLULUI TRANSMIS DE CUPLAU

```

670 A1=REAL(C(1))
    B1=AIMAG(C(1))
    A*P=REAL(PC(1))
    B*P=AIMAG(PC(1))
    G1=A1*B1P-A1P*B1
    ME2=*P1*LA*Z**2.*G1/MIUO
    *V(K50)=H
C
C DETERMINAREA REACTIEI INDUSULUI
C
    S2=(C(2)/K(1))*C*EXP(K(1)*LAMDA(1))-(PC(2)/K(1))*C*EXP(-K(1)*LAMDA
1(1))
DO 680 I=3,6
680 S2=S2+(C(I)/K(I-1))*(C*EXP(K(I-1)*LAMDA(I-1))-C*EXP(K(I-1)*
1(LAMDA(I-1)))-(PC(I)/K(I-1))*(C*EXP(-K(I-1)*LAMDA(I-1))-C*EXP
1(-K(I-1)*LAMDA(I-1)))
    S2=S2+(PC(S-1)/K(S))*C*EXP(-K(S)*LAMDA(S-1))
    S2=S2+(PC(2)-C(2))/K(1)
    S10=CMPLX(0.0,+2.0*TAU/PI)
    FRC=S10**2
    FR=CABS(FRC)
C
C DETERMINAREA VALORII CURENTULUI DE EXCITATIE PENTRU CONDITIILE INDUSULUI
C IN FUNCTIONAREA CUPLAJULUI
C
    RMI=0.
    RMI=MIU(1)*(D+LAMDA(1))*LAMDA(1)
DO 555 J=2,S11
555 RMI=RMI+MIU(J)*(D+LAMDA(J-1)+LAMDA(J))*(LAMDA(J)-LAMDA(J-1))
CONTINUE
    D1=6*IND10-LAMDA(S11)
    RMI=RMI+MIU(S)*(D+D1+LAMDA(S11)+D1)*D1
    RMI1=2.*Z*L/(PI*RMI)
    RMI1=1.
    RMI0=4.*DELTA0/(MIU0*TAU*LA*V)
    CFIUX=CMPLX(0.0,TAU*LA/PI)
    FLUXP=(-1.0)*CFIUX*BDELTA
    IRHC=MIU0*P*(1-V)*(HC-H)*2.*(D/2.-2.*HC/3.-DELTA0-H/Z.)/
1(2.*Z*LA*H3)
    COSALF=4.*Z**2.*(L-LA)**2./(4.*Z**2.*(L-LA)**2.+(PI+D*(1.-V))**2.)
    IRMP=PI+MIU0*HC*U*V*COSALF/(2.*Z*(L-LA))
    RMD=1./K0*(IRHC+IRMP)
    UM=FRC+FLUXP*(RMD0+RMI)
    FLUX0=UM/RMD
    FLUXTC=FLUXP+FLUX0
    FLUXTC=CABS(FLUXTC)
    FLUXT=SQRT(FLUXTC**2.+(BDELTA*V*LA*TAU/2.))**2)
DO 514 I3=2,N8
514 T1(FLUXT)=FLUX1D(I3) 516,515,514
CONTINUE
DO 515 I3=2,N8
515 S1=RM1D(I3)
DO 516 I3=2,N8
516 T2=I3-1
517 S1=0.0
    T2=2+I4
DO 2120 I1=14,I9
    S1=1.
DO 2110 I2=-4,I5
IF(I2-I1)198,2110,196
196 RHP*(FLUXT-FLUX1D(I2))/(FLUX1D(I1)-FLUX1D(I2))
2110 CONTINUE
2120 S1=S1+P*RM1D(I1)
DO 518
518 T1(FLUXT-FLUX1D(N)) 715,721,728
715 I4=N-2
DO 517
721 S1=RM1D(N)
DO 518
GEAR01 11/06/85 27.06.89
518 S1=S1
DO 727
728 S1=(FLUXT*(RM1D(N)-RM1D(N-1))+RM1D(N-1)*FLUX1D(N)-RM1D(N)*FLUX1D
1(N-1))/(FLUX1D(N)-FLUX1D(N-1))
DO 727
727 RMC2=RM1D0+RMI
    FC=FLUXP*(RM1+RMU2+RM1*RMU0/RMD)+FRC*(1.+2*1/RMD)
    F=CABS(F)
    F=F/SQRT(2.)
    F=SQRT(F**2.+(RM1*BDELTA*V*LA*TAU/2.))**2)
    RMC2=0.
    RMC2=RM1+RMD0+RMI
    F=SQRT(F**2.+(RMC2*BDELTA*V*LA*TAU/2.))**2)

```



554  
555  
556  
557  
558  
559  
560  
561  
562  
563  
564  
565  
566  
567  
568  
569  
570  
571  
572  
573  
574  
575  
576  
577  
578  
579  
580  
581  
582  
583  
584  
585  
586  
587  
588  
589  
590  
591  
592  
593  
594  
595  
596  
597  
598  
599  
600  
601  
602  
603  
604  
605  
606  
607  
608  
609  
610  
611  
612  
613  
614  
615  
616  
617  
618  
619  
620  
621  
622  
623  
624  
625  
626  
627  
628  
629  
630  
631  
632  
633  
634  
635  
636  
637  
638  
639  
640

```

      YEFF/U
      IV(K50)=IE
1000  CONTINUE
C
C DETERMINAREA PRIN INTERPOLARE POLINOMIALA A CUPLULUI FUNCTIE DE
C ALUNECARE LA CURENT DE EXCITATIE CONSTANT SI CALCULAREA LUI P1,P2
C SI DPIND CORESPUNZATOARE ACESTUI CUPLU
      DO 1006 K70=1,4
      TD=TD1D(K70)
      K50=K50M-1
      DO 814 I3=2,K508
      IF(I0-IV(I3))816,815,814
814  CONTINUE
      DO 815 TO 819
      S1=MV(I3)
      DO 816 TO 817
      I4=I3-1
      I5=I3+1
      DO 818 1020 I1=I4,I5
      DO 819 1010 I2=I4,I5
      DO 820 1010 I2=I4,I5
820  P1P*(I0-IV(I2))/(IV(I1)-IV(I2))
1010  CONTINUE
1020  S1=S1+P*MV(I1)
      DO 819 TO 822
      IF(I0-IV(K50M))820,821,828
820  I4=K50M-2
      DO 821 TO 822
      S1=MV(K50M)
      DO 823 TO 822
      I4=K50M-2
822  CONTINUE
      P1=P1*PI*N1*S1/1000.
      P2=P1*N2/N1
      DPIND=P1-P2
C
C TIPARIREA MARIMILOR CALCULATE
C
      IF(CIND10.LT.1.)GO TO 44444
      IF(NC.EQ.J7)GO TO 11
      WRITE(108,100)NC,N1,V,Z,M1,S1,TD,P1,P2,DPIND
      GO TO 44444
44444  V=KIND10
      MASA=7800.*PI*LI*YK*(D+2.*DELTA0+YK)
      MASA=MASA+7800.*PI*V*LA*H*(D-H)
      MASP=S1/MASA
      IF(NC.EQ.J7)GO TO 10
44444  WRITE(108,102)NC,N1,V,Z,M1,S1,TD,MASA,HCP,CIND10,P1,P2,DPIND
      CONTINUE
      NC=NC+1
1006  CONTINUE
1001  CONTINUE
1005  CONTINUE
1002  CONTINUE
1003  CONTINUE
1004  CONTINUE
      WRITE(108,7)
      GO TO 1200
11  WRITE(108,7)
      WRITE(108,12)
      WRITE(108,12)
      WRITE(108,12)
      WRITE(108,12)
      WRITE(108,12)
      WRITE(108,12)
      WRITE(108,101)
      WRITE(108,7)
      J7=J7+40
      GO TO 49
10  WRITE(108,7)
      WRITE(108,12)
      WRITE(108,12)
      WRITE(108,12)
      WRITE(108,7)
      WRITE(108,101)
      WRITE(108,7)
      J7=J7+40
      GO TO 405
1100  WRITE(108,200)
1200  CONTINUE
      STOP

