

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

ING. RUSU I. NICOLAE

CONTRIBUTII LA OPTIMIZAREA FUNCTIONARII LAMINOARELOR
REVERSIBILE TIP BLUMING

- T E Z A D E D O C T O R A T -

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

CONDUCATOR STIINTIFIC,
PROF. DR. ING. EUGEN SERACIN

- T I M I S O A R A -

1981

INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA
BIBLIOTECA
CENTRALĂ
Volumul nr. 420.201
Dulap 320 III F

INTRODUCERE

Stiința și tehnica cunosc în prezent o evoluție fără precedent, determinată atât de necesitățile implicate de dezvoltarea mijloacelor de producție, cât și de acumularea unor descoperiri și rezultate remarcabile, care măresc considerabil posibilitățile de investigație în absolut toate domeniile.

Introducerea tehnicii noi în toate ramurile industriale este astăzi caracterizată de tendința principală a utilizării cât mai raționale și la întreaga capacitate a tuturor utilajelor, astfel încât să se asigure o productivitate maximă a acestora și un consum minim de energie și materiale.

Dezvoltarea mecanizării și automatizării proceselor industriale au impus un rol tot mai însemnat sistemelor de acționare electrică, care practic se regăsesc în toate ramurile industriale în număr tot mai mare și cu puteri din ce în ce mai ridicate, motoarele electrice de acționare devenind principalii consumatori de energie.

Industria siderurgică, căreia i se prevede o dezvoltare puternică în următorii ani, (până în 1990, producția de oțel a României va ajunge la cel puțin 1000 kg pe locuitor), este un mare consumator de energie. La rândul lor, laminoarele, care de obicei termină ciclul de producție al unui combinat siderurgic, au o pondere însemnată în consumul total de energie al acestuia.

Productivitatea deosebit de mare impusă unui laminor degrositor (care alimentează cu blumuri sau sleburi mai multe laminoare de produse finite), complexitatea procesului de laminare, energiile importante care se vehiculează între rețeaua electrică de alimentare și motoarele de acționare, au făcut ca nivelul de automatizare realizat aici să fie unul dintre cele mai înalte din industrie.

Avînd în vedere actuala penurie a resurselor energetice pe plan mondial, care nici într-un caz nu va fi soluționată în viitorul apropiat, o atenție tot mai mare se acordă reducerii consumurilor energetice prin optimizarea proceselor de producție, problemă care la noi reprezintă o sarcină permanentă pentru cercetători, rezultată din Documentele Congresului al XII - lea al Partidului Comunist Român.

Prezenta teză de doctorat se înscrie pe linia acestor preocupări, scopul principal al cercetărilor teoretice și experimentale efectuate de autor fiind determinarea unui regim optim de turație (tahogramă) pentru motoarele principale ale unui laminor reversibil, care să conducă la pierderi minime de energie, fără a diminua productivitatea instalației.

Teza de doctorat cuprinde cinci capitole în care se prezintă conținutul cu 71 desene și grafice explicative, o introducere, o încheiere cu concluzii generale, două anexe și o bibliografie cu 52 poziții, din care 4 poziții reprezintă lucrări personale ale autorului sau în colaborare, totalizînd 192 pagini. Întregul ei conținut s-a cristalizat în urma unei activități de cercetare de peste șapte ani depusă de autor în domeniul acționării electrice și automatizării laminoarelor reversibile tip bluming, în cadrul mai multor contracte încheiate cu Centrala Industrială Siderurgică Hunedoara și a altor lucrări susținute la diferite sesiuni de comunicări științifice.

Capitolul 1 al tezei cuprinde considerații generale în legătură cu tema abordată, definind totodată variabilele procesului de laminare și criteriul de optim. Sînt prezentate realizările mai importante în acest domeniu, existente pe plan mondial. Se insistă în special asupra cercetărilor teoretice și experimentale efectuate de W. Nürnberg, M. Proske, J. Heidepriem și G. Ludwig, ca fiind unele dintre cele mai avansate și care au constituit puncte de plecare pentru cercetările efectuate de autor în prezenta lucrare.

Capitolul 2 tratează influența restricțiilor și limitărilor care pot apărea în procesul de laminare asupra performanțelor laminării optime. Contribuțiile autorului constau în

stabilirea unui model matematic care permite determinarea pierderilor de energie în motoarele de acționare și a timpului de laminare, pentru toate situațiile când apar aceste restricții.

Capitolul 3 este consacrat întocmirii unui algoritm complex, cu totul original, cu ajutorul căruia este posibil a-tît studiul, cu ajutorul unui calculator numeric, a performanțelor laminării optimizate, cît și conducerea laminării de către un calculator de proces, ambele ținînd cont de restricțiile menționate. La baza algoritmului stă modelul matematic dedus în Capitolul 2. Eficiența algoritmului este verificată prin analizarea mai multor cazuri reale.

Capitolul 4 cuprinde partea experimentală a acestei lucrări. Încercările au fost efectuate pe baza Contractului de cercetare Nr. 233/1980, încheiat între Institutul de Subingineri Hunedoara și Centrala Industrială Siderurgică Hunedoara. S-a urmărit conducerea procesului de laminare după o tahogramă optimă, în conformitate cu algoritmul prezentat în Capitolul 3, în care scop se prezintă modificările care s-au efectuat în instalația de automatizare complexă a laminorului bluming 1300, precum și programele concepute pentru calculatorul de proces cu care este dotat acesta. Rezultatele încercărilor experimentale confirmă corectitudinea studiilor din Capitolele 2 și 3.

Capitolul 5 prezintă, pe baza unei concepții originale, structura unei instalații de optimizare on - line după metoda prezentată în Capitolele 2, 3, grefată pe dotarea actuală a laminorului bluming 1300 din Centrala Industrială Siderurgică Hunedoara. Această instalație face parte din categoria sistemelor automate adaptive, permițînd, pe baza măsurărilor efectuate în primele 2 - 3 treceri de laminare, conducerea optimală a restului de treceri, ținînd cont și de eventualele limitări ce pot apărea (și pe care le predetermină).

În încheiere sînt prezentate concluziile finale, cu specificarea contribuțiilor originale aduse de autor în rezolvarea problemei.

Lucrarea de față, prin chestiunile teoretice și ex-

perimentale cu caracter original pe care le conține, consider că se face utilă tuturor celor care se ocupă cu optimizarea laminoarelor reversibile, fiind prima realizare de acest gen din țară.

Majoritatea cercetărilor sînt aplicate sau se află în curs de aplicare la Centrala Industrială Siderurgică Hunedoara, în conformitate cu /45/.

Autorul își exprimă întreaga sa recunoștință conducătorului științific prof. dr. ing. Eugen Seracin, adresîndu-i vii mulțumiri, atît pentru îndrumările atente primite pe tot parcursul elaborării lucrării, cît și pentru înaltul nivel științific pe care a reușit să-l insufle.

Autorul își îndeplinește de asemenea, o plăcută datorie, mulțumind pe această cale, în modul cel mai sincer, tuturor colegilor din Catedra Electromecanică a Institutului de Subingineri Hunedoara și colectivului laminorului bluming 1300 din Uzina nr. 4 a Centralei Industriale Siderurgice Hunedoara, care l-au sprijinit la realizarea și experimentarea tezei de doctorat.

CAPITOLUL 1

STADIUL ACTUAL PRIVIND OPTIMIZAREA FUNCTIONARII

LAMINARELOR REVERSIBILE

1.1. Generalități

Desfășurarea diferitelor operații care compun procesul de laminare prezintă un mare număr de grade de libertate, cum ar fi: numărul de treceri, repartitia reducerilor pe treceri, variația vitezei de rotație a cilindrilor și rozelor de lucru în timpul și între treceri, etc.

Procesul de laminare este deci definit prin alegerea unui anumit număr de legi de variație în funcție de timp a mărimilor reglate; acestei alegeri îi corespund solicitările mecanice, electrice, termice ale laminorului și motoarelor sale (variabile în timp), la fel ca și durata totală a laminării, care definește productivitatea instalației. Toate cazurile posibile nu sînt echivalente și este normal să se caute un optim.

Apare însă problema definirii criteriului de optim, adică a unei reguli care să spună dacă o laminare este preferabilă față de alta. Logie ar fi să se raporteze influența condițiilor de funcționare asupra profitului operației, urmărind cum intervine mărimea producției orare asupra cheltuielilor de exploatare și amortismentului, adică nivelul solicitărilor la care este supus echipamentul, asupra duratei sale de viață și a cheltuielilor de întreținere.

Această linie nu este însă urmată în practică, deoarece corelațiile menționate nu sînt cunoscute cu precizie și nu pot fi modelate matematic.

Astfel, unii cercetători, /3/, /4/, consideră că laminarea optimă este aceea care minimizează durata laminării, respectînd totodată anumite limite impuse, pe de o par-

te mărimilor ce caracterizează calitatea produsului (toleranțe dimensionale, temperatura la sfârșitul laminării, etc.) și pe de altă parte, mărimilor de funcționare (forța și cuplul de laminare, valoarea instantanee a curentului indusului, încălzirea motorului, etc.).

Alți cercetători, /1/, /5/, /6/, /7/, /8/, /9/, /10/, etc. consideră, în general, laminarea optimă aceea care conduce la pierderi minime de energie, cu respectarea timpului de laminare dat și a celorlalte limitări menționate în alineatul precedent. Ei se bazează pe următorul raționament: cum valoarea instantanee a curentului unui motor principal poate depăși cu mult curentul nominal al acestuia, încălzirea indusului, calculată pentru timpul de laminare T (timpul în care produsul este între cilindri) este în general superioară încălzirii nominale. Timpul de pauză T_p trebuie să fie deci egal cu o valoare T_p^* pentru care încălzirea, calculată pe timpul $T + T_p^*$ să fie egală cu încălzirea nominală.

Dacă T_p^* este suficient pentru ca operațiile auxiliare (poziționarea cilindrilor, răsturnarea, schimbarea calibrului, etc.) să aibă loc, timpul minim dintre angajarea materialului între cilindri și angajarea în sens invers este $T + T_p^*$ și depinde de pierderile prin efect Joule în indusul motorului în timpul T . Aceste pierderi depind de T și de modul de variație a vitezei de rotație Ω a motoarelor în timpul T . Se poate astfel defini o variație optimă a turației în timpul T , care să conducă la pierderi minime și deci la un timp de pauză T_p^* minim.

Dacă timpul necesar operațiilor auxiliare este $T_{p.aux.} > T_p^*$, există posibilitatea de a adopta un timp de laminare mai mic decât T , dar cresc pierderile.

Aplicîndu-se acest raționament tuturor trecerilor, se obține laminarea cu pierderi minime, iar pe baza scurtării timpilor de pauză, se poate reduce și durata totală a laminării.

În cazul slebingurilor, etapa următoare constă în optimizarea numărului de treceri (și a repartiției reducerii-

lor), care determină, în mare măsură, cuplul și curentul motorului la fiecare trecere. Reducând numărul de treceri, crește cuplul de laminare și deci pierderile prin efect Joule, mărindu-se timpul minimal $T + T_p^*$. Nu este deci sigur că o micșorare a numărului de treceri, scurtează durata totală a laminării.

La laminoarele de tip bluming, optimizarea numărului de treceri și a reducerilor pe trecere este mult mai dificilă, datorită unor considerente tehnologice, cum ar fi: număr total de treceri mai mic, necesitatea răsturnării frecvente a laminatului, limitarea reducerilor datorită unor considerente dimensionale (laminarea se face în calibre). De altfel, încercările efectuate pînă acum /3/, /4/, nu au dat rezultate concludente.

O problemă comună blumingurilor și slebingurilor o reprezintă optimizarea tahogramei. Curba care reprezintă variația vitezei Ω a cilindrilor în funcție de timp (fig. 1.1), trebuie să delimiteze o arie S egală cu lungimea laminatului după trecere, la începutul fazei viteza luînd valoarea Ω_1 , iar la ieșirea produsului, Ω_2 .

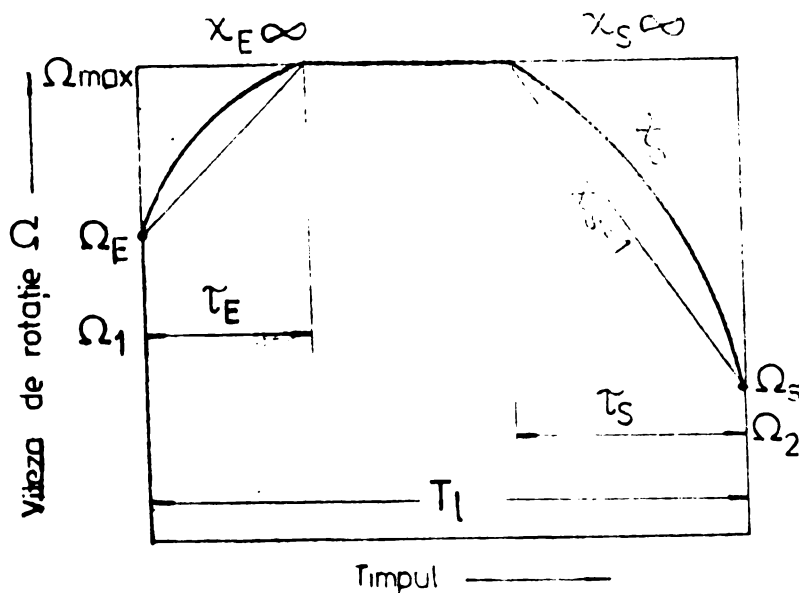


FIG 1.1. Curba de variație a vitezei de rotație a cilindrilor, în funcție de timp

Pentru a reduce pierderile, Ω_1 și Ω_2 ar trebui să fie cât mai mari /1/. Viteza Ω_1 este însă limitată de posibilitatea prinderii laminatului între cilindri, căci forțele de frecare laminat - cilindru sînt funcție de viteza lor relativă. Viteza de evacuare Ω_2 trebuie, de asemenea, corelată cu timpul necesar opririi lingoului pe role, accelerării în sens invers și re poziționării cilindrilor, în așa fel încît să nu existe timpi morți.

Viteza maximă este limitată de riscul de patinare și de posibilitatea apariției unor oscilații ale ansamblului laminat - cajă, chiar dacă motorul ar mai avea putere disponibilă pentru o viteză mai mare.

Există o infinitate de curbe delimitînd o arie egală cu lungimea laminatului după trecere și respectînd condițiile date. Fiecăreia îi corespunde, pentru un cuplu de laminare dat, o curbă de variație a curentului indusului, I , și deci pierderile date de relația

$$Q = \int_0^T R_a I^2 dt \quad (1.1)$$

unde R_a este rezistența indusului.

Pentru a găsi care curbă conduce la pierderi minime, s-au aplicat mai multe metode, apelîndu-se la o serie de simplificări. Se pare că o metodă eficace o constituie reprezentarea curbei vitezei printr-o formă matematică unică (fig.1.1), în care figurează un anumit număr de parametri (de exemplu x), permițînd "deformarea" acestei curbe în vederea obținerii tuturor cazurilor practic posibile. Problema se reduce deci la determinarea, de către un calculator, a combinației de parametri, care să conducă la pierderi minime. Pe baza rezultatelor obținute pînă în prezent, se poate afirma că forma parabolică poate fi considerată ca optimă în cazul general /1/.

În continuare, se prezintă cîteva studii mai interesante în domeniu. Cu excepția cazurilor cînd se menționează altfel, toate mărimile fizice sînt măsurate în unități aparținînd S.I. În general, s-au păstrat notațiile originale.

1.2. Cercetări românești asupra optimizării tahogramei laminoarelor reversibile

Toate laminoarele de tip bluming - slebing existente în țară sînt dotate cu instalații de automatizare convențională. Unele (cum sînt cele din cadrul Combinatului Siderurgic Hunedoara și a Combinatului Siderurgic Galați), utilizează și calculatoare de proces, care au rolul de a realiza comanda-program, pe baza unor date înscrise anterior în memorie și a poziției lingoului în flux, a diferitelor utilaje și mecanisme ce concură la realizarea laminării și de a culege informații din proces. Nici unul nu efectuează însă calcule de optimizare și nu realizează comanda optimală a procesului de laminare. În general, tahograma are formă trapezoidală pe trecere, indiferent dacă conducerea se realizează manual sau automat. Acest regim solicită extremal motoarele acționării principale. În timpul accelerărilor se absorb puteri importante, care se restituie parțial în timpul decelerărilor, cînd motoarele se găsesc în regim recuperativ. Aceste alternanțe de absorbție și cedare de putere se materializează în curenți rotorici de intensitate variabilă, ca mărime și sens, ceea ce conduce la pierderi suplimentare de energie și deci la o încălzire suplimentară a motoarelor și mutatoarelor. De asemenea, variațiile brusce de viteză (în colțurile trapezului) sporesc solicitările mecanice de tip dinamic, manifestîndu-se electric prin salturi ale curentului rotorici.

În lucrarea /11/ se abordează, pentru domeniul reglării turației prin modificarea tensiunii rotorice, problema găsirii acelei tahograme care să conducă la minimizarea pierderilor de energie și se propune o schemă de comandă care să realizeze acest deziderat. Matematic, optimizarea consumului este o problemă de calcul variațional

$$Q = \int_0^T R_a I^2 dt = \int_0^T R_a \left(\frac{M_a}{c \cdot \phi} + \frac{J}{c \cdot \phi} \cdot \epsilon \right)^2 dt = \text{minim} \quad (1.2)$$

$$L = \int_0^T \frac{\bar{M} \cdot D \cdot n}{60} dt = \text{constant} \quad (1.3)$$

unde M_s este cuplul static ; c - o constantă a mașinii ; ϕ - fluxul în intrefier ; J - momentul de inerție al maselor în rotație ; ε - accelerația unghiulară ; D - diametrul de lucru al cilindrilor , n - turația [rot./min.] , iar t - timpul.

Într-o primă fază a calculului, se consideră T constant. Se mai introduc suplimentar două restricții : curentul rotoric la pornire să corespundă unui cuplu motor egal cu cel mult dublul cuplului static din timpul laminării, iar la evacuare va atinge valoarea zero. Aceste restricții limitează suprasolicitarea, respectiv evită apariția curenților rotorici inverși. Ele se scriu:

$$M_{m.\text{prind.}} = 2 M_s = c \cdot \phi \cdot I_{\text{prind.}} \quad (1.4)$$

$$\varepsilon_{\text{prind.}} = \frac{M_s}{J} \quad (1.5)$$

$$M_{m.\text{evac.}} = M_s + J \cdot \varepsilon_{\text{evac.}} = 0 \quad (1.6)$$

$$\varepsilon_{\text{evac.}} = - \frac{M_s}{J} \quad (1.7)$$

Aici M_m este cuplul motor.

$$\text{Notînd } M_s/c \cdot \phi = k_1 \text{ și } J/c \cdot \phi = k_2 \quad (1.8)$$

relația (1.2) se poate scrie

$$Q = \int_0^T R_a (k_1 + k_2 \varepsilon)^2 dt = \text{minim} \quad (1.9)$$

Rezolvarea matematică a acestui minim înseamnă rezolvarea unei ecuații diferențiale de tip Euler. În urma calculelor efectuate în /11/, se ajunge la:

- ecuația accelerației unghiulare optime

$$\varepsilon_{\text{opt.}} = \frac{M_s}{J} - \frac{2M_s}{J \cdot T} \cdot t \quad (1.10)$$

- ecuația curentului rotoric

$$I_{\text{opt.}} = \frac{2M_s}{c \cdot \phi} - \frac{2M_s}{c \cdot \phi \cdot T} \cdot t \quad (1.11)$$

- ecuația turației optime

$$n_{\text{opt.}} = n_1 + \frac{\pi}{5} \cdot \frac{M_s}{J} \cdot t - \frac{30}{\pi} \cdot \frac{M_s}{J \cdot T} \cdot t^2 \quad (1.12)$$

Ecuațiile (1.10) , (1.11), (1.12) conțin parametrul T care se determină din condiția (1.3), rezultînd, după integrare și cîteva calcule

$$T = \frac{-\frac{\pi}{5} \cdot \frac{J}{M_s} \cdot n_1 + \sqrt{\frac{\pi^2}{25} \cdot \frac{J^2}{M_s^2} \cdot n_1^2 - \frac{48 \cdot J \cdot L}{M_s \cdot D}}}{2} \quad (1.13)$$

Pentru conducerea regimului de turație după o tahogramă parabolică, se propune utilizarea unui calculator analogic pentru efectuarea continuă a calculelor. El urmează să determine curentul rotoric optim, care să constituie valoarea de referință pentru regulatorul de curent. Cuplarea calculatorului poate fi făcută on - line sau off - line. În al doilea caz, calculele se efectuează anticipat și rezultatele se memorează într-o memorie, care ulterior, în timpul laminării, va realiza comanda program. Schema de calcul analogic este redată în figura 1.2., aplicată pentru condiții fixe de prindere și evacuare (rel. 1.4, 1.5, 1.6, 1.7) și pentru cuplarea on - line.

Pentru evitarea depășirii turației admise de motoare se determină turația la vîrfurile parabolilor și se prevede în program o decizie de recalculare a timpului T pentru o nouă parabolă cu turația de vîrf egală cu cea maxim admisă. Regu-

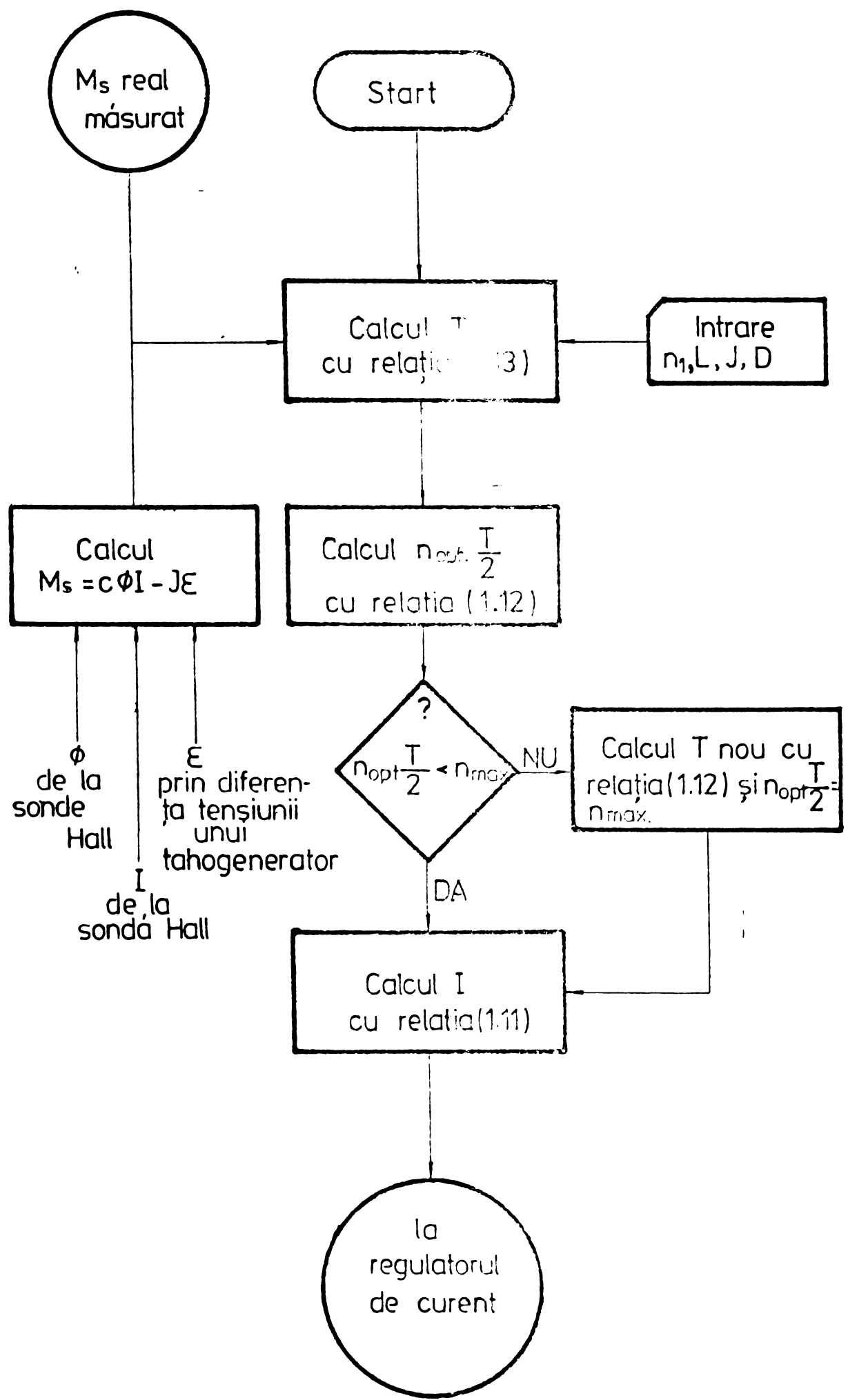


FIG.1.2.

latorul de curent va regla curentul rotoric optim prin comandă asupra tensiunii rotorice și/sau fluxului de excitație.

Valoarea momentană M_s real rezultă fie prin măsurare directă, fie prin calcul.

Studiul analizat mai sus este de o certă valoare, cu unele observații cum ar fi:

- nu tratează domeniul reglării prin flux, ecuația parabolei deduse nemaifiind valabilă în această zonă. De obicei, chiar de la primele treceri se trece peste turația de bază a motoarelor ;

- nu se tratează influența limitărilor reale care pot apărea în timpul laminării asupra timpului optim de laminare și a pierderilor de energie ;

- metoda propusă nu a fost verificată în practică, pentru confirmarea rezultatelor și concluzii .

1.3. Studiile lui W. Nürnberg

W. Nürnberg /5/, /9/, /17/ a fost cel care a pus bazele cercetărilor teoretice și practice în domeniul optimizării laminoarelor reversibile. El considera că, pentru o secțiune constantă a laminatului, cuplul de laminare M_w este independent de viteză (la o dublare a vitezei, M_w crește numai cu 7 %). De asemenea, se apreciază că momentul de inerție al lingoului se poate neglija față de cel al indusului, barelor de cuplare și cilindrilor (90 % este localizat în indusul motorului, 9 % - barele de cuplare , cilindru, iar 1 % - în lingou). Măsurînd direct trei mărimi : curentul I, accelerația dn/dt și fluxul magnetic ϕ , se poate determina indirect cuplul de laminare (dacă se neglijează cuplul de mers în gol)

$$M_w = c \cdot I \cdot \phi - 2 \pi \cdot \frac{dn}{dt} \cdot J \quad (1.14)$$

cu o precizie de $\pm 3\%$ și o întârziere de 20 - 30[ms].

Problema determinării tahogramei optime (din punct de vedere al pierderilor de energie) se reduce la o chestiune de calcul variațional, căutându-se minimumul funcționalei /5/:

$$\int_0^T \left(m + g \cdot \frac{dn}{dt} \right)^2 \cdot dt = \text{minim la } \phi = \text{ct.} \quad (1.15)$$

unde T este timpul de laminare ; $m = M_w/M_n$ valoarea raportată a momentului de laminare ; M_n - momentul nominal al motorului ; n - turația motorului ; $g = 2\pi J/M_n$ - inversul accelerației nominale raportate; se mai introduc notațiile : $i = I/I_n$ - valoarea raportată a curentului indusului ; I_n - curentul nominal al indusului ; I - valoarea absolută a curentului și

$$l = \frac{L}{\pi \cdot D_w} \quad (1.16)$$

lungimea relativă a laminatului, L fiind lungimea sa finală, iar D_w diametrul de lucru al cilindrilor.