```

CEANCI 10/06/85 23.56.34



1.C	N1	R1	S	V	Z	ALINEC	M	INDUS	MASA	INDUS	CHILU	SP.	KG.	IND	METRI	P1	P2	P1	P2	KW	KW	DPIND
0	32	16	70	2	3	4	30	7	78	EE	73	EE	00	02	00	10	64	11	44	12	19	
3	56	16	70	3	1	3	30	EE	130	EE	30	EE	00	02	00	10	72	11	44	12	19	
3	38	16	70	3	4	3	30	EE	105	EE	26	EE	00	02	00	10	50	11	44	12	19	
3	38	16	70	3	4	3	30	EE	135	EE	20	EE	00	02	00	10	54	11	44	12	19	
4	40	16	70	3	4	3	30	EE	141	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
4	42	16	70	3	4	3	30	EE	130	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
4	43	16	70	3	4	3	30	EE	134	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
4	44	16	70	3	4	3	30	EE	130	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
4	45	16	70	3	4	3	30	EE	134	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
4	46	16	70	3	4	3	30	EE	130	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
4	47	16	70	3	4	3	30	EE	134	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
4	48	16	70	3	4	3	30	EE	130	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
4	49	16	70	3	4	3	30	EE	134	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
5	50	16	70	3	4	3	30	EE	130	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
5	51	16	70	3	4	3	30	EE	134	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
5	52	16	70	3	4	3	30	EE	130	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
5	53	16	70	3	4	3	30	EE	134	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
5	54	16	70	3	4	3	30	EE	130	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
5	55	16	70	3	4	3	30	EE	134	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
5	56	16	70	3	4	3	30	EE	130	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
5	57	16	70	3	4	3	30	EE	134	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
5	58	16	70	3	4	3	30	EE	130	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
5	59	16	70	3	4	3	30	EE	134	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
6	60	16	70	3	4	3	30	EE	130	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
6	61	16	70	3	4	3	30	EE	134	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
6	62	16	70	3	4	3	30	EE	130	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
6	63	16	70	3	4	3	30	EE	134	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
6	64	16	70	3	4	3	30	EE	130	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
6	65	16	70	3	4	3	30	EE	134	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
6	66	16	70	3	4	3	30	EE	130	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
6	67	16	70	3	4	3	30	EE	134	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
6	68	16	70	3	4	3	30	EE	130	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
6	69	16	70	3	4	3	30	EE	134	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	
7	70	16	70	3	4	3	30	EE	130	EE	16	EE	00	02	00	10	67	11	44	12	19	

E1 (continua)

A N E X A NR. LEANOT AVIND

P R O G R A M CEANOT  
DETERMINAREA GROSIMII OPTIME A INDUSULUI FEROMAGNETIC  
N1=100 ROT/MIN ALUHECAREA=0,3 SI RAPORTUL LI/L=1,03  
INDUSUL SI INDUCTORUL REALIZAT DIN OT 40.

DATE INITIALE	Z	V	N1	R/S	C	N.C	DATE INITIALE	Z	V	N1	R/S	C	N.C	ALUNEC	M	IE	MASA VAR.	VALORI	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
1	2	45	16	70	4	30	64	8	304E+04	1	2	45	16	70	4	30	304E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
2	45	16	70	4	30	64	44	8	101E+04	2	2	45	16	70	4	30	101E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
3	45	16	70	4	30	64	44	8	161E+04	2	2	45	16	70	4	30	161E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
4	45	16	70	4	30	64	44	8	171E+04	2	2	45	16	70	4	30	171E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
5	45	16	70	4	30	64	44	8	171E+04	2	2	45	16	70	4	30	171E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
6	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
7	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
8	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
9	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
10	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
11	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
12	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
13	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
14	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
15	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
16	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
17	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
18	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
19	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
20	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
21	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
22	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
23	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
24	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
25	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
26	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
27	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
28	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
29	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.
30	45	16	70	4	30	64	44	8	167E+04	2	2	45	16	70	4	30	167E+04	7	INDUSUL	INDUCTORUL	REALIZAT	DIN	OT	40.

NH.C	N1	R/S	V	Z	ALUNEC	NH	IE	MASA	VAR.	CUPU	SP.	GINDR	P1	P2	DPIHD
0	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	0	10	11	12
108	16	70	45	1	30	3	00	129E+02	96E+01	025	00	40	28	1	12
109	16	70	60	4	30	4	00	130E+04	145E+01	040	00	62	23	1	38
110	16	70	60	4	30	4	00	130E+05	145E+00	160	00	61	20	1	38
111	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	080	00	50	15	1	55
112	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	020	00	36	05	1	51
113	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	010	00	07	03	1	25
114	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	010	00	50	05	1	18
115	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	025	00	01	03	1	03
116	16	70	60	4	30	4	00	130E+04	145E+01	040	00	65	09	1	40
117	16	70	60	4	30	4	00	130E+04	145E+01	320	00	62	25	1	33
118	16	70	60	4	30	4	00	130E+05	145E+00	180	00	62	23	1	33
119	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	030	00	50	13	1	32
120	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	020	00	41	08	1	32
121	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	020	00	41	08	1	32
122	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	020	00	41	08	1	32
123	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	020	00	41	08	1	32
124	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	020	00	41	08	1	32
125	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	020	00	41	08	1	32
126	16	70	60	4	30	4	00	130E+04	145E+01	040	00	62	27	1	54
127	16	70	60	4	30	4	00	130E+04	145E+01	025	00	06	15	1	09
128	16	70	60	4	30	4	00	130E+05	145E+00	180	00	04	15	1	22
129	16	70	60	4	30	4	00	130E+05	145E+00	040	00	04	15	1	22
130	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	020	00	40	15	1	19
131	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	020	00	40	15	1	19
132	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	020	00	40	15	1	19
133	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	020	00	40	15	1	19
134	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	020	00	40	15	1	19
135	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	020	00	40	15	1	19
136	16	70	60	4	30	4	00	130E+04	145E+01	040	00	06	19	1	20
137	16	70	60	4	30	4	00	130E+04	145E+01	025	00	06	19	1	20
138	16	70	60	4	30	4	00	130E+05	145E+00	180	00	03	19	1	20
139	16	70	60	4	30	4	00	130E+05	145E+00	040	00	03	19	1	20
140	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	020	00	03	19	1	20
141	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	020	00	03	19	1	20
142	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	020	00	03	19	1	20
143	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	020	00	03	19	1	20
144	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	020	00	03	19	1	20
145	16	70	60	4	30	4	00	130E+02	145E+00	020	00	03	19	1	20