Soluția funcționalei (1.15), în domeniul reglării turației prin modificarea tensiunii rotorice este :

$$\frac{d^2 n}{dt^2} = \text{const.} \quad (1.17)$$

De aici, rezultă pentru valoarea momentană raportată a curentului indusului și turației, relațiile :

$$i(t) = i_0 - i_1 \cdot t \quad (1.18)$$

$$n(t) = n_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 \quad (1.19)$$

unde

$$x = \frac{t}{\frac{T}{2}}$$

Constantele n_0 , a_1 , a_2 se determină cu regula lui Simpson în funcție de turația inițială n_1 , turația finală n_2

și timpul de laminare T , rezultând relația (1.20), care este ecuația generală pentru parabola turației, din care se poate determina curba curentului (1.21) și pierderile de energie (1.22)

$$n(t) = \frac{3}{2} \frac{l}{T} - \frac{n_1 + n_2}{4} + \frac{2t}{T} \cdot \frac{n_2 - n_1}{2} + \frac{4t^2}{T^2} \left[\frac{3}{4} (n_1 + n_2) - \frac{3}{2} \frac{l}{T} \right] \quad (1.20)$$

$$i(t) = m + g \frac{dn}{dt} = m + g \frac{n_2 - n_1}{T} + 2g \frac{t}{T^2} \left[3(n_2 + n_1) - \frac{6l}{T} \right] \quad (1.21)$$

$$q = T \cdot \left(m + \frac{n_2 - n_1}{T} \cdot g \right)^2 + \frac{1}{3} \frac{g^2}{T} \left[3(n_2 + n_1) - \frac{6l}{T} \right] \quad (1.22)$$

Parabola care produce pierderile de energie cele mai mici, la un timp de laminare T , se numește parabola optimă. Acest timp optim se obține anulând derivata:

$$\frac{dq}{dT} \cdot \frac{1}{g^2} = 0 \quad (1.23)$$

rezultând pentru T o ecuație de gradul IV

$$\frac{m^2}{g^2} - \frac{4n_1n_2}{T^2} - \frac{4}{T^2} \left(n_2 + n_1 - \frac{3l}{T} \right)^2 = 0 \quad (1.24)$$

W. Nürnberg particularizează ecuația pentru trei cazuri : a). $n_1 = n_2 = 0$; b). $n_1 = n_a$, $n_2 = 0$; c). $n_1 = 0$, $n_2 = n_b$. H. Thon rezolvă ecuația (1.24) pe un calculator analogic /16/ , cu rezultate ce s-au verificat satisfăcător în practică.

W. Nürnberg demonstrează în /18/ că parabola optimă, care satisface și relația (1.23), intersectează abscisa $n = 0$ cu panta m/g . Rezultă deci:

$$\frac{dn}{dt} = \pm \frac{m}{g} \text{ pentru } n(t) = 0 \quad (1.25)$$

Se consideră că turațiile n_1 și n_2 se aleg din considerente de tehnică a laminării.

În locul timpului de laminare optim (rel. 1.24), W. Nürnberg introduce în /5/ noțiunea de "viteză medie optimă de rotație", γ , adică valoarea lungimii L a produsului laminat, divizată prin durata laminării T și prin circumferința cilindrilor $\pi \cdot D_w$. În acest caz se obține, în urma calculelor prezentate în /5/:

$$\frac{A_w}{24 \cdot \pi^2 \cdot J} = \gamma \sqrt{(\gamma - a)(\gamma - b)} \quad (1.26)$$

cu

$$\gamma = \frac{L}{\pi \cdot D_w \cdot T}$$

Relația (1.26) arată că viteza de rotație optimală depinde numai de raportul dintre lucrul mecanic de laminare A_w și momentul de inerție J . Cum momentul de inerție este constant, rezultă că γ depinde numai de lucrul mecanic de laminare A_w . Parametrii a și b sînt două viteze de rotație care depind numai de vitezele inițiale și finale:

$$a = \frac{n_1 + n_2 + \sqrt{n_1 \cdot n_2}}{3} \quad (1.27)$$

$$b = \frac{n_1 + n_2 - \sqrt{n_1 \cdot n_2}}{3}$$

Figura 1.3., prezintă dependența dintre lucrul mecanic de deformare și viteza medie optimă γ , pentru trei perechi de valori n_1 și n_2 .

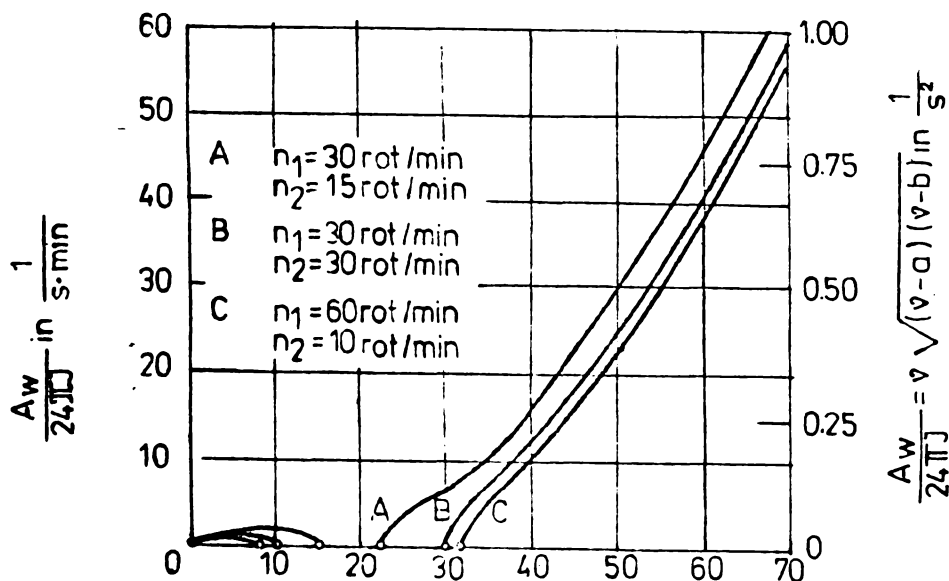


FIG.1.3. Lucrul mecanic relativ (de laminare) în funcție de viteză medie de rotație v .

Cu ajutorul vitezei medii și a vitezelor inițiale și finale, se stabilește parabola optimală $n(t)$. Sub această parabolă există o suprafață a cărei mărime este egală cu lungimea produsului laminat. De asemenea, parabola respectă condiția (1.25) - figura 1.4.

La funcționarea după parabola optimă, curentul nu ia niciodată valori negative (mașina nu trece în regim de generator). Panta tangentei la parabolă este cu atât mai mare cu cât cuplul de laminare este mai mare, ceea ce aproape sigur poate produce o limitare de accelerație.

Dacă cuplul de deformare este constant, este suficient să se determine accelerația relativă optimală β_1 la viteza inițială n_1 . Pentru altă viteză, accelerația teoretică β este:

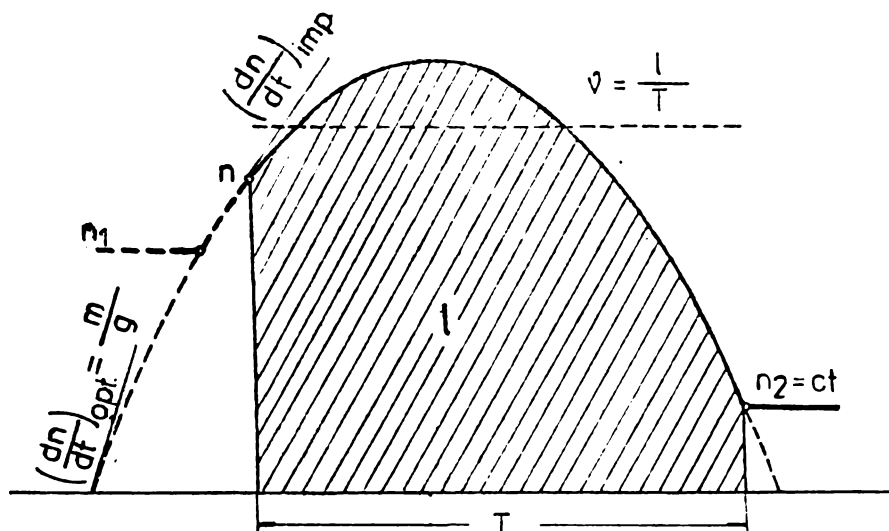


FIG.1.4. Variația optimă a vitezei de rotație, la laminarea între viteza inițială n_1 și finală n_2 , pentru o valoare oarecare a vitezei n și lungimea rămasă a laminatului l .

$$\beta = \pm \sqrt{1 + \frac{n}{n_1} (\beta_1^2 - 1)} \quad (1.28)$$

Această relație este valabilă pentru orice viteză finală n_2 . Deci, pentru a regla accelerația, este nevoie numai de valoarea reală a vitezei de rotație.

Dacă cuplul de deformare nu este constant, trebuie determinată valoarea optimă a accelerației $(\frac{dn}{dt})_{teor.}$, considerînd cuplul momentan de laminare M_w , lungimea rămasă pentru a fi laminată și valoarea vitezei finale, care poate fi considerată constantă. Se mai introduc următoarele mărimi relative :

- lucru mecanic de laminare restant :

$$m \cdot l = \frac{A_{w, rest.}}{2 \cdot \pi \cdot n}$$

- energia cinetică :

$$\frac{1}{2} \cdot n^2 \cdot g = \frac{E_{\text{cin.}}}{2 \cdot \pi \cdot M_n}$$

- variația vitezei de rotație sub influența sarcinii:

$$\left(\frac{dn}{dt}\right)_{\text{sarc.}} = \frac{m}{g} = \frac{M_w}{2 \cdot \pi \cdot J}$$

Dacă se exprimă în valori relative raportul între energia cinetică instantanee a maselor în rotație și lucrul mecanic de laminare restant, se obține:

$$\frac{E_{\text{cin.}}}{A_{w, \text{rest.}}} = \frac{\frac{1}{2} \cdot n^2 \cdot g}{m \cdot l} \quad (1.29)$$

Pe baza relației menționate mai sus a vitezei medii optimale pentru restul trecerii, se dă, pentru valoarea teoretică instantanee a accelerației optimale, următoarea ecuație:

$$\begin{aligned} \beta^4 + \frac{4}{3} \beta^3 \cdot \frac{n^2 \cdot g}{m \cdot l} + \beta^2 \left[\frac{4}{9} \cdot \frac{(n^3 - n_2^3) \cdot n \cdot g^2}{(m \cdot l)^2} - 2 \right] - \\ - 4\beta \cdot \frac{n^2 \cdot g}{m \cdot l} + 1 - \frac{4}{9} \cdot \frac{(2n+n_2)^2 \cdot (n-n_2) \cdot n \cdot g^2}{(m \cdot l)^2} = \\ = 0 \end{aligned} \quad (1.30)$$

unde

$$\beta = \frac{\left(\frac{dn}{dt}\right)_{\text{teor.}}}{\left(\frac{dn}{dt}\right)_{\text{sarc.}}} = \frac{\left(\frac{dn}{dt}\right)_{\text{teor.}}}{\frac{n}{g}} \quad (1.31)$$

În expresia (1.30), la numărători avem energia cinetică relativă, sau patratul ei, iar la numitori, lucrul mecanic relativ de laminare, restant, sau patratul său.

Se analizează următoarele cazuri particulare:

a). Pentru viteza inițială $n_1 = 0$, dacă lucrul mecanic de laminare nu este neglijabil,

$$\beta^4 - 2\beta^2 + 1 = 0 \quad (1.32)$$

deci

$$\beta = 1$$

sau

$$\left(\frac{dn}{dt}\right)_{\text{teor.}} = \left(\frac{dn}{dt}\right)_{\text{sarc.}} = \frac{m}{g} = \frac{M_w}{2 \cdot \pi \cdot J} \quad (1.33)$$

la începutul trecerii.

b). Pentru viteza finală $n_2 = 0$, energia cinetică, care în cazul laminării optimale, devine din ce în ce mai mică spre sfârșitul trecerii, este egală cu lucrul mecanic de laminare rămas a fi efectuat, care de asemenea este neglijabil. Deci pentru

$$n \rightarrow 0$$

rezultă

$$\frac{\frac{1}{2} \cdot n^2 \cdot g}{m \cdot l} \rightarrow 1$$

Se obține pentru variația optimală a vitezei la sfârșitul trecerii:

$$\beta_2 = 1$$

sau

$$\left(\frac{dn}{dt}\right) = -\frac{m}{g} = -\frac{M_w}{2 \cdot \pi \cdot J} \quad (1.34)$$

cu

$$n = n_2 = 0.$$

c). Dacă viteza n_2 poate fi considerată ca neglijabilă, se poate rescrie ecuația (1.30) sub forma:

$$\left[\beta^2 + \frac{2}{3} \frac{n^2 \cdot g}{m \cdot l} \cdot \beta + 1 \right]^2 - 4 \left[\beta + \frac{2}{3} \frac{n^2 \cdot g}{m \cdot l} \right]^2 = 0 \quad (1.35)$$

de unde

$$\begin{aligned} & \left[\beta^2 + \frac{2}{3} \frac{n^2 \cdot g}{m \cdot l} \cdot \beta + 1 + 2\beta + \frac{4}{3} \frac{n^2 \cdot g}{m \cdot l} \right] \cdot \\ & \cdot \left[\beta^2 + \frac{2}{3} \cdot \frac{n^2 \cdot g}{m \cdot l} \cdot \beta + 1 - 2\beta - \frac{4}{3} \frac{n^2 \cdot g}{m \cdot l} \right] = \\ & = 0 \end{aligned} \quad (1.36)$$

Al doilea factor din relația (1.36) dă, prin anulare, valoarea β căutată, adică valoarea teoretică a variației optime a vitezei de rotație, raportată la accelerația în sarcină, pentru toate vitezele trecerii în curs:

$$\beta = 1 - \frac{1}{3} \frac{n^2 \cdot g}{m \cdot l} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{6 m \cdot l}{n^2 \cdot g}} \right] \quad (1.37)$$

Dacă se notează:

$$e = \frac{E_{\text{cin.}}}{3 \cdot A_{w, \text{rest.}}} = \frac{\frac{1}{2} n^2 \cdot g}{3m \cdot l} \quad (1.38)$$

atunci:

$$\left(\frac{dn}{dt} \right)_{\text{teor.}} = \left(\frac{dn}{dt} \right)_{\text{sabo.}} \left[1 - 2e \left(1 + \sqrt{1 + \frac{1}{e}} \right) \right] \quad (1.39)$$

sau prin dezvoltare:

$$\begin{aligned} \left(\frac{dn}{dt} \right)_{\text{teor.}} = & \frac{M_w}{2 \pi J} \left[1 - \frac{2}{3} \frac{E_{\text{cin.}}}{A_{w, \text{rest.}}} \left(1 + \right. \right. \\ & \left. \left. + \sqrt{1 + \frac{A_{w, \text{rest.}}}{E_{\text{cin.}}}} \right) \right] \end{aligned} \quad (1.40)$$

Cuplul de accelerație optimal:

$$M_o = 2 \pi J \left(\frac{dn}{dt} \right)_{\text{teor.}} \quad (1.41)$$

este deci funcție de cuplul de laminare M_w și de raportul

între energia cinetică instantanee $E_{cin.}$ și lucrul mecanic de laminare $A_{w, rest.}$, rămas a fi efectuat.

Dacă viteza finală de laminare nu este nulă, se poate înlocui, cu o bună aproximație, relația (1.30), cu rezolvarea mai dificilă, prin relația (1.36), dacă se utilizează termenul $(m \cdot l + \frac{1}{2} \cdot n_2^2 \cdot g)$ în loc de $m \cdot l$.

Determinarea cuplului de rotație $M_{mot.}$ pe care trebuie să-l furnizeze motorul și a cuplului de accelerare M_d , pentru un cuplu de laminare M cunoscut, în funcție de raportul $E_{cin.}/A_{w, rest.}$, se poate face cu ușurință, folosind figura 1.5.

În figura 1.6. este prezentată variația vitezei de rotație și a curentului indusului pentru un cuplu de sarcină constant, iar în figura 1.7. aceleași curbe, pentru cuplu de sarcină variind în trepte. Ambele au fost obținute prin modelare pe un calculator analogic. Curba turației conține două segmente de parabolă, iar curba curentului, două segmente de dreaptă. Pe abscisă se poate citi lungimea laminată $\int ndt$.

În prima fază, teoria laminării optime a fost verificată de W. Nürnberg și colaboratorii săi pe un model electro - mecanic, compus din două mașini de curent continuu, un servomotor de comandă și un tahogenerator. Sarcina era reprezentată printr-o frână plasată între cele două mașini de curent continuu, producând un cuplu de frînare independent de turație.

Cele două motoare s-au construit prin similitudine cu motoarele reale de laminare, fiind prevăzute cu o serie de dispozitive suplimentare pentru a facilita măsurătorile.

Un calculator analogic măsoară mărimile necesare, iar un alt calculator (tot analogic) efectuează calculul curent al timpului optimal de laminare și dă valorile teoretice ale turației și curentului.

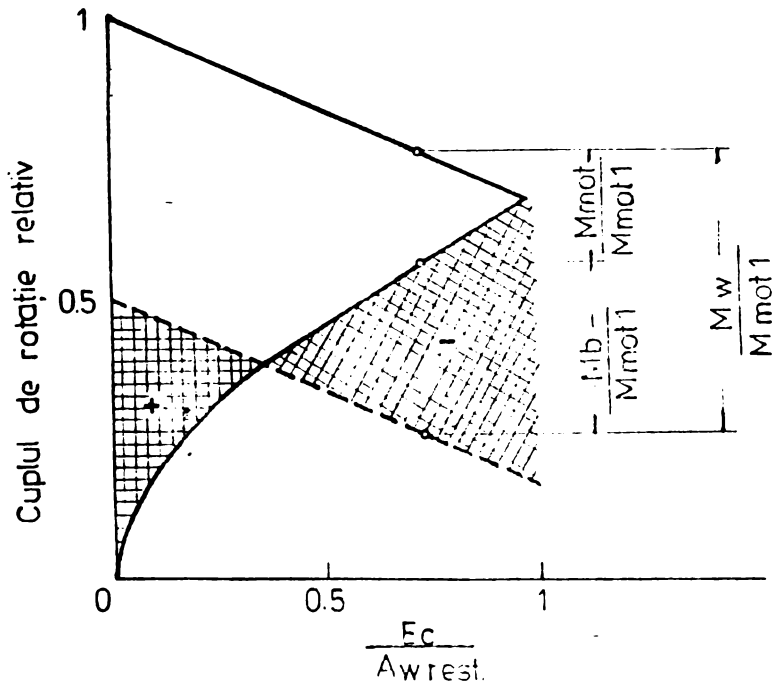


FIG.1.5. Diagrama pentru determinarea cuplului de laminare M_w , a cuplului de accelerare M_b , și a cuplului motor M_{mot} raportat la cuplul motor de prindere M_{mot1} , în funcție de lucrul mecanic restant.

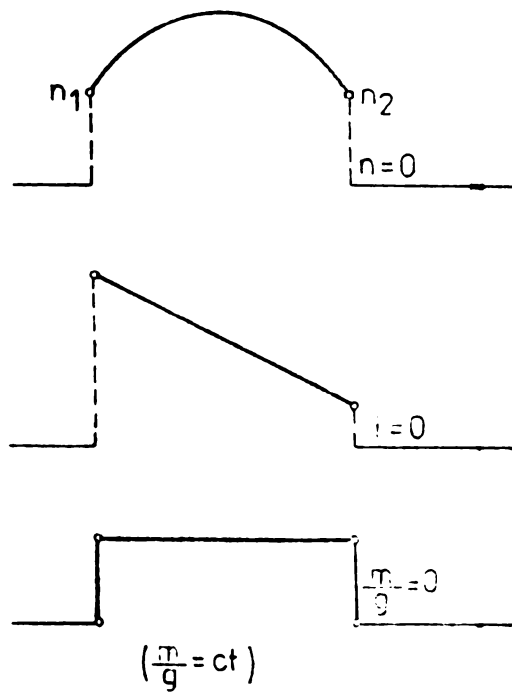


FIG.1.6. Simulare pe calculator analogic, variația vitezei de rotație și a curentului pentru un cuplu de sarcină constant.

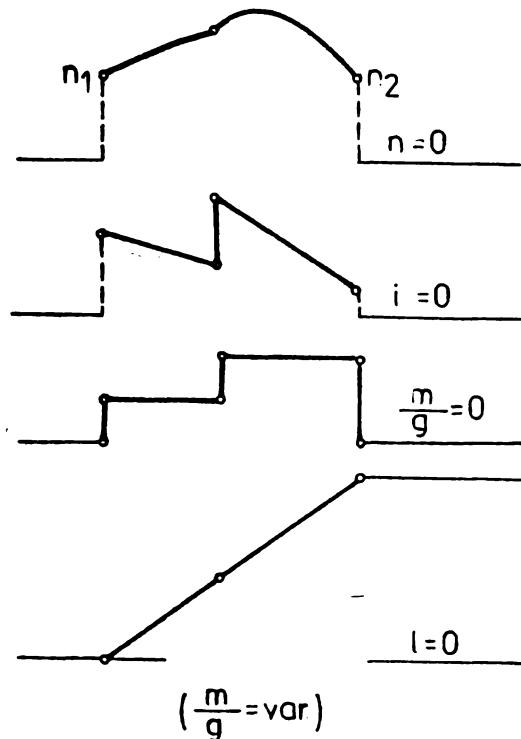


FIG.1.7. Simulare pe calculator analogic: cuplul de sarcină variază în trepte.

O memorie permite reținerea valorilor caracteristice ale trecerilor anterioare. Cuplul de rotație poate fi de asemenea memorat. Un dispozitiv particular este circuitul logic care asigură inversiunea rapidă a sensului de rotație și alte funcțiuni.

Cuplul de frînare (adică cuplul de laminare al modelului), a fost stabilit electronic pornind de la curentul indusului, fluxul magnetic și variația vitezei de rotație.

Figurile 1.8. și 1.9. permit discutarea rezultatelor încercărilor,

Figura 1.8 arată valorile teoretice și reale ale vitezei de rotație și ale curentului, în domeniul reglării turației prin tensiune rotorică.

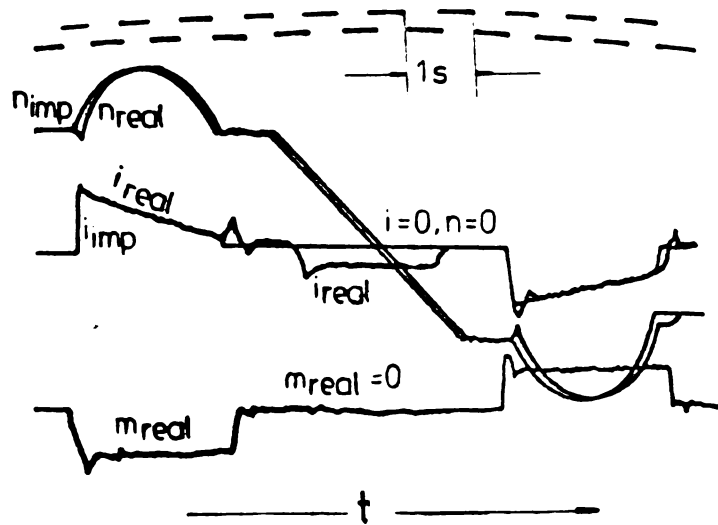


FIG.1.8. Oscilogramă pentru comandă prin tensiune

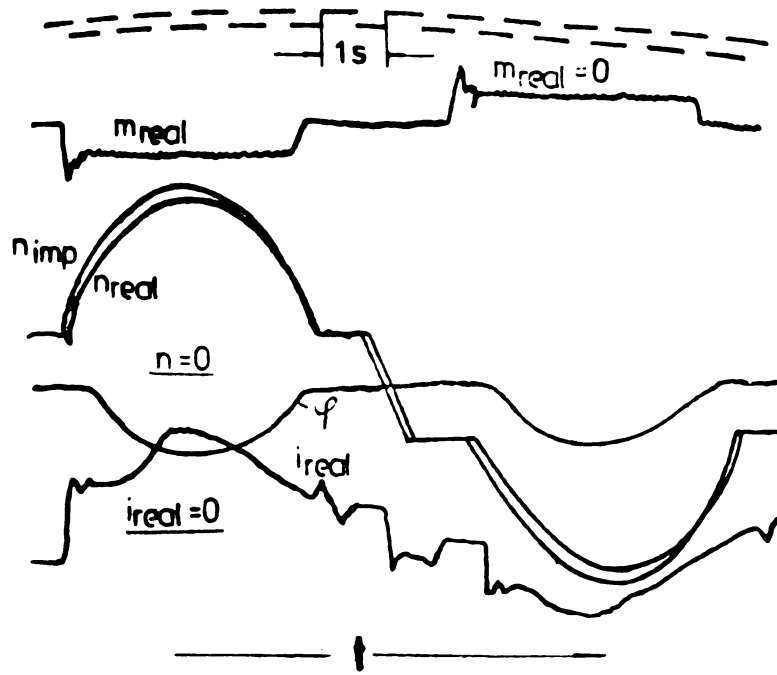


FIG.1.9. Oscilogramă pentru funcționarea modelului în domeniul reglării prin tensiune sau prin slăbire de câmp.

Figura 1.9. indică cuplul de sarcină, valorile teoretice și reale ale vitezei de rotație și fluxul variabil, în domeniul reglării turației prin diminuare de flux. Această diminuare se manifestă printr-o curbarea liniei curentului în sus. Fluxul a fost măsurat cu sonde Hall.

Conducerea optimală a regimului de viteză cu ajutorul calculatorului analogic a fost aplicată pe un slebing universal, fără să producă nici un deranjament de funcționare /7/. Dispozitivul experimental a lucrat împreună cu un calculator numeric de proces, care a asigurat optimizarea numărului de treceri și stabilirea valorilor inițiale. Dacă valorile inițiale necesare pentru calculul unei treceri sînt stabilite de un dispozitiv suplimentar, calculatorul analogic va putea lucra independent de calculatorul numeric de proces (figura 1.10.). S-au menținut, de asemenea, posibilitățile de laminare manuală, după program sau optimizat.

În figura 1.11. se prezintă evoluția vitezei de rotație în decursul a două treceri succesive. Se constată o oarecare ezitare în conducerea manuală, iar în timpul laminării (perioada T), viteza nu crește ci scade, ceea ce reprezintă o mare diferență față de laminarea optimală. De asemenea, se mai constată o puternică accelerare după suprimarea sarcinii la prima trecere. Oscilograma reprezentînd viteza teoretică și reală la conducerea cu calculator analogic are însă alura corectă. Curba se compune din elemente de dreaptă cînd laminatul nu este între cilindri și parabole, în timpul laminării propriu - zise.

Figura 1.12. reprezintă evoluția curentului indusului. La comanda manuală, după suprimarea sarcinii, curentul sare brusc de la valoarea maximă corespunzătoare regimului motor, la valoarea maximă de sens contrar (regim generator). La conducerea prin calculator analogic, variația curentului este liniară (cu excepția zonei în care se face slăbirea de cîmp), fără salturi sau alternanțe.

Încercările care s-au expus au fost efectuate începînd cu anul 1968, de către o echipă de cercetători condusă de W. Nürnberg, fiind primele de acest gen (cu finalizare pe

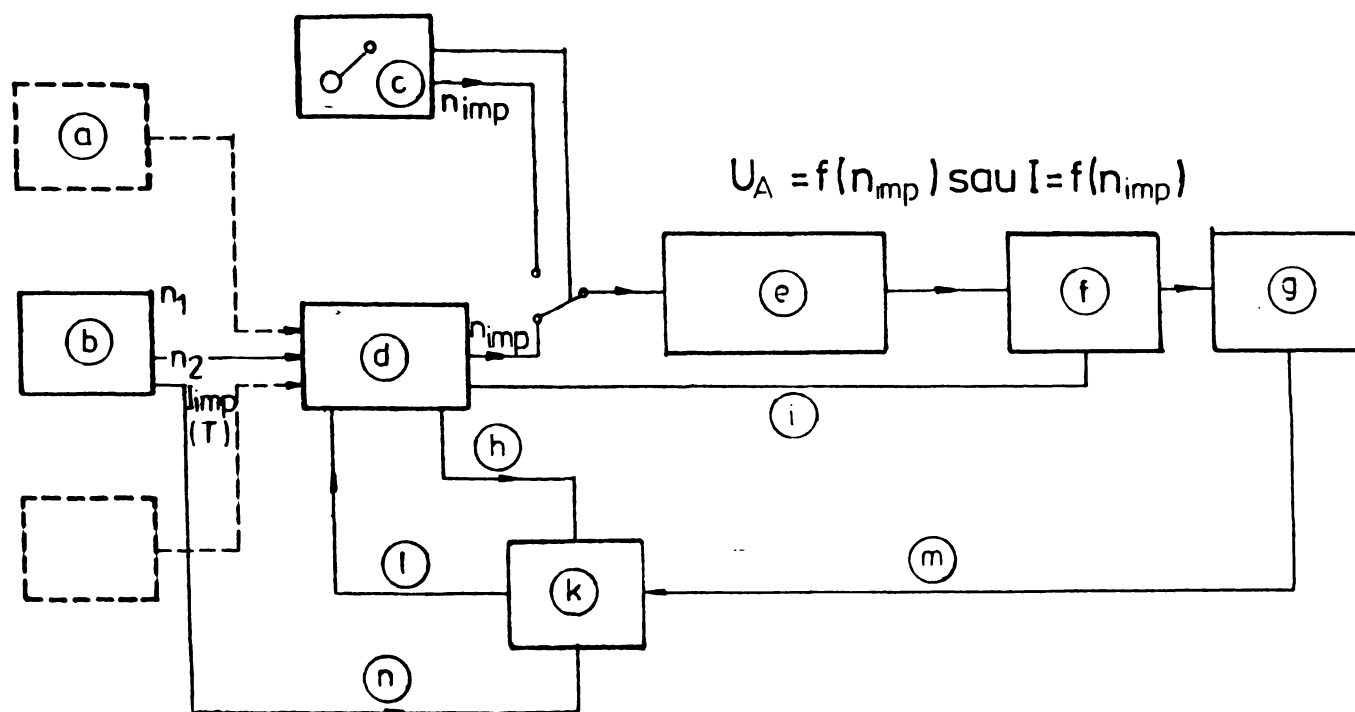


FIG.1.10. Schemă funcțională pentru conducerea regimului de viteză a unui laminor reversibil, cu ajutorul unui calculator analogic.