INSTIPOL POLITEKNIK  
J.M. GARA  
300 GED BANG



P 3 U G N A M CEAH01  
 DETERMINAREA CARACTERISTICILOR DE FUNCTIONARE ALE CUPLAJULUI ELECTROMAGNETIC CU ALUNECARE  
 CENTRUL AVIND RAPORTUL L1/L2=V50/3; NUMARUL DE DINTI Z=6; GROSIMEA INDUSULUI GINDEU 0,15M,  
 PENTRU DIFERIE TURATII ALE MOTORULUI DE ACTIONARE, INDUSUL SI INDUCTORUL REALIZAT DIN OT 40.  
 DATE INITIALE  
 NUC - V \* Z \* ACUNCU - M \* N \* IE \* MASAVAR. \* N.M/KG. \* VALORI CALCULATE  
 - 0 - 1  
 0\*50:00\* :30\* :30\* :42:4\* :2:000\* :550E+02\* :126E+01\* :0150\* :13:54\* :12:67\* :11\* :12  
 1\*50:00\* :30\* :30\* :50:7\* :2:000\* :550E+02\* :175E+01\* :0150\* :18:49\* :18:04\* :12:67\* :11\* :12  
 3\*50:00\* :30\* :30\* :127:4\* :2:000\* :550E+02\* :370E+01\* :0150\* :37:70\* :21:05\* :18:04\* :11\* :12  
 5\*50:00\* :30\* :30\* :157:8\* :2:000\* :550E+02\* :452E+01\* :0150\* :47:09\* :23:88\* :23:88\* :11\* :12  
 7\*25:00\* :30\* :30\* :42:4\* :2:000\* :550E+02\* :126E+01\* :0150\* :47:09\* :47:09\* :47:09\* :11\* :12  
 9\*25:00\* :30\* :30\* :70:8\* :2:000\* :550E+02\* :211E+01\* :0150\* :8:62\* :6:00\* :6:00\* :11\* :12  
 1\*25:00\* :30\* :30\* :70:8\* :2:000\* :550E+02\* :211E+01\* :0150\* :8:62\* :6:00\* :6:00\* :11\* :12  
 3\*25:00\* :30\* :30\* :117:8\* :2:000\* :550E+02\* :337E+01\* :0150\* :15:04\* :6:00\* :6:00\* :11\* :12  
 5\*25:00\* :30\* :30\* :117:8\* :2:000\* :550E+02\* :337E+01\* :0150\* :15:04\* :6:00\* :6:00\* :11\* :12  
 7\*16:00\* :30\* :30\* :24:8\* :2:000\* :550E+02\* :72E+01\* :0150\* :15:04\* :6:00\* :6:00\* :11\* :12  
 9\*16:00\* :30\* :30\* :34:7\* :2:000\* :550E+02\* :104E+01\* :0150\* :15:04\* :6:00\* :6:00\* :11\* :12  
 1\*16:00\* :30\* :30\* :50:7\* :2:000\* :550E+02\* :154E+01\* :0150\* :30:00\* :2:43\* :2:43\* :11\* :12  
 3\*16:00\* :30\* :30\* :80:7\* :2:000\* :550E+02\* :240E+01\* :0150\* :30:00\* :2:43\* :2:43\* :11\* :12  
 5\*16:00\* :30\* :30\* :100:1\* :2:000\* :550E+02\* :298E+01\* :0150\* :30:00\* :2:43\* :2:43\* :11\* :12  
 7\*12:50\* :30\* :30\* :21:7\* :2:000\* :550E+02\* :89E+01\* :0150\* :70:50\* :10:58\* :10:58\* :11\* :12  
 9\*12:50\* :30\* :30\* :21:7\* :2:000\* :550E+02\* :89E+01\* :0150\* :70:50\* :10:58\* :10:58\* :11\* :12  
 1\*12:50\* :30\* :30\* :51:5\* :2:000\* :550E+02\* :135E+01\* :0150\* :70:50\* :10:58\* :10:58\* :11\* :12  
 3\*12:50\* :30\* :30\* :70:8\* :2:000\* :550E+02\* :204E+01\* :0150\* :70:50\* :10:58\* :10:58\* :11\* :12  
 5\*12:50\* :30\* :30\* :80:7\* :2:000\* :550E+02\* :234E+01\* :0150\* :70:50\* :10:58\* :10:58\* :11\* :12  
 7\*10:00\* :30\* :30\* :18:7\* :2:000\* :550E+02\* :80E+01\* :0150\* :15:04\* :6:00\* :6:00\* :11\* :12  
 9\*10:00\* :30\* :30\* :27:0\* :2:000\* :550E+02\* :138E+01\* :0150\* :15:04\* :6:00\* :6:00\* :11\* :12  
 1\*10:00\* :30\* :30\* :40:5\* :2:000\* :550E+02\* :191E+01\* :0150\* :15:04\* :6:00\* :6:00\* :11\* :12  
 3\*10:00\* :30\* :30\* :40:5\* :2:000\* :550E+02\* :191E+01\* :0150\* :15:04\* :6:00\* :6:00\* :11\* :12  
 5\*10:00\* :30\* :30\* :80:7\* :2:000\* :550E+02\* :382E+01\* :0150\* :15:04\* :6:00\* :6:00\* :11\* :12  
 7\*10:00\* :30\* :30\* :80:7\* :2:000\* :550E+02\* :382E+01\* :0150\* :15:04\* :6:00\* :6:00\* :11\* :12  
 9\*10:00\* :30\* :30\* :80:7\* :2:000\* :550E+02\* :382E+01\* :0150\* :15:04\* :6:00\* :6:00\* :11\* :12

```

P R O G R A M CEAH01
D E T E R M I N A R E A C A R A C T E R I S T I C I L O R D E F U N C T I O N A R E A L E C U P L A J U L U I E L E C T R O M A G N E T I C C U I A L U N D E 0.015M,
P E N T R U T U R A T I A M O T O R U L U I D E A C T I O N A R E N 1=1000 R O T / M I N . F U N C T I O N I N D I N R E G I M D E F R I N A .
N : C 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
R / S 1 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16
D A T E 70 70 70 70 70 70 70 70 70 70 70 70
I N I T I A L V 2 50 50 50 50 50 50 50 50 50 50 50
M O T O R U L U I 7 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88
A L U N E C 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
N 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
M 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3
M A S A K G 500 500 500 500 500 500 500 500 500 500 500 500
I E A 6 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
F O S 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12
V 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
N 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
R O T / M I N 1500 1500 1500 1500 1500 1500 1500 1500 1500 1500 1500 1500
C H I M / K G R 1.85 1.55 2.28 2.91 3.57 4.22 4.88 5.52 6.17 6.81 7.46 8.10
V A L O R 7 C A L C U L A T E 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
G I N D I M E T R I 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
P 1 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10
P 2 11 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
K W 11 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
P 1 12 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
P 2 12 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
K W 12 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
D P I N D 12 06 98 507 18 543 46 61 6 202 03 02

```











DETERMINAREA INDUCTIEI ECHIVALENTE DE CALCUI

```

S1=0
DO 530 I=1,7
530 S1=S1+(1.-COS(2.*PI.*V*I))/I**2
GAMA=2.*PI*(0.0-ATAN(COS(PI.*V)/SIN(PI.*V)))
BDELTE=(1.-BDELTA*SQRT(S1)/PI)-CEXP(GAMA)

```

CALCULUL ITERATIV AL PERMIABILITATII MAGNETICE MIU DIN CELE S STRATIGRAFICE

```

TAU=PI*D/(2.*Z)
KO=PI/TAU
A(1,1)=CMPLX(0.0,-PI/TAU)
A(1,2)=A(1,1)
A(1,2*S+3)=BDELTE
A(2,1)=CMPLX(-1.*KO/MIU(0,0))
A(2,2)=CMPLX(KO/MIU(0,0))
SIGMA=1./(PSI*RU)

```

```

OMEGA=2.*PI*(N1-N2)*Z
MIU(1)=MIU(0)*GNEF/(GNEF+DELTA0)
MIU(2)=0.000070
MIU(3)=0.000072
MIU(4)=0.000080
MIU(5)=0.000090
MIU(6)=0.000090
SYM1=1./(PSI*RU*NEF)
I1=1
CA=CMPLX((PI/TAU)**2..OMEGA*SIGMA*MIU(1))
540 K(1)=CSQRT(CA)
DO 550 I=2,5

```

```

550 CA=CMPLX((PI/TAU)**2..OMEGA*SIGMA*MIU(I))
K(I)=CSQRT(CA)
CAA=CMPLX(0.0,-1./(OMEGA*S*GM1*MIU(1)))
A(2,3)=CAA*K(1)
A(2,4)=A(2,3)
A(3,3)=CMPLX(-PI/(TAU*SIGMA*OMEGA),0.0)
A(3,4)=A(3,3)
A(3,2*S+3)=BDELTE
A(4,3)=CEXP(+K(1)*LAMBDA(1))/SIGMA1

```

```

A(4,4)=CEXP(-K(1)*LAMBDA(1))/SIGMA1
A(4,5)=CEXP(+K(2)*LAMBDA(1))/SIGMA1
A(4,6)=CEXP(-K(2)*LAMBDA(1))/SIGMA1
A(5,3)=CEXP(+K(1)*LAMBDA(1))*K(1)/(MIU(1)*SIGMA1)
A(5,4)=CEXP(-K(1)*LAMBDA(1))*K(1)/(MIU(1)*SIGMA1)
A(5,5)=CEXP(+K(2)*LAMBDA(1))*K(2)/(MIU(2)*SIGMA1)
A(5,6)=CEXP(-K(2)*LAMBDA(1))*K(2)/(MIU(2)*SIGMA1)

```

```

DO 560 I=2,5
A(2*I-1,2*I-1)=CEXP(K(I-1)*LAMBDA(I-1))
A(2*I-1,2*I+1)=CEXP(-K(I-1)*LAMBDA(I-1))
A(2*I+1,2*I+1)=CEXP(K(I-1)*LAMBDA(I-1))
A(2*I+1,2*I-1)=CEXP(-K(I-1)*LAMBDA(I-1))
ALFA2=CEXP(-K(I-1)*LAMBDA(I-1))
ALFA3=K(I-1)/MIU(I-1)
A(2*I+1,2*I+1)=ALFA2*ALFA3
A(2*I+1,2*I+1)=(-1./MIU(I))*K(I)*CEXP(K(I)*LAMBDA(I-1))

```

```

560 A(2*I+1,2*I+2)=(-1./MIU(I))*K(I)*CEXP(-K(I)*LAMBDA(I-1))
A(2*S+2,2*S+1)=(-1./0.0)
702 B(1,1)=A(1,1)

```

```

B(1,2)=A(1,2)
B(1,2*S+3)=A(1,2*S+3)
B(2,3)=A(2,3)-(B(1,2)*A(2,1))/B(1,1)
B(2,4)=A(2,4)
B(2,2*S+3)=A(2,2*S+3)-(B(1,2*S+3)*A(2,1))/B(1,1)
B(3,4)=A(3,4)
B(3,4)=A(3,4)
B(2*S+3,2*S+3)=A(3,2*S+3)

```

```

DO 570 I=2,5
ALFA4=0.0
B(2*I-1,2*I)=A(2*I-1,2*I)-B(2*I-1,2*I-1)*ALFA4
B(2*I-1,2*I+1)=A(2*I-1,2*I+1)-B(2*I-1,2*I)*ALFA4
B(2*I+1,2*I+1)=A(2*I+1,2*I+1)-B(2*I+1,2*I)*ALFA4
B(2*I+1,2*I+2)=A(2*I+1,2*I+2)-B(2*I+1,2*I+1)*ALFA4
B(2*I+1,2*S+3)=A(2*I+1,2*S+3)-B(2*I+1,2*S+2)*ALFA4
ALFA4=((-1./MIU(I))*K(I)-B(2*I-1,2*I-1)*ALFA4)/B(2*I-1,2*I-1)

```

```

1 B(2*I+1,2*I+1)=A(2*I+1,2*I+1)-B(2*I+1,2*I)*ALFA4
B(2*I+1,2*I+2)=A(2*I+1,2*I+2)-B(2*I+1,2*I+1)*ALFA4
570 B(2*I+1,2*S+3)=A(2*I+1,2*S+3)-B(2*I+1,2*S+2)*ALFA4
1 B(2*I+1,2*S+3)=A(2*I+1,2*S+3)-B(2*I+1,2*S+2)*ALFA4
B(2*S+2,2*S+2)=A(2*S+2,2*S+2)-B(2*S+2,2*S+1)*ALFA4