- (a) Tablou de programe
- (b) Calculator numeric
- (c) Întreruptor de comandă
- (d) Calculator analogic
- (e) Dispozitiv de reglare și organ de comandă
- (f) Actionare
- (g) Cază
- (h) Semnale de comandă
- (i) Valori analogice : n_{real} , m_{real} , i_{real}
- (k) Circuit logic
- (l) Ordine de comandă
- (m) Semnale de la traductoare (celule fotoelectrice, efort de laminare)
- (n) Pornire program, ultimul pas

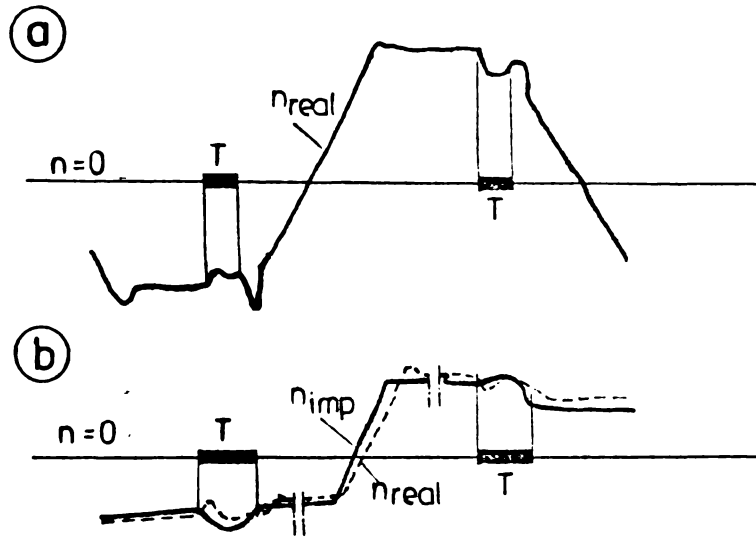


FIG.1.11. Variația vitezei de rotație a acționării principale, la :
a) Comandă manuală
b) Comandă cu calculator analogic

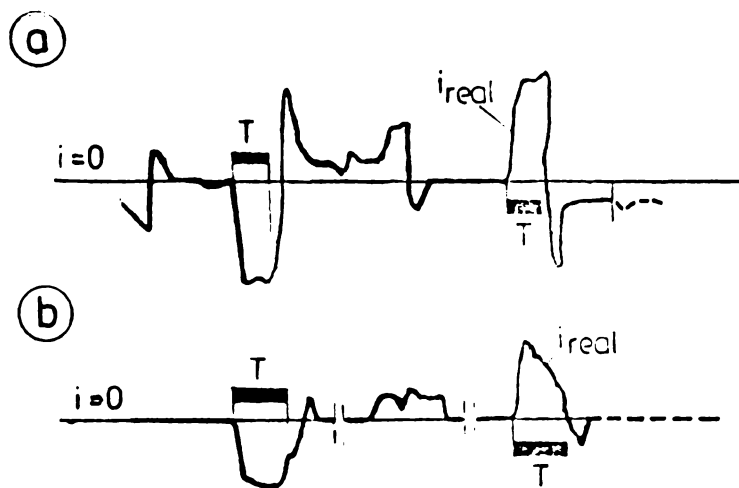


FIG.1.12. Variația curentului acționării principale, la :
a) Comandă manuală
b) Comandă cu calculator analogic

un laminor propriu - zis). Fondurile necesare (cîteva milioane mărci R.F.G.), au fost asigurate de Comunitatea Economică Europeană (Piața Comună) și de către Verein Deutscher Eisenhüttenleute (V D Eh).

1.4. Alte cercetări în domeniu

După cum s-a menționat, singurele cercetări care au dat rezultate concludente sînt cele specificate în paragraful 1.3. Cu toate acestea, în literatura de specialitate au mai apărut o serie de publicații, dintre care se menționează cîteva în continuare.

A. Szeghedy /19/, introduce o limitare a curentului indusului în domeniul slăbirii cîmpului, din motive de comutație. El propune accelerarea cu cel mai mare curent admis, la fel și în frînare. Mărimea curentului (valoarea sa efectivă), nu trebuie să depășească curentul nominal al motorului.

M. Proske /20/, extinde cercetările lui W. Nürnberg în domeniul slăbirii cîmpului, arătînd că și aici există o tahograma de gradul 2 - 3 care conduce la pierderi minime de energie. Utilizînd curba de gradul 2 pentru tahogramă, se ajunge la parabola lui W. Nürnberg.

O sinteză a cercetărilor apărute pînă în anul 1965 în domeniu există în lucrarea /21/. De asemenea, se analizează laminarea cu turație constantă, trapezoidală sau triunghiulară.

În literatura sovietică există multe lucrări referitoare la optimizarea procesului de laminare în ansamblu, cu referiri în special asupra determinării numărului optim de treceri de laminare și a reducerilor pe trecere.

N. Baimov /4/, asimilează procesul de laminare cu deplasarea unui vector într-un spațiu de fază, care este definit de geometria lingoului și de temperatura sa. Optimizarea se face pe un model, la baza căruia se află cercetările lui V. A.

Tiagunov /22/. Din cauza complexității modelului și a unui mare număr de parametri de conducere, se efectuează un mare număr de simplificări și se introduc prea multe ipoteze simplificatoare.

V. V. Eriklințev și V. I. Tumașev /23/, au folosit, pentru căutarea condițiilor optime ale procesului de laminare metoda programării dinamice. Ei analizează două sarcini ale conducerii optime:

a). dintr-o mulțime de reduceri posibile (ΔH_i), să se găsească o asemenea distribuție a reducerilor ΔH_i ($i = 1, 2, \dots, H$) pe treceri, sub acțiunea cărora lingoul se laminează în timpul minim, satisfăcându-se și un complex de limitări (printre care și cea referitoare la pierderile de energie) ;

b). dintr-o mulțime de reduceri posibile (ΔH_i), să se găsească o astfel de distribuție ΔH_i , sub acțiunea căreia lingoul să se lamineze cu pierderi minime, la productivitatea dată a instalației ;

Neajunsurile metodei, menționate și în /3/, sînt se fac prea multe ipoteze simplificatoare ; funcționala optimizată în cazul (b) nu asigură cerințele impuse ; tahograma presupusă are formă triunghiulară sau trapezoidală (ca și la N. Baïmov), fără a se face vreo referire la optimizarea sa.

O analiză a cercetărilor sovietice asupra optimizării procesului de laminare în ansamblul său este dată în lucrarea /3/. Tot aici se propune și o metodă interesantă de optimizare, bazată pe principiul de maxim a lui Pontriaghin.

Lucrările menționate nu abordează problema optimizării tahogramei, făcîndu-se cel mult recomandări privitoare la viteza de prindere și de evacuare a lingoului. Problema laminării optime este tratată pur din considerente tehnologice.

CAPITOLUL 2

INFLUENTA CONDITIILOR REALE ASUPRA PERFORMANTELOR

LAMINARII OPTIMIZATE

2.1. Generalități

Conform celor expuse în Capitolul 1, W. Nürnberg și M. Proske au determinat o tahogramă care să conducă, în ambele domenii de reglare a turației motoarelor principale ale unui laminor reversibil (tensiune, flux), la valori optime pentru pierderile de energie și timpul de laminare. Concluziile lor au fost experimentate pe un model analogic și pe un laminor de tip slebing..

În practică însă, în timpul laminării reale apar o serie de restricții și limitări, care modifică, uneori substanțial, condițiile laminării optime. Situațiile avute în vedere sînt:

a). trecerea din domeniul reglării turației prin variația tensiunii rotorice, în cel al reglării prin slăbire de flux. Această situație se întâlnește încă de la primele treceri, cînd, din considerente de productivitate, turația motoarelor trebuie să depășească turația nominală a acestora;

b). limitări de accelerație, cauzate de regulatoarele de accelerație cu care sînt dotate majoritatea laminoarelor moderne.

Regulatorul de accelerație se montează între dispozitivul de impunere a turației și regulatorul de turație și integrează valoarea impusă de turație. În acest mod se evită apariția unei mărimi de intrare treaptă, care ar conduce la șocuri electrice și mecanice în acționare, cu efecte defavorabile asupra duratei de viață a acestora ;

c). limitarea turației, fie din considerente tehnologice, fie datorită turației maxime a motoarelor principale.

De asemenea, este cunoscut faptul că dacă viteza de laminare depășește o anumită limită (caracteristică fiecărei instalații), se pot produce vibrații deosebit de periculoase în ansamblul cajei ;

d). limitări de curent de diferite tipuri, atât în domeniul reglării turației prin tensiune cât și prin flux.

Deși motoarele de laminare au o construcție specială, curentul maxim absorbit de acestea nu poate depăși o anumită valoare, dată de fabricant. În practică, această valoare poate fi atinsă de multe ori în timpul laminării, datorită unui cuplu de laminare excesiv, peste care se poate suprapune și un cuplu dinamic. În momentul când reglarea turației începe să fie efectuată prin diminuarea fluxului, valoarea curentului maxim admis scade odată cu această diminuare /46/.

În general, în practică nu se întâlnesc alte restricții esențiale.

În capitolul de față se deduc, pornind de la condițiile laminării optime ale lui W. Nürnberg și M. Proske, relațiile matematice care să permită determinarea pierderilor de energie și a timpului de laminare pentru toate situațiile date. Pe baza acestor relații, se studiază influența limitărilor asupra parametrilor laminării optime, rezultând o serie de concluzii cu aplicabilitate practică. Contribuțiile autorului se referă la studiul influenței limitărilor prezentate la punctele b, c, d de mai sus.

2.2. Stabilirea mărimilor de bază

În general, se vor adopta notațiile consacrate în literatura de specialitate și menționate în /5/.

Pentru laminarea unui blum trebuiesc cunoscute

- turația inițială a cilindrilor, n_1 , la care laminatul intră în cajă , [rot./min.] ;

- turația finală a cilindrilor , n_2 , la care laminatul iese din cajă , [rot./min.] ;

- lungimea laminatului după trecere , L [m] ;
- cuplul static , M_s [N m] ;
- diametrul de lucru al cilindrilor de laminare ,
 D [m] ;

Se poate scrie:

$$L = \frac{\pi \cdot D}{60} \int_{t_1}^{t_2} n(t) \cdot dt \quad (2.1)$$

unde t_1 și t_2 [s] sînt timpul de început, respectiv de sfîrșit a procesului, n [rot./min.] turația cilindrilor, iar t [s] timpul (variabila independentă).

Lungimea raportată (relativă) a laminatului este :

$$l = \frac{60L}{\pi \cdot D} = \int_{t_1}^{t_2} n(t) dt \left[\frac{\text{sec.}}{\text{min.}} \right] \quad (2.2)$$

Cuplul static se calculează ca diferență între cuplul motor M și cuplul dinamic M_d :

$$M_s = M - M_d \quad [N \cdot m] \quad (2.3)$$

unde $M = c \cdot I \cdot \phi \quad [N \cdot m] \quad (2.4)$

$$M_d = J \cdot \frac{d\Omega}{dt} = J \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{dn}{dt} \quad [N \cdot m] \quad (2.5)$$

aici J [kg · m²] este momentul de inerție al maselor în mișcare, raportate la axul motorului, Ω [sec.⁻¹] viteza unghiulară a indusului, iar I [A] curentul rotoric momentan.

Ca mărime auxiliară se introduce accelerația nominală corespunzătoare unui cuplu dinamic egal cu cuplul nominal al motorului:

$$M_n = J \cdot \frac{2\pi}{60} \left(\frac{dn}{dt} \right)_n = J \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{1}{g} \quad (2.6)$$

$$M_n = c \cdot I_n \cdot \phi_n \quad (2.7)$$

unde :

$$g = \frac{1}{\left(\frac{dn}{dt}\right)_n} = \frac{J \frac{2\pi}{60}}{M_n} \quad [\text{sec.min.}]$$

este inversul accelerației nominale ; I_n [A] curentul rotoric nominal ; ϕ [Wb] fluxul în rotor (considerat inițial constant), iar c - o constantă.

Tinând cont de relațiile (2.3), (2.4) și (2.5) și notînd:

$$m = \frac{M}{M_n} \quad ; \quad i = \frac{I}{I_n}$$

se obține

$$m = i - g \frac{dn}{dt} \quad (\text{la } \phi = \text{constant}) \quad (2.8)$$

Pierderile de energie în rotor vor fi:

$$Q = R_a \int_0^T I^2 dt \quad [W] \quad (2.9)$$

unde R_a [Ω] este rezistența indusului, T [s] timpul de laminare.

Notînd pierderile nominale de putere:

$$V_n = R_a \cdot I_n^2$$

se obține mărimea:

$$q = \frac{Q}{V_n} = \int_0^T i^2 \cdot dt \quad [s] \quad (2.10)$$

măsurată în secunde, care multiplicată cu pierderile nominale de putere, permite obținerea pierderilor de energie în rotor.

Mărimile stabilite (ale căror unități de măsură corespund sistemului S.I.), vor fi utilizate în întreaga lucrare. În funcție de necesități, pot fi introduse și alte mărimi, care vor fi definite acolo unde apar prima dată.