```

Vertical text on the left margin, possibly a page number or reference, including '100', '101', '102'.

```

      BC(S+1)=B(2*S+2,2*S+3)/B(2+S+2,2*S+2)
      S21=S+1
      DO 580 J=2,S21
      I=3+J
      C(I)=B(2*I-1,2*S+3)-B(2*I-1,2*I)*PC(1)/B(2*I-1,2*I-1)
580 PC(I-1)=(B(2*I-2,2*S+3)-B(2*I-2,2*I)*PC(1)-B(2*I-2,2*I-1)*C(I))/
      B(2*I-2,2*I-2)
      C(I)=(B(1,2*S+3)-B(1,2)*PC(1))/B(1,1)
C
C DETERMINAREA COMPONENTEI BY A INDUCTIEI MAGNETICE IN INDIUS SI RECALC
C LAREA PERMIABILITATII MEDIU SI A GROSIMII STRATURIIOR INDIUSIUI
      BY1=CMPLX(-PI/(TAU+OMEGA*SIGM1),0.0)
      BY(1)=BY1*(C(2)+PC(2))
      BCC(1)=CABS(BY(1))
      BY1=CMPLX(-PI/(TAU+OMEGA*SIGMA),0.0)
      DO 590 I=2,S
      BY(I)=BY1*(C(I+1)*CEXP(K(I)+LAMBDA(I-1))+PC(I+1)*CEXP(-K(I)+
      1 LAMBDA(I-1)))
      BCC(I)=CABS(BY(I))
590 CONTINUE
      DO 1130 J=2,S
      DO 914 I3=2,N6
      IF(BCC(J)-B1D(I3))016,015,014
914 CONTINUE
      GO TO 910
915 S1=MIU1D(I3)
      GO TO 918
916 I4=I3-1
917 S1=0.0
      I5=2+I4
      DO 1120 I1=I4,I3
      P=1.0
      DO 1110 I2=I4,I3
      IF(I3-I1)86,1110,86
86 P=P*(BCC(J)-B1D(I2))/(B1D(I1)-B1D(I2))
1110 CONTINUE
1120 S1=S1+P*MIU1D(I1)
918 MIUC(J)=S1
      GO TO 1130
919 IF(BCC(J)-B1D(N)) 020,021,028
920 I4=N-2
      GO TO 917
921 S1=MIU1D(N)
      GO TO 918
928 S1=MIU1D(N)*EXP(B1D(N)-BCC(J))+MIU0
      GO TO 918
      GEH11      11706/S5  23.59.25
1130 CONTINUE
      I=2
      IF(CABS(MIUC(I)-MIUC(I))/MIUC(I)-EPSI1)640,640,650
640 MIUC(I)=MIUC(I)
      MIUC(I)=0
      IF(I,EQ,S11) GO TO 670
      I=I+1
      GO TO 630
650 MIUC(I)=MIUC(I)
      MIUC(I)=0
      IF(I,EQ,S) GO TO 660
      I=I+1
      GO TO 650
660 IF(J1,FO,J1M) GO TO 1100
      IF(MNNC,EQ,2) GO TO 703
      IF(MIUC(2),LT,0.) MIUC(2)=0.0003
      YK=16.72/SQRT(60.)*SQRT(PSI*RO/(Z*(N1-N2)*MIUC(2)))
      TR(YK-YK1D) 8888,8888,8889
8889 YK=YK1D
      MNNC=2
      DO 701 I=2,S11
      LAMBDA(I)=YK*ALOG(S11/(S11-*(1.-EXP(-1.))))+LAMBDA(1)
701 CONTINUE
703 J1=J1+1
      DO 556 I=2,S
      CA=CMPLX((PI/TAU)**2,.OMEGA*SIGMA*MIUC(I))
556 K(I)=CSQRT(CA)
      K(A)=K0
      MIUC(6)=MIU0
      CAA=CMPLX(0.0,-1./(OMEGA*SIGM1*MIUC(1)))
      A(2,3)=CAA*K(1)
      A(2,4)=-A(2,3)
      A(3,3)=CMPLX(-PI/(TAU*SIGM1+OMEGA),0.0)
      A(3,4)=A(3,3)
      A(3,2*S+3)=RDEITE

```



```

FLUXTC=FLUXP+FLUXD
FLUXTC=CARS(FLUXTC)
FLUXTC=SQRT(FLUXTC**2+(BDELTA*V*LA*TAU/2.)***2)
I3=I3+N8
IF(FLUXTC-FLUX1D(I3))516,515,514
CONTINUE
GO TO 519
515 S1=RM1D(I3)
GO TO 518
516 I2=I3-1
517 S1=0.0
I2=I2+I4
DO 2120 I1=I2, I3
RH=1
DO 2110 I2=I4, I3
YB=(I2-I1)/196,2110,196
2110 P=PF(FLUXTC-FLUX1D(I2))/(FLUX1D(I1)-FLUX1D(I2))
CONTINUE
2120 S1=S1+P*RM1D(I1)
GO TO 513
519 IF(FLUXTC-FLUX1D(N)) 715,721,723
715 I2=N-2
GO TO 517
721 S1=RM1D(N)
GO TO 518
518 RM1=S1
GO TO 727
728 S1=(FLUXTC*(RM1D(N)-RM1D(N-1))+RM1D(N-1)*FLUX1D(N)-RM1D(N)*FLUX1D(N-1))/(FLUX1D(N)-FLUX1D(N-1))
GO TO 518
727 RM2=RM1D0+RM1
I0=FLUXP*(RM1+RM2+RM1*RM2/RMD)+FRC*(1.+RM1/RMD)
F=I0/ABS(I0)
F=SQRT(F**2+(RM1*BDELTA*V*LA*TAU/2.)***2)
RM2=RM1+RMD0+RM1
F=SQRT(F**2+(R102*BDELTA*V*LA*TAU/2.)***2)
IE=F/W
IV(K50)=IE
CONTINUE
DO 314 K11=1,4
YB=IV(K11)
K50=K50+1
DO 314 I3=2,K50
I1=IV(I3)S16,315,314
CONTINUE
GO TO 319
315 S1=IV(I3)
GO TO 322
316 I2=I3-1
317 S1=0.0
I2=I2+I4
DO 4020 I1=I2, I3
RH=1
DO 4010 I2=I4, I3
YB=(I2-I1)/80,4010,80
4010 P=PF(IV(I3)-IV(I2))/(IV(I1)-IV(I2))
4020 S1=S1+P*IV(I1)
519 IF(I0-IV(K50M))820,821,828
320 I2=K50+1
GO TO 317
321 S1=IV(K50M)
GO TO 322
328 I2=K50+1
GO TO 317
322 IF(S1.LT.0.0) GO TO 1007
S1=S1+P*IV(K50+1)/1000
S1=S1+P*IV(K50+2)/1000
S1=S1+P*IV(K50+3)/1000
IF(K50+3.LT.1.0) GO TO 44444
IF(K50+3.LT.1.0) GO TO 11
99 IF(I0-IV(K50+100)) NO,N1,V,Z,M,YK,GNEF,RDNF1D(K70),ID,M
GO TO 44445
44444 X=PI/10
YB=S1+PI*(D+D.*DELTA0+GNEF)+GNEF*3700+7800*X*(D+D.*DELTA0+GNEF)
YB=S1+PI*(YK)
YB=S1+PI*(35)+7800.*PI*V*LA*H*(D-H)
S9=S1/YB

```

CEAHT1 01/06/05 20.07.89











NC	W/S	V	Z	ALUN	GND	GND	GNEF	OHM	ROVEF	IE	N	M	MASA	VAR	CUP	SP	P1	P2	DPIN	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
30	16.7	30	8	10	013	100E-02	240E-06	2.00	50	350E+02	143E+01	5.3	4.7	1.5	1.6	5.3	4.7	1.5	1.6	
37	16.7	30	8	30	013	100E-02	240E-06	2.00	78	350E+02	221E+01	8.1	6.2	3.1	3.1	8.1	6.2	3.1	3.1	
38	16.7	30	8	40	013	100E-02	240E-06	2.00	117	350E+02	335E+01	12.3	7.4	4.9	4.9	12.3	7.4	4.9	4.9	
39	16.7	30	8	50	013	100E-02	240E-06	2.00	138	350E+02	424E+01	14.6	7.0	7.0	7.0	14.6	7.0	7.0	7.0	
40	16.7	30	8	60	013	100E-02	240E-06	2.00	161	350E+02	461E+01	15.6	5.1	9.3	9.3	15.6	5.1	9.3	9.3	
42	16.7	30	8	70	013	100E-02	240E-06	2.00	167	350E+02	461E+01	16.2	5.1	11.8	11.8	16.2	5.1	11.8	11.8	
43	16.7	30	8	80	013	100E-02	240E-06	2.00	164	350E+02	496E+01	18.2	5.0	14.6	14.6	18.2	5.0	14.6	14.6	
44	16.7	30	8	1.00	013	100E-02	240E-06	2.00	104	350E+02	556E+01	20.4	5.0	20.4	20.4	20.4	5.0	20.4	20.4	





```

** NC ** V ** 7 ** ALUN ** GIND ** GMEF ** OHM.M ** RONEF ** IF ** A ** IF ** N.M ** MASSA VAR. ** C.UPLY SP. ** P1 ** P2 ** DPIN **
** 0 ** 1 ** 2 ** 3 ** 4 ** 5 ** 6 ** 7 ** 8 ** 9 ** 10 ** 11 ** 12 ** 13 ** 14 **
** 76 ** 77 ** 78 ** 79 ** 80 **
** 16.7 ** 16.7 ** 16.7 ** 16.7 ** 16.7 **
** 30 ** 30 ** 30 ** 30 ** 30 **
** 8 ** 8 ** 8 ** 8 ** 8 **
** 50 ** 60 ** 70 ** 80 ** 1.00 **
** .02 ** .02 ** .02 ** .02 ** .02 **
** 100E-02 ** 100E-02 ** 100E-02 ** 100E-02 ** 100E-02 **
** .240E-07 ** .240E-07 ** .240E-07 ** .240E-07 ** .240E-07 **
** 2.00 ** 2.00 ** 2.00 ** 2.00 ** 2.00 **
** 69.7 ** 79.6 ** 84.4 ** 91.0 **
** .123E+02 ** .123E+02 ** .123E+02 ** .123E+02 **
** .540E+01 ** .599E+01 ** .688E+01 ** .741E+01 **
** 7.0 ** 7.7 ** 8.4 ** 8.9 **
** 3.5 ** 3.5 ** 2.8 ** 1.0 **
** 14 ** 14 ** 14 ** 14 **
** DPIN **
** KW **

```

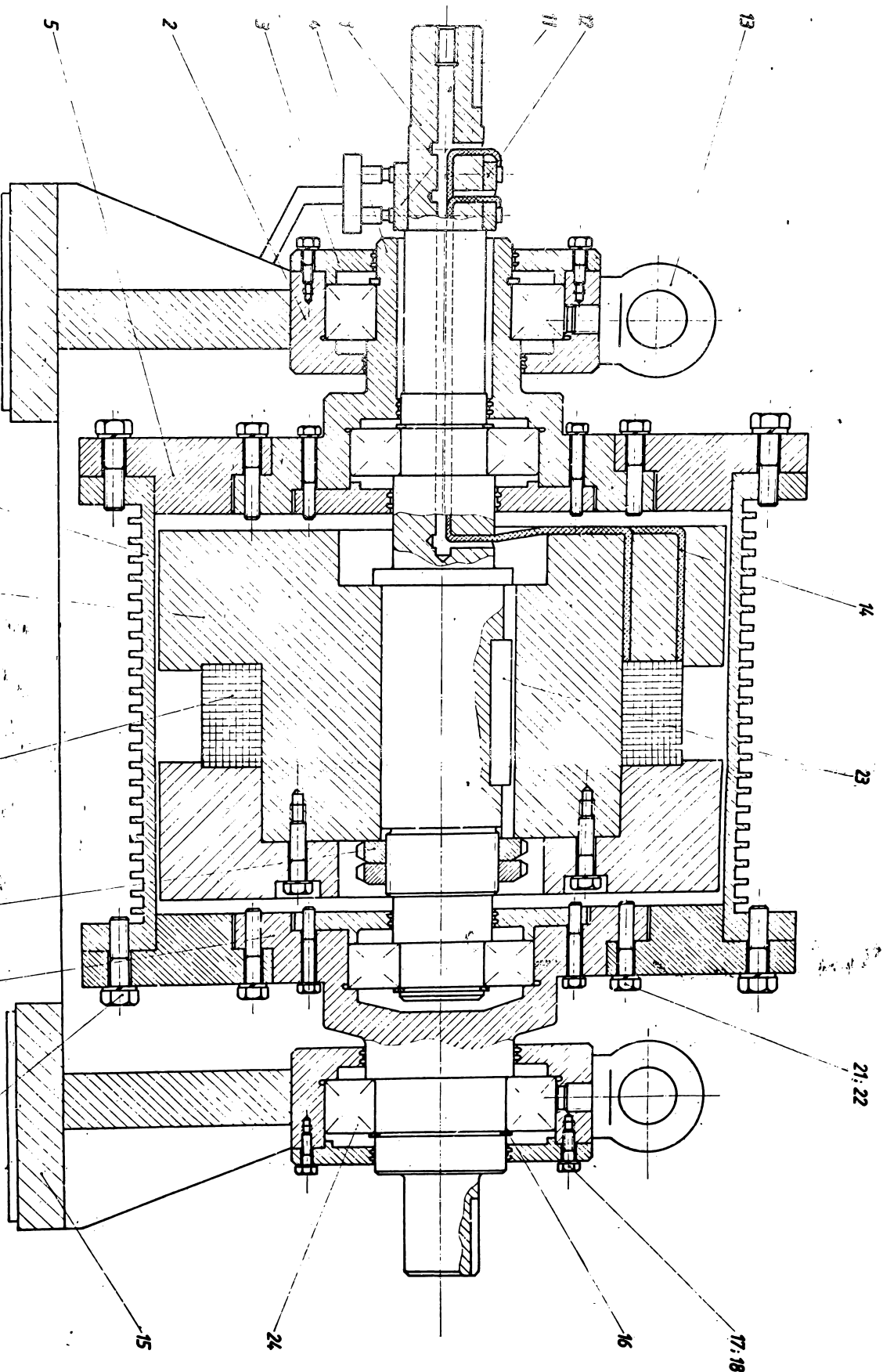


F4

PR	OG	RAM	UEAH11	ANEXA	ANR	AVIND	Z	V=0	37	LI	L=1	27	DE	0	015	SI	0	005	M
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35