2.3. Calculul parabolei optime, a pierderilor de energie și a timpului de laminare optim

Ca expresie matematică pentru parabola optimă se consideră relația /15/:

$$n(t) = \hat{n} - b \cdot t^2 \quad (2.11)$$

unde \hat{n} - este turația maximă (de vîrf) a parabolei ;
 b - o constantă ;

Prin relația (2.11) pot fi exprimate toate parabolele aflate în limitele n_1, n_2 , cazul limită fiind dreapta care unește pe n_1 cu n_2 și care posedă panta m/g . Turația maximă \hat{n} se va obține pe ordonată.

O familie de astfel de parabole, pentru $n_1 = 15$ [rot./min.], $n_2 = 60$ [rot./min.], $l = 229$ [sec.min.⁻¹] și m/g variabil, este dată în figura 2.5. În această figură, toate punctele inițiale sînt deplasate la $t = 0$, pentru a explicita astfel creșterea timpului de laminare cu scăderea raportului m/g .

Mărimea b din relația (2.11) se determină din condiția laminării pe parabola optimă dedusă de W. Nürnberg /5/, conform precizărilor din Capitolul 1. Astfel, parabola optimă trebuie să intersecteze abscisa cu panta $\frac{1}{g} m/g$ (relația 1.25). Rezultă, luînd în considerație relația (2.11), pentru punctul stîng de intersecție a parabolei cu axa $n = 0$:

$$\left(\frac{dn}{dt}\right)_{t = -\sqrt{\frac{\hat{n}}{b}}} = + \frac{m}{g} \quad (2.12)$$

Derivata turației în punctul $t = -\sqrt{\frac{\hat{n}}{b}}$ este

$$\left(\frac{dn}{dt}\right)_{t = -\sqrt{\frac{\hat{n}}{b}}} = 2 \sqrt{\hat{n} \cdot b} \quad (2.13)$$

astfel că:

$$b = \frac{1}{4 \hat{n}} \cdot \frac{m^2}{g^2} \quad (2.14)$$

iar ecuația parabolei optime (2.11) devine

$$n(t) = \hat{n} - \frac{1}{4 \hat{n}} \cdot \frac{m^2}{g^2} \cdot t^2 \quad (2.15)$$

În această relație, turația maximă \hat{n} este deocamdată necunoscută. Suprafața aflată sub parabola turației, între timpii t_1 și t_2 , corespunde lungimii produsului laminat, iar timpul de laminare este:

$$T = t_2 - t_1 \quad (2.16)$$

În figura 2.1. sînt date trei cazuri posibile. Turația maximă este:

- a). între t_1 și t_2 : $t_1 < 0$; $t_2 > 0$;
(cel mai frecvent caz);
- b). în dreapta lui t_2 : $t_1 < 0$; $t_2 < 0$;
- c). în stînga lui t_1 : $t_1 > 0$; $t_2 > 0$;

Lungimea laminatului, l , este conform relației (2.2), luînd în considerație relația (2.15):

$$l = \int_{t_1}^{t_2} \left(\hat{n} - \frac{1}{4 \hat{n}} \cdot \frac{m^2}{g^2} \cdot t^2 \right) dt \quad (2.17)$$

După efectuarea integrării se obține:

$$l = \hat{n} (t_2 - t_1) - \frac{1}{12 \hat{n}} \cdot \frac{m^2}{g^2} (t_2^3 - t_1^3) \quad (2.18)$$

În relația (2.18) se poate introduce t_1 și t_2 (prin particularizarea relației (2.15) pentru turațiile n_1 și n_2):

$$t_{1,2} = \pm \frac{2 \hat{n}}{\frac{m}{g}} \sqrt{1 - \frac{n_{1,2}}{\hat{n}}} \quad (2.19)$$

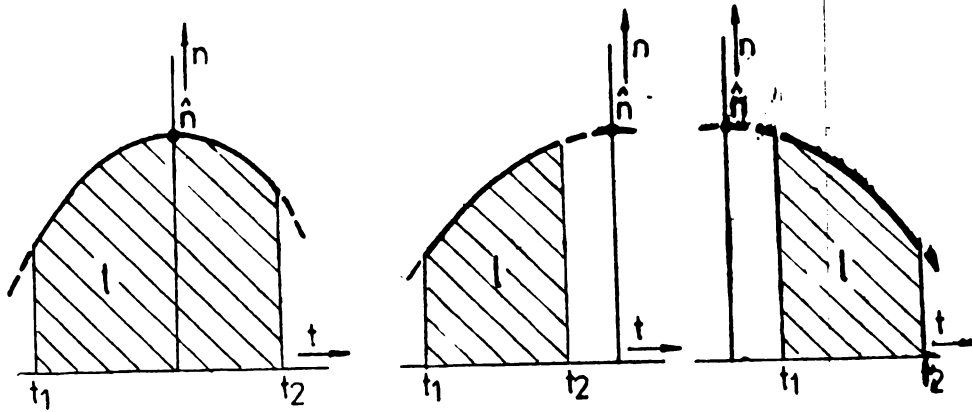


FIG 2.1.

În fața radicalului se consideră semnul + sau -, după cum timpul respectiv este în cadranul I sau II. Cu aceste precizări, relația (2.18) devine, pentru cazul a):

$$1 = \frac{2\hat{n}^2}{\frac{m}{g}} \left[\left(1 - \frac{n_2}{\hat{n}}\right)^{1/2} + \left(1 - \frac{n_1}{\hat{n}}\right)^{1/2} - \frac{1}{3} \left(1 - \frac{n_2}{\hat{n}}\right)^{2/3} - \frac{1}{3} \left(1 - \frac{n_1}{\hat{n}}\right)^{3/2} \right] \quad (2.20)$$

Relația (2.20) servește calculului turației maxime a parabolei, \hat{n} . Datorită dificultății de a rezolva ecuația (2.20), necunoscuta \hat{n} se va obține prin iterație, utilizând un calculator numeric. În acest scop, se atribuie necunoscutei o valoare inițială (de exemplu $\hat{n} = n_2$) și se calculează eroarea:

$$a = 1 - \frac{2\hat{n}^2}{\frac{m}{g}} \left[\left(1 - \frac{n_2}{\hat{n}}\right)^{1/2} + \left(1 - \frac{n_1}{\hat{n}}\right)^{1/2} - \frac{1}{3} \left(1 - \frac{n_2}{\hat{n}}\right)^{3/2} - \frac{1}{3} \left(1 - \frac{n_1}{\hat{n}}\right)^{3/2} \right] \quad (2.21)$$

Eroarea poate rezulta pozitivă sau negativă. În primul caz, valoarea inițială \hat{n} a fost prea mică, iar în al doilea

caz prea mare, Se crește \hat{n} treptat cu 100 %, 10 %, 1 %, etc., pînă ce $|a| \leq 10^{-2}$ (s-a considerat că eroarea admisibilă este 10^{-2}).

În figura 2.2. este prezentată schema logică de calcul a turației maxime \hat{n} , a timpului optim de laminare T și a pierderilor de energie Q corespunzătoare parabolei optime (în domeniul reglării turației prin modificarea tensiunii rotorice). Programul și rezultatele de la imprimanta pentru un caz practic (acționarea principală de la blumingul 1000 mm din Centrala Industrială Siderurgică Hunedoara), sînt date în figura 2.3. Aici s-a considerat:

- $l = 229$ [sec. min.⁻¹] , corespunzător unui diametru al cilindrilor $D = 1,2$ [m] și unei lungimi a laminatului $L = 14,39$ [m] ;

- $m/g = 87,4$ [sec.⁻¹ . min.⁻¹] , corespunzător unui cuplu nominal $M_n = 931 \cdot 10^3$ [N m] , cuplul static $M_g = 1258,47 \cdot 10^3$ [N m] și moment de inerție redus $J = 137500$ [Nm²] ;

- $n_1 = 15$ [rot./min.] ; $n_2 = 30$ [rot./min.] ;

- rezistența indusului $R_a = 21,5 \cdot 10^{-3}$ [Ω] ,

curentul nominal $I_n = 4000$ [A] ;

La limită, parabola optimă poate deveni o dreaptă cu panta m/g (care poate fi considerată ca o parabolă cu vârful la infinit) - figura 2.4. În acest caz, lungimea laminată l va fi:

$$l = \frac{|n_2^2 - n_1^2|}{2 \cdot \frac{m}{g}} \quad (2.22)$$

iar timpul de laminare

$$T = \frac{2l}{n_1 + n_2} \quad (2.23)$$

Dacă se laminează după o variație parabolică a turației, se poate determina timpul de laminare din relațiile (2.16) și (2.19), rezultînd :

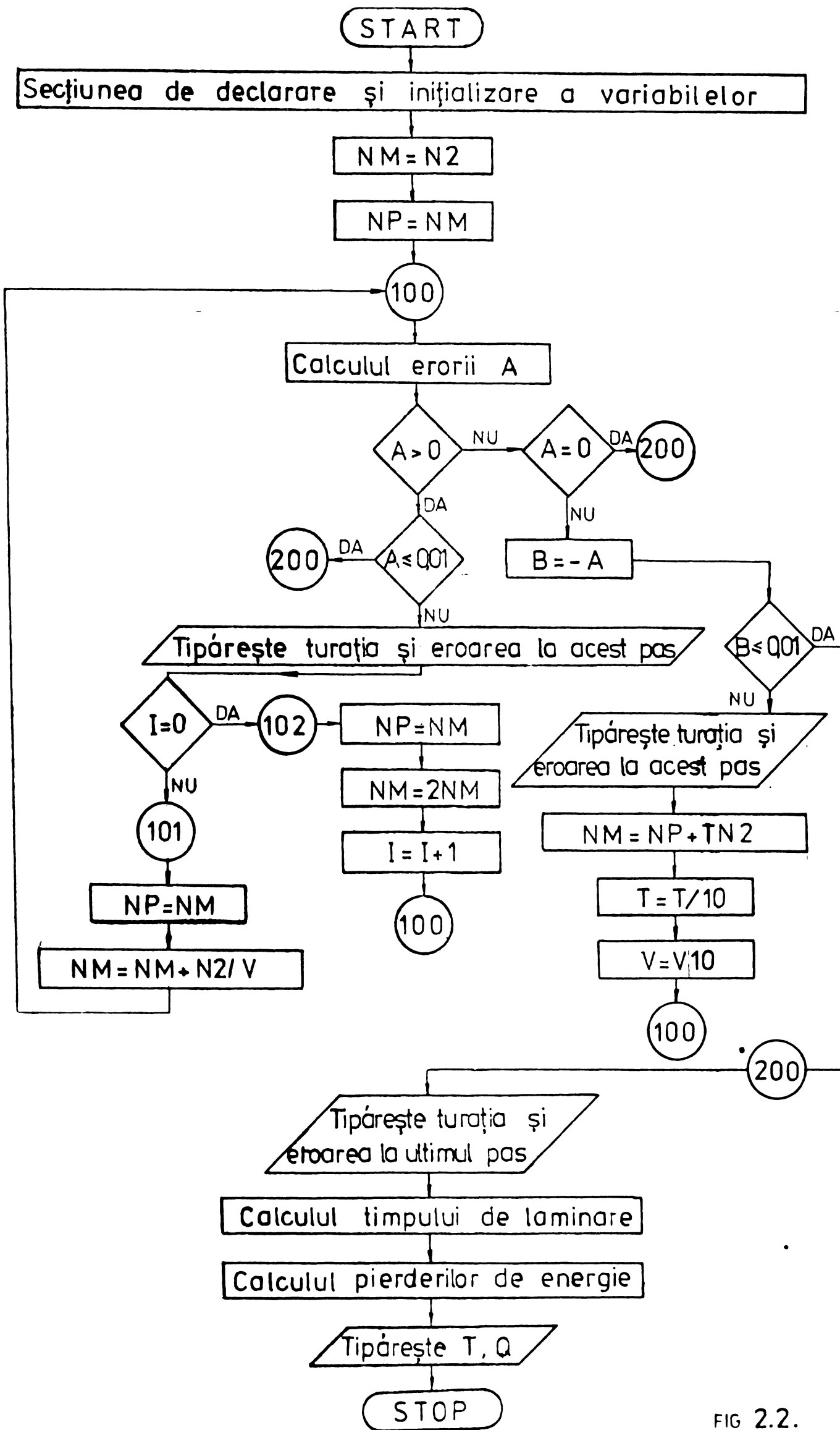


FIG 2.2.


```

PFAL M2,N2,N1,NM,ND,NN,L,IN,M
I=0
T=0.01
V=10.
T1=0.
T2=0.
L=229.
A=0.
B=0.
G=97.4
N1=15.
N2=30.
Q=0.
FA=21.5
M=1.35
G1=0.0154
IN=4.
P=0.
P1=0.
P2=0.
P3=0.
PA=0.
NM=N2
NP=NM
WRITE(6,18)
18 FORMAT('1', 'CALCULUL TURATIEI OPTIME', /1X, 24('='))
100 P=2.*NM**2./G
P1=SQRT(1-N2/NM)
P2=SQRT(1-N1/NM)
P3=SQRT((1-N2/NM)**3)
P4=SQRT((1-N1/NM)**3)
M2=P*(P1+P2+1./3.*P3+1./3.*P4)
A=L*M2
IF(A) 2,2,1
1 IF(A.LE.0.01) GO TO 200
WRITE(6,10) NM,A
IF(I) 1,1,102,101
101 NP=NM
NM=NM+N2/V
GO TO 100
1 2 NP=NM
NM=NM*2.
I=I+1
GO TO 101
2 B=A
IF(B.LE.0.01) GO TO 200
WRITE(6,10) NM,A
NM=NP+T*M2
T=T/10.
V=V*10.
GO TO 100
10 FORMAT(1X, 'TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE = ', F9.3, ' IAR ABATERE
CA ESTE = ', F9.3)
11 WRITE(6,20) NM,A
20 FORMAT(1X, 'TURATIA MAXIMA LA ULTIMUL PAS ESTE = ', F9.3, ' IAR ABATE
DEEA ESTE = ', F9.3)
WRITE(6,21)
21 FORMAT('1', 'CALCULUL PARABOLEI OPTIME', /1X, 25('='))
T1=2*NM/G*SQRT(1-N1/NM)
T2=2*NM/G*SQRT(1-N2/NM)
WRITE(6,11) T1
11 FORMAT(1X, 'TIMPUL DE INCERPUT ESTE = ', F6.2)
WRITE(6,12) T2
12 FORMAT(1X, 'TIMPUL DE SFIRSIT ESTE = ', F6.2)
WRITE(6,13)
13 FORMAT(1X, 'VALORILE PARABOLEI OPTIME IN INTERVALUL CALCULAT')
T=T1
105 M2=NM-1/(4*NM)*G**2*T**2
WRITE(6,17) M2
17 FORMAT(8X, 'M(T) = ', F9.3)
T=T+0.1
IF(T.LT.T2) GO TO 105
M2=NM-1/(4*NM)*G**2*T2**2
WRITE(6,17) M2
T=2.*NM/G*(P1+P2)
WRITE(6,57) T

57 FORMAT('1', 'TIMPUL DE LAMINARE OPTIM A = ', F6.2)
Q=PA*NM**2.*NM*(M2/G1+1000.*(P1+P2+1./3.*P3+1./3.*P4)
WRITE(6,58) Q
58 FORMAT(1X, 'POTENTIALUL DE DIFUZIE OPTIM ESTE DE ', F7.3, ' KWH'
STOP
END

```

CALCULUL PARABOLEI OPTINE

TIMPUL DE INCEPUT ESTE = 1.83
 TIMPUL DE SFIRSIT ESTE = 1.63

VALORILE PARABOLEI OPTINE IN INTERVALUL CALCULAT

Table with 2 columns: N(T) and values. The values decrease from 15.000 to 30.000.