Figura 6. SECTIUNE TRANSVERSALA PRIN CUPLAZUL  
CEAH - 60/1000



- 1 Arbore
- 2 Lagăr
- 3 Coperă
- 4 Cerească
- 5 Coperă stăbur
- 6 Șofon hidruls
- 7 Miez/Innuț/or
- 8 Bolnă
- 9 Coperă cerească
- 10 Pulă element
- 11 Inel culector
- 12 Perii culectoare
- 13 Inel de dezinare
- 14 Roți
- 15 Suport
- 16 Inel de elongare
- 17 Șurub M6x20
- 18 Șurub Gouern M16
- 19 Șurub M10x40
- 20 Șurub Gouern M10
- 21 Șurub M8x40
- 22 Șurub Gouern M8
- 23 Axă ponașă
- 24 Rulment

C.S.H. UZINA NR.2  
SECTIA AGLOMERATOR I

54  
a-54

ANEXA H

Nr.2230/1983

SE APROBA:

RECTOR I.P.T.V.TIMISOARA  
Prof.Dr.Ing.Coleta De Sabata

SE APROBA:

DIRECTOR GENERAL C.I.S.  
Ing.Penescu Mircea

P R O C E S V E R B A L

de recepție definitivă nr. 33

Incheiat astăzi 29.09.1983 cu ocazia predării de către I.P.T.V.Timișoara, I.S.Hunedoara, catedra generală, în calitate de executat, reprezentat prin Prof.Dr.Ing.Coleta De Sabata, Rector și Ec.Clari Eugen -contabil șef și primirii de către Combinatul Siderurgic Hunedoara în calitate de beneficiar, reprezentat prin Director General Ing. Penescu Mircea și Ec.Pățan Remus - contabil șef.

Am procedat la recepționarea lucrărilor prevăzute în actul de cercetare științifică nr.80/19.03.1983 referitor la tema "Cercetări privind îmbunătățirea parametrilor de funcționare a cuplajelor și frinelor electromagnetice cu alunecare".

Se stabilește de ambele părți că lucrarea de mai sus a fost executată la termenul prevăzut, în bune condiții, s-au realizat indicatorii de eficiență prevăzuți în contract, iar în referatul de încheiere a lucrării s-au dat indicații concrete pentru partea ce urmează să se aplice în producție.

Lucrarea corespunde clauzelor prevăzute în contract și anul 1983 ca atare se declară recepționată.

Lucrarea executată este în sumă de 25.000 lei care se plătește de beneficiari din contul nr.40.15.10.5 deschis la B.N.R.S.R. filiala Hunedoara în baza facturii emise de I.S.Hunedoara în contul nr.04.51.201.26 deschis la B.N.R.S.R. filiala Hunedoara.

La prezentul proces verbal se atașază comunicarea de apreciere cantitativă (valorică) și calitativă a eficienței anuale a aplicării contractului.

DIN PARTEA EXECUTANTULUI  
SEF CATEDRA  
Prof.Dr.Ing.Saimac Anton

DIN PARTEA BENEFICIARULUI  
DIRECTOR UZINA NR.2  
Ing.Bobirnea Dumitru

RESPONSABIL TEMA  
SEF L.Ing.Stănilă Victor

RESPONSABIL CONTRACT  
Ing. Bucur Dumitru.

APRECIEREA CANTITATIVA (VALORICA) SI CANTITATIVA

a eficienței aplicării în practică a lucrărilor executate în cadrul contractului de cercetare științifică nr.80/19.03.1953.

" Cercetări privind îmbunătățirea parametrilor de funcționare a cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare".

Lucrarea de cercetare se înscrie pe linia directivelor politicii și statului nostru privind reducerea consumurilor specifice de energie electrică în toate domeniile de activitate ale economiei noastre.

În cadrul lucrării de cercetare este prezentată o metodă originală de calcul a cuplajelor electromagnetice cu alunecare, în baza căreia a fost proiectat și realizat practic un cuplaj electromagnetic cu alunecare de tip homopolar.

Cuplajul astfel realizat poate fi echipat cu indus realizat în două variante:

a) feromagnetic masiv și în acest caz cuplajul poate fi utilizat la acționări cu turație reglabilă;

b) feromagnetic masiv prevăzut cu un strat de material neferomagnetic înspre întrefier situație în care cuplajul poate funcționa cu alunecări mici.

Experimentările efectuate asupra celor două variante de cuplaj au confirmat corectitudinea calculului teoretic.

Pentru pornirea grupului motor-generator de la macarana portal aferentă secției Aglomerator 1 cuplajul este echipat cu indus realizat în varianta "b".

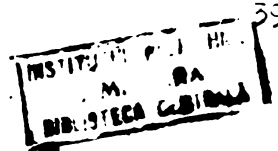
Dotarea acționării de la macarana portal de la Aglomerator 1 cu acest cuplaj electromagnetic cu alunecare, conduce la creșterea siguranței în funcționare a acestei acționări și la reducerea pierderilor de energie electrică prin eliminarea timpilor de funcționare în gol a acționării. Economii de energie electrică care se obțin se ridică la 1000 lei/ an cece reprezintă un procent de 5% din consumul de energie electrică a acestei acționări, deasemenea se obțin economii la reparații și uzură în valoare de 16.000 lei/an.

DIRECTOR UZINA NR.2  
Ing.Bobârnea Dumitru

RESPONSABIL CONTRACT  
Ing.Bucur Dumitru.

## C u p r i n s

	pag.
Introducere	1
Cap. I. <u>Construcția, funcționarea și metode de calcul uzuale ale cuplajelor și frânelor electromagne- tice cu alunecare.</u>	5
1.1. Generalități	5
1.2. Principiul de funcționare	6
1.3. Clasificare	8
1.4. Metode de calcul tratate în literatura de specialitate	14
1.5. Obiectul tezei	20
Cap. II. <u>Calculul cuplajelor și frânelor electromagne- tice cu alunecare, cu inductor masiv feromagnetic, prin metoda straturilor</u>	25
2.1. Ipoteze de calcul	25
2.2. Ecuațiile câmpului electromagnetic	27
2.3. Condiții la limită	30
2.4. Calculul forței active	31
2.5. Calculul puterii active	32
2.6. Pierderile de putere în inductor	33
2.7. Bilanțul de putere în cuplaj	35
2.8. Randamentul cuplajului	36
2.9. Reacția inductorului	36
2.10. Calculul excitației totale	37
Cap. III. <u>Studiul posibilităților de impunătoare a parametrilor de funcționare a cuplajelor și frânelor electromagnetice cu alunecare de tip homopolar cu inductor masiv feromagnetic, aplicând metoda straturilor</u>	39
3.1. Particularități privind aplicarea metodei straturilor	39
3.1.1. Determinarea grosimii straturilor de divi- zare a inductorului masiv	39



	pag.
3.1.2. Determinarea expresiei pentru inducția de calcul	41
3.1.3. Calculul constantelor complexe $\underline{C}_i$ și $\underline{P}_{C_i}$	44
3.1.4. Determinarea lungimii active $L$ a indușului din considerente electromagnetice	52
3.1.5. Dimensionarea înfășurării de excitație	53
3.2. Optimizarea cuplajului electromagnetic cu alunecare cu indus masiv feromagnetic	58
3.2.1. Generalități	58
3.2.2. metoda grafo-numerică	60
3.2.3. metoda numerică	64
3.3. Utilizarea metodei straturilor la studiul influenței unui strat de metal nereromagnetic aplicat pe suprafața indușului înspre întrefier asupra caracteristicilor de funcționare a cuplajelor și frînelor electromagnetice cu alunecare	66
3.3.1. Scăpul urmărit	66
3.3.2. Particularități create de luarea în considerare a stratului de metal nereromagnetic	67
3.3.3. Optimizarea unor astfel de cuplaje și determinarea caracteristicilor de funcționare	69
Cap. IV. <u>Aplicarea metodei straturilor la calculul cuplajului electromagnetic cu alunecare de tip homopolar CEAH-60/1000</u>	73
4.1. Necesitatea realizării cuplajului	73
4.2. Determinarea dimensiunilor geometrice preliminare pentru cuplajul electromagnetic cu alunecare de tip homopolar	74
4.2.1. Datele de funcționare caracteristice	74
4.2.2. Considerente de bază pentru alegerea principalelor dimensiuni geometrice	75
4.2.3. Schemă logică și program de calcul pentru calculul preliminar al cuplajului	77
4.2.4. Dimensiuni preliminare calculate pentru cuplajul CEAH-60/1000	83

	pag.
4.3. Optimizarea cuplajului CEAH-60/1000	83
4.3.1. Schemă logică de calcul pentru optimizarea și determinarea caracteristicilor de funcționare.	83
4.3.2. Determinarea valorilor optime pentru parametrii $Z, V, L_1/L$ și $G_{ind}$	94
4.3.3. Descrierea cuplajului CEAH-60/1000 rezultat în urma calculului de proiectare optimal	105
4.3.4. Calculul caracteristicilor cuplajului CEAH-60/1000	106
4.4. Studiul influenței unui strat de metal nerezoromagnetic depus pe indus înspre întrefier asupra caracteristicilor de funcționare ale cuplajului CEAH-60/1000	111
4.4.1. Etapele de efectuare a studiului	111
4.4.2. Schemă logică și program de calcul CEAH11	113
4.4.3. Studiul influenței grosimii $G_{nef}$ și a rezistivității $\rho_{nef}$ a stratului nerezoromagnetic asupra caracteristicilor de funcționare a cuplajului CEAH-Cu/1000	113
4.4.4. Optimizarea cuplajului CEAH-Cu/1000	120
4.4.5. Caracteristicile mecanice și de putere pentru cuplajul CEAH-Cu/1000 optimizat	124
<u>Cap.V. Rezultatele experimentale și aprecieri asupra metodei de calcul adoptate</u>	128
5.1. Instalația de încercare	128
5.2. Rezultatele încercărilor de laborator	130
5.2.1. Încercarea cuplajului CEAH-60/1000	130
5.2.2. Rezultatele încercării cuplajelor CEAH-Cu/1000	132
5.3. Comparatie între cuplajele realizate în cadrul prezentei lucrări și cuplajele realizate de firme constructoare de cuplaje din URSS și RG	135



Cap.VI. Concluzii

## Bibliografie

Anexe:

- A - Dezvoltarea în serie Fourier a inducției magnetice din întrefierul cuplajului electromagnetic cu alunecare a-1
- B - Curbele  $B=f(H)$  și  $\mu=f(B)$  ridicate experimental pentru oțel OT 40 a-11
- C - Curbele  $R_{m1}=f(\Phi)$  calculate pentru  $V=ct$  a-12
- D - Program CEAH00. Calculul dimensiunilor geometrice preliminare pentru cuplajul electromagnetic cu alunecare de tip homopolar cu indus masiv feromagnetic a-13
- E - Program CEAH01. Optimizarea și calculul caracteristicilor de funcționare a cuplajelor electromagnetice cu alunecare de tip homopolar cu indus masiv feromagnetic a-20
- E<sub>1</sub> - Determinarea grosimii optime a indusului (raport  $L_1/L=1,03$ ) a-23
- E<sub>2</sub> - Determinarea caracteristicilor de funcționare pentru cuplajul CEAH-60/1000 optimizat a-32
- E<sub>3</sub> - Determinarea caracteristicilor de funcționare pentru cuplajul CEAH-60/1000 pentru diferite turații ale motorului de acționare a-33
- E<sub>4</sub> - Determinarea caracteristicilor de funcționare pentru cuplajul CEAH-60/1000 în regim de frână a-34
- F - Program CEAH11. Optimizarea și calculul caracteristicilor de funcționare ale cuplajelor electromagnetice cu alunecare de tip homopolar prin metoda straturilor, având aplicat pe indus înspre întrefier un strat de metal neferomagnetic a-35

F <sub>1</sub> -	Calculul caracteristicilor de funcționare ale cupiajului pentru cazul în care stratul neferomagnetic este din cupru cu grosimea $\delta_{nef}$ variabilă	a-44
F <sub>2</sub> -	Calculul caracteristicilor de funcționare ale cupiajului pentru cazul în care grosimea indusului feromagnetic masiv $\delta_{ind.fe}$ este variabilă	a-46
F <sub>3</sub> -	Calculul caracteristicilor de funcționare ale cupiajului pentru cazul în care rezistivitatea metalului neferomagnetic $\rho_{nef}$ are valori diferite	a-48
F <sub>4</sub> -	Caracteristicile de funcționare ale cuplajului CEAH-Cu/1000 realizat practic	a-51
Anexa G -	Secțiunea transversală prin cupiajul CEAH-60/1000	a-53
Anexa H -	Proces verbal de recepție definitivă a lucrării de cercetare științifică nr.80/19.03.1983	a-54
Anexa I -	Aprecierea cantitativă (valorică) și calitativă a eficienței aplicării în practică a lucrărilor executate în cadrul lucrării de cercetare științifică nr.80/19.03.1983	a-55