N(T)	=	15.000
N(T)	=	22.743
N(T)	=	30.000
N(T)	=	36.928
N(T)	=	43.359
N(T)	=	49.376
N(T)	=	54.949
N(T)	=	60.083
N(T)	=	64.796
N(T)	=	69.163
N(T)	=	72.971
N(T)	=	76.313
N(T)	=	79.271
N(T)	=	81.816
N(T)	=	83.916
N(T)	=	85.572
N(T)	=	86.814
N(T)	=	87.614
N(T)	=	87.998
N(T)	=	87.998
N(T)	=	87.394
N(T)	=	86.457
N(T)	=	85.205
N(T)	=	83.279
N(T)	=	81.139
N(T)	=	78.364
N(T)	=	75.256
N(T)	=	71.714
N(T)	=	67.733
N(T)	=	63.328
N(T)	=	58.483
N(T)	=	53.205
N(T)	=	47.492
N(T)	=	41.346
N(T)	=	34.765
N(T)	=	30.000

CALCULUL TURATIEI OPTIME

Table with 4 columns: TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE, PAS ESTE, ABATEREA ESTE, and values. The values decrease from 216.366 to 0.137.

TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	21.0	ABATEREA ESTE	=	216.366
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	21.0	ABATEREA ESTE	=	126.950
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	26.0	ABATEREA ESTE	=	119.600
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	30.0	ABATEREA ESTE	=	103.713
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	36.0	ABATEREA ESTE	=	91.287
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	42.0	ABATEREA ESTE	=	78.319
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	49.0	ABATEREA ESTE	=	64.818
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	56.0	ABATEREA ESTE	=	51.754
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	63.0	ABATEREA ESTE	=	36.155
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	70.0	ABATEREA ESTE	=	21.112
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	77.0	ABATEREA ESTE	=	5.322
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	84.0	ABATEREA ESTE	=	1.013
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	91.0	ABATEREA ESTE	=	0.723
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	97.0	ABATEREA ESTE	=	0.519
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	104.0	ABATEREA ESTE	=	0.399
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	111.0	ABATEREA ESTE	=	0.348
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	117.0	ABATEREA ESTE	=	0.313
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	124.0	ABATEREA ESTE	=	0.285
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	131.0	ABATEREA ESTE	=	0.265
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	137.0	ABATEREA ESTE	=	0.250
TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE	=	144.0	ABATEREA ESTE	=	0.237
TURATIA MAXIMA LA ULTIMUL PAS ESTE	=	150.0	ABATEREA ESTE	=	0.000

TIMPUL DE LAMINARE OPTIM = 3.17
 PEEDELELE DE ENERGIE SINT DE 0.312 KWH

FIG. 2.3.

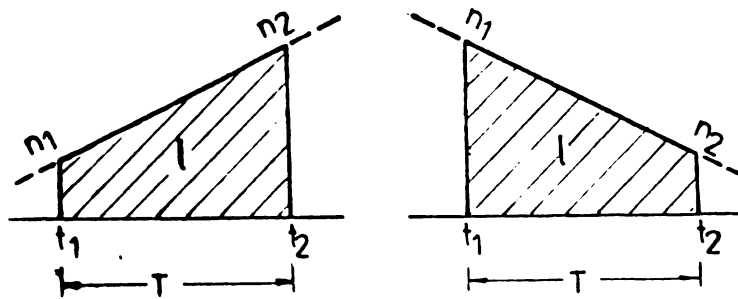


FIG 2.4. Limitarea parabolei optime.

$$T = t_2 - t_1 = \frac{2 \hat{n}}{\frac{m}{g}} \left(\sqrt{1 - \frac{n_2}{\hat{n}}} + \sqrt{1 - \frac{n_1}{\hat{n}}} \right) \quad (2.24)$$

unde s-a considerat $t_1 < 0$ și $t_2 > 0$.

Variația curentului la laminarea după tahograma optimă (în domeniul reglării tensiunii rotorice) este:

$$i = m + g \frac{dn}{dt}$$

Din (2.15) se calculează $\frac{dn}{dt}$ și în urma înlocuirii în relația de mai sus, se obține:

$$i = m - \frac{g}{2 \hat{n}} \cdot \frac{m^2}{g^2} \cdot t \quad (2.25)$$

Se observă din (2.25) că variația curentului este dată de o dreaptă căzătoare. Punctele caracteristice ale dreptei sînt cele corespunzătoare turației $n = 0$ și intersecției cu ordonata. În aceste puncte, curentul este $2m, 0, m$. Faptul devine mai evident dacă se utilizează relația $i = f(n)$. Dacă se introduce (2.19) în (2.25), se obține:

$$i = m \left(1 \mp \sqrt{1 - \frac{n}{\hat{n}}} \right) \quad (2.26)$$

Semnul din fața radicalului este pozitiv dacă în relația $n = f(t)$ se ia un punct din cadrantul IV și negativ dacă turația considerată se află în cadrantul I. Pentru $n = 0$ și $n = \hat{n}$ se obțin imediat cele trei valori $2m, 0, m$.

Energia pierdută în timpul de laminare T se obține din relația (2.10), luând în considerație curba $i = f(t)$:

$$q = \int_0^T i^2 dt = \int_{t_1}^{t_2} \left(m - \frac{g}{2\hat{n}} \cdot \frac{m^2}{g^2} \cdot t \right)^2 dt \quad (2.27)$$

Rezultatul integrării este:

$$\begin{aligned} \frac{q}{g^2} &= \frac{m^2}{g^2} (t_2 - t_1) - \frac{1}{2\hat{n}} \cdot \frac{m^3}{g^3} (t_2^2 - t_1^2) + \\ &+ \frac{1}{12\hat{n}^2} \cdot \frac{m^4}{g^4} (t_2^3 - t_1^3) \end{aligned} \quad (2.28)$$

Introducând notația \bar{t} , relația (2.19) devine:

$$t_{1,2} = \pm \frac{2\hat{n}}{\frac{m}{g}} \sqrt{1 - \frac{n_{1,2}}{\hat{n}}} = \pm \frac{2\hat{n}}{\frac{m}{g}} \cdot \bar{t}_{1,2} \quad (2.29)$$

Relația (2.28) se scrie deci:

$$\begin{aligned} \frac{q}{g^2} &= 2\hat{n} \cdot \frac{m}{g} \left[\bar{t}_2 - \bar{t}_1 - (\bar{t}_2^2 - \bar{t}_1^2) + \right. \\ &\left. + \frac{1}{3} (\bar{t}_2^3 - \bar{t}_1^3) \right] \end{aligned} \quad (2.30)$$

Pierderile de energie în rotor, în [KWh] vor fi:

$$\begin{aligned} Q = q \cdot V_n &= \frac{R_a \cdot I_n^2 \cdot \hat{n} \cdot m \cdot g}{1800 \cdot 10^3} \left[(\bar{t}_2 - \bar{t}_1) - \right. \\ &\left. - (\bar{t}_2^2 - \bar{t}_1^2) + \frac{1}{3} (\bar{t}_2^3 - \bar{t}_1^3) \right] \end{aligned} \quad (2.31)$$

Aceeași relație se mai poate scrie în funcție de tu-
rațiile n_1 și n_2 , dacă se înlocuiește:

$$\bar{t}_1 = -\sqrt{1 - \frac{n_1}{\hat{n}}} ; \quad \bar{t}_2 = \sqrt{1 - \frac{n_2}{\hat{n}}}$$

Dacă parabola optimă se transformă într-o dreaptă, pierderile de energie vor fi:

$$Q = \frac{i^2 \cdot I_n^2 \cdot R_a \cdot T}{3600 \cdot 10^3} \quad [\text{kWh}] \quad (2.32)$$

În figurile 2.5., 2.6., 2.7., s-au reprezentat grafic funcțiile $n = f(t)$, $i = f(t)$ și $i = f(n)$ pentru o lungime a laminatului $l = 229 [\text{sec. min.}^{-1}]$ și m/g variabil. Din figura 2.6. se observă că modificarea cuplului de laminare în raportul 1/15, produce o modificare în raport de 1/36 a pierderilor de energie și de 1/2 a timpului de laminare.

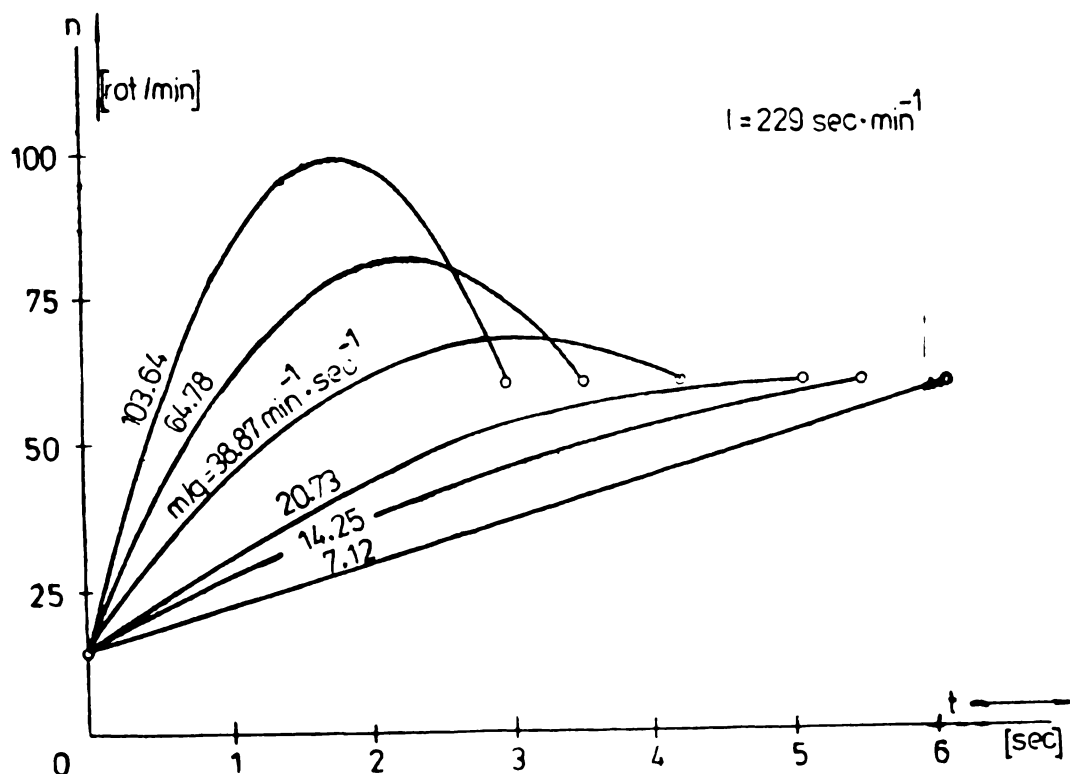


FIG 2.5. $n = f(t)$ pentru $\frac{m}{g}$ variabil

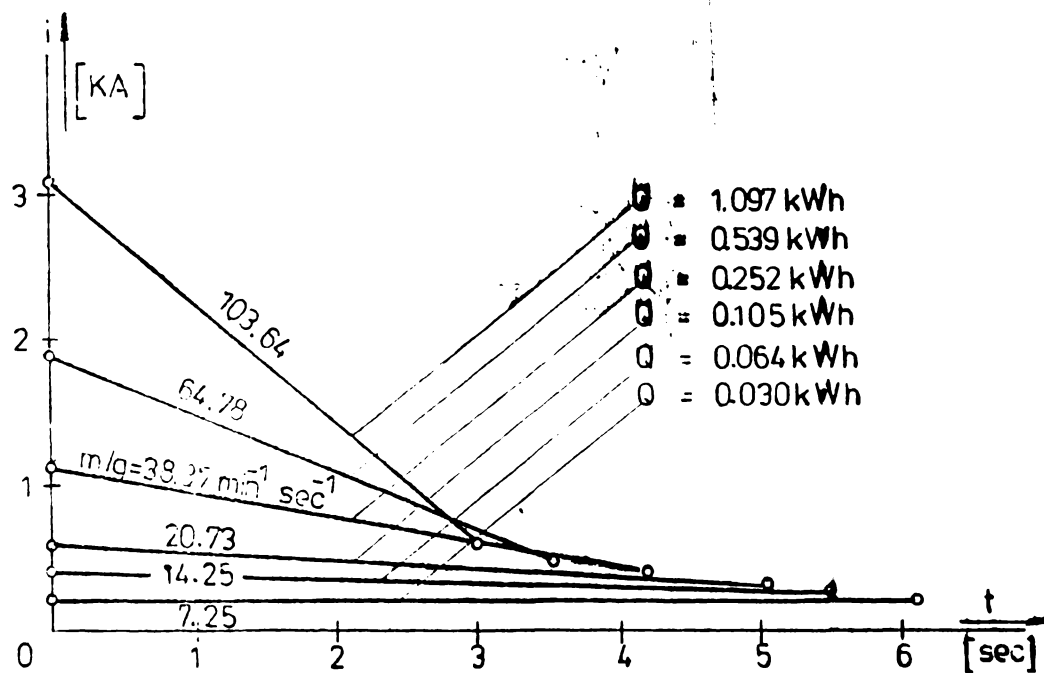


FIG 2.6. $i = f(t)$ pentru $\frac{m}{g}$ variabil

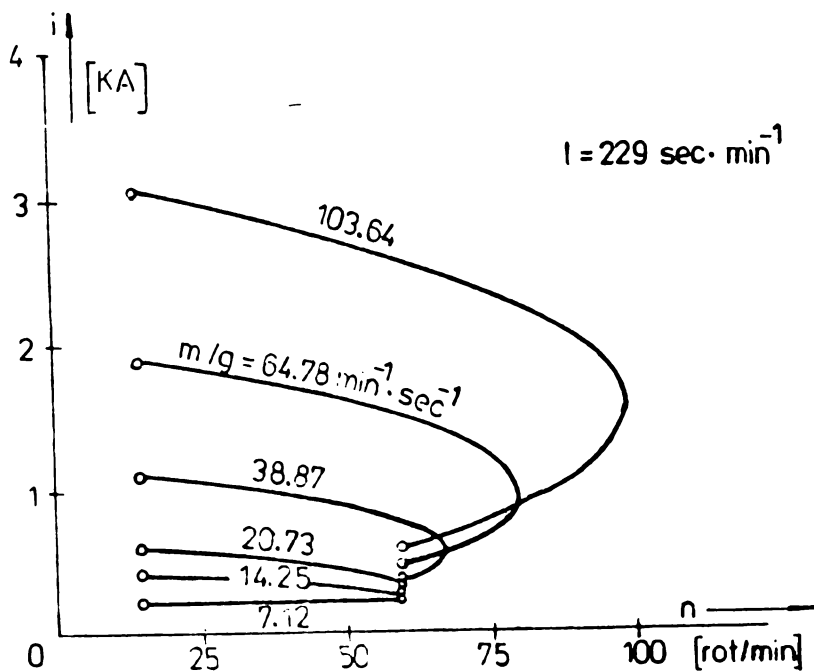


FIG 2.7. $i = f(n)$ pentru $\frac{m}{g}$ variabil

Curba $i = f(n)$ din figura 2.7. este foarte importantă pentru studiul unor limitări reale. Forma unei parabole optime, în aceste coordonate, este :

$$n = - \frac{\hat{n}}{m^2} \cdot i^2 + 2 \frac{\hat{n}}{m} \cdot i \quad (2.33)$$

Această parabolă intersectează axa i pentru $i = 0$ și $i = 2m$, iar maximum ei se află în punctul $i = m$ și $n = \hat{n}$. Si aici parabolele pot tinde spre drepte.

Cu ajutorul relației (2.22) s-a trasat figura 2.8. din care, pentru anumiți parametri $l, m/g, |n_1^2 - n_2^2|/2$, se poate determina dacă rezultă o parabolă cu maxim (punctele aflate deasupra dreptei $|n_1^2 - n_2^2|/2$).

Se observă că aspectul curbei curentului din figura 2.6. corespunde cu cea determinată experimental de W. Nürnberg și prezentată în Capitolul 1 (figurile 1.6., 1.7., 1.8.).

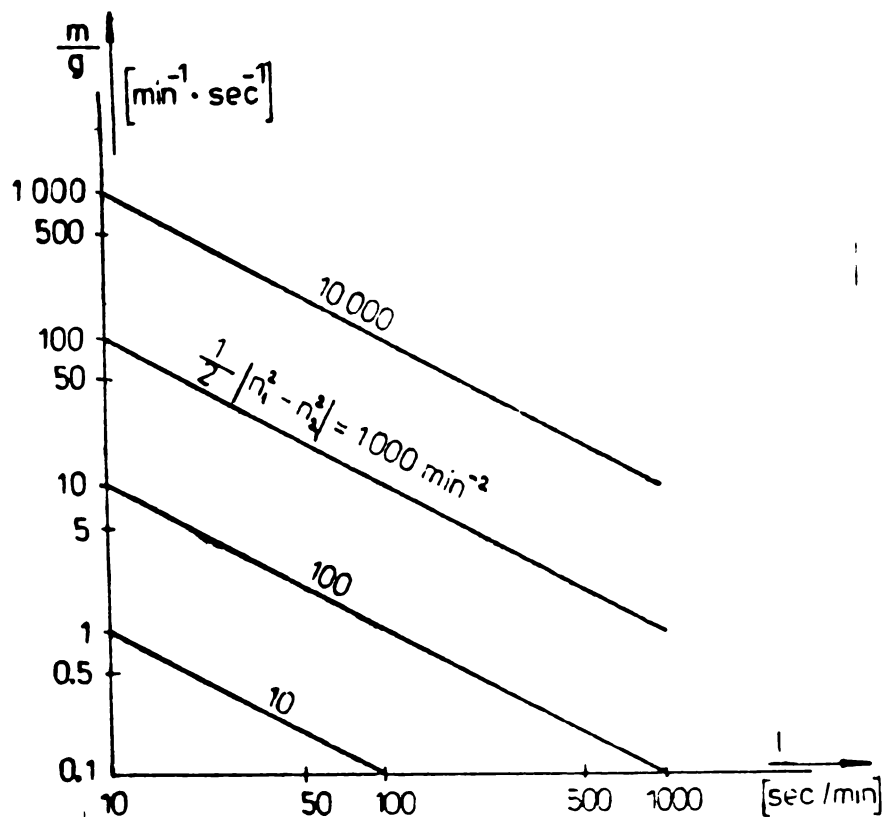


FIG 2.8. Determinarea...

2.4. Influența condițiilor reale asupra tahogramei optime

2.4.1. Diminuarea fluxului

În general, turația motoarelor principale se reglează pentru $-n_n \leq n \leq n_n$ prin modificarea tensiunii rotorice iar pentru $|n| > n_n$, prin diminuarea fluxului. Trecerea dintr-o zonă în alta se face la turația nominală. S-a arătat anterior că în domeniul reglării prin tensiune, se obține pentru funcția $i = f(t)$ o dreaptă căzătoare.

În domeniul slăbirii fluxului, se poate folosi relația lui M. Proske /20/ și H. Thon /16/ :

$$i = \frac{n}{n_n} \left(m + g \frac{dn}{dt} \right) \quad (2.34)$$

Utilizînd relația turației (2.15), se poate scrie ecuația curentului:

$$i = \frac{1}{n_n} \left(\hat{n} - \frac{1}{4 \hat{n}} \cdot \frac{m^2}{g^2} \cdot t^2 \right) \left(m - \frac{g}{2 \hat{n}} \cdot \frac{m^2}{g^2} \cdot t \right) \quad (2.35)$$

care este o ecuație de gradul trei în t . Extremele se obțin efectuînd derivata $di/dt = 0$, rezultînd:

<u>Maxim</u>	<u>Minim</u>	
$t_1 = -\frac{2}{3} \hat{n} \cdot \frac{g}{m}$	$t_2 = 2 \hat{n} \cdot \frac{g}{m}$	
$i_1 = \frac{32}{27} \cdot m \cdot \frac{\hat{n}}{n_n}$	$i_2 = 0$	(2.36)
$n_1 = \frac{8}{9} \cdot \hat{n}$	$n_2 = 0$	

Corespunzător relației (2.26) se poate elimina timpul t și rezultă funcția $i = f(n)$:

$$i = \frac{n}{n_n} \cdot m \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{n}{\hat{n}}} \right) \quad (2.37)$$

Semnul din fața radicalului se ia plus dacă punctul considerat este în cadranul II și minus în cadranul I.

În figurile 2.9. și 2.10. sînt prezentate curbele $i = f(n)$ și $i = f(t)$ pentru turația nominală n_n variabilă (trecerea de la reglajul prin tensiune, la cel prin flux).

În procesul de laminare se folosesc numai punctele din primul cadran din figura 2.9., (pentru $n > 0$ și $i > 0$), iar în figura 2.10. cele pentru $n > 0$ între $n = 0$ și $n = \hat{n}$.

Figurile 2.11. și 2.12. au prezentat curbele curen-
tului pentru turația inițială $n_1 = 15$ [rot./min.] și cea fi-
nală $n_2 = 30$ [rot./min.] , dacă în timpul laminării se produce
și o diminuare de flux.

Pierderile de energie Q în domeniul reglării prin
slăbire de flux, ținînd cont de (2.35), se pot calcula astfel:

$$\begin{aligned} \frac{Q}{g^2} &= \int_{t_1}^{t_2} \frac{i^2}{g^2} dt = \int_{t_1}^{t_2} \frac{\hat{n}^2}{n_n^2} \cdot \frac{m^2}{g^2} \left(1 - \frac{1}{\hat{n}} \cdot \frac{m}{g} \cdot t + \right. \\ &+ \left. \frac{1}{4\hat{n}^2} \cdot \frac{m^2}{g^2} \cdot t^2 \right) \left(1 - \frac{1}{2\hat{n}^2} \cdot \frac{m^2}{g^2} \cdot t^2 + \right. \\ &+ \left. \frac{m^4}{16 \cdot \hat{n}^4 \cdot g^4} \cdot t^4 \right) dt \quad (2.38) \end{aligned}$$

După integrare rezultă:

$$\begin{aligned} \frac{Q}{g^2} &= \frac{\hat{n}^2}{n_n^2} \cdot \frac{m^2}{g^2} \left[t_2 - t_1 - \frac{1}{2\hat{n}} \cdot \frac{m}{g} (t_2^2 - t_1^2) - \right. \\ &- \frac{1}{12\hat{n}^2} \cdot \frac{m^2}{g^2} (t_2^3 - t_1^3) + \frac{1}{8\hat{n}^3} \cdot \frac{m^3}{g^3} (t_2^4 - t_1^4) - \\ &- \frac{1}{80\hat{n}^4} \cdot \frac{m^4}{g^4} (t_2^5 - t_1^5) - \frac{1}{96\hat{n}^5} \cdot \frac{m^5}{g^5} (t_2^6 - \end{aligned}$$

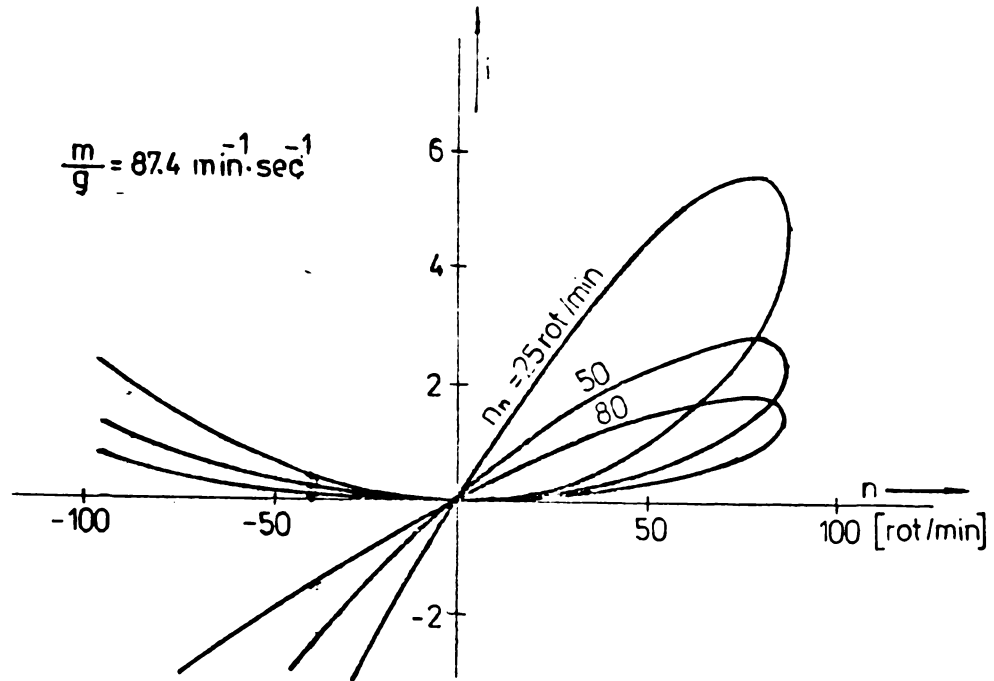


FIG 2.9. $i = f(n)$ pentru diferite limite de scădere a cîmpului (n_n)

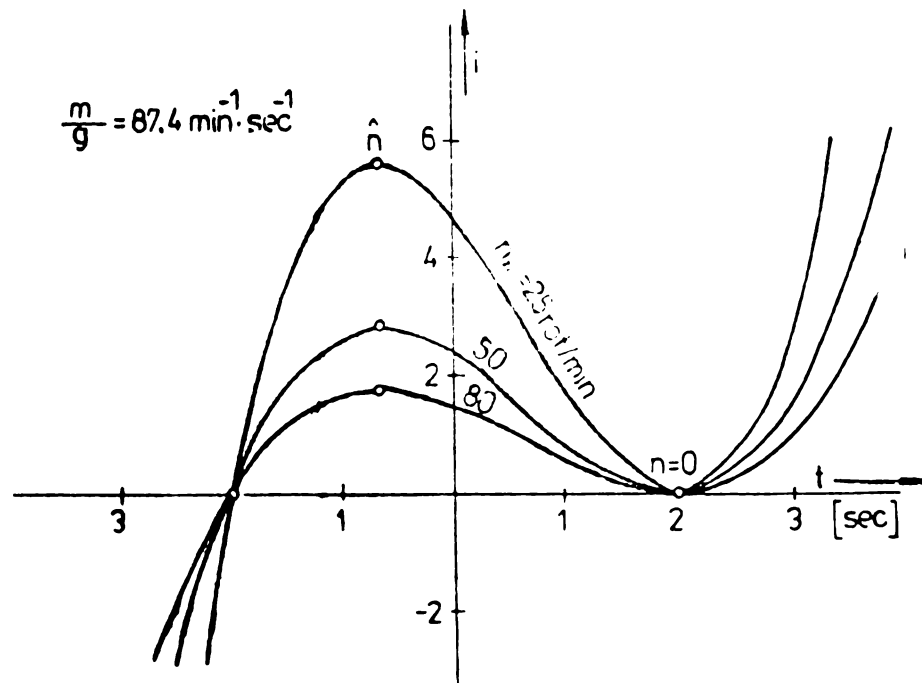


FIG 2.10. $i = f(n)$ pentru diferite limite de scădere a cîmpului (n_n)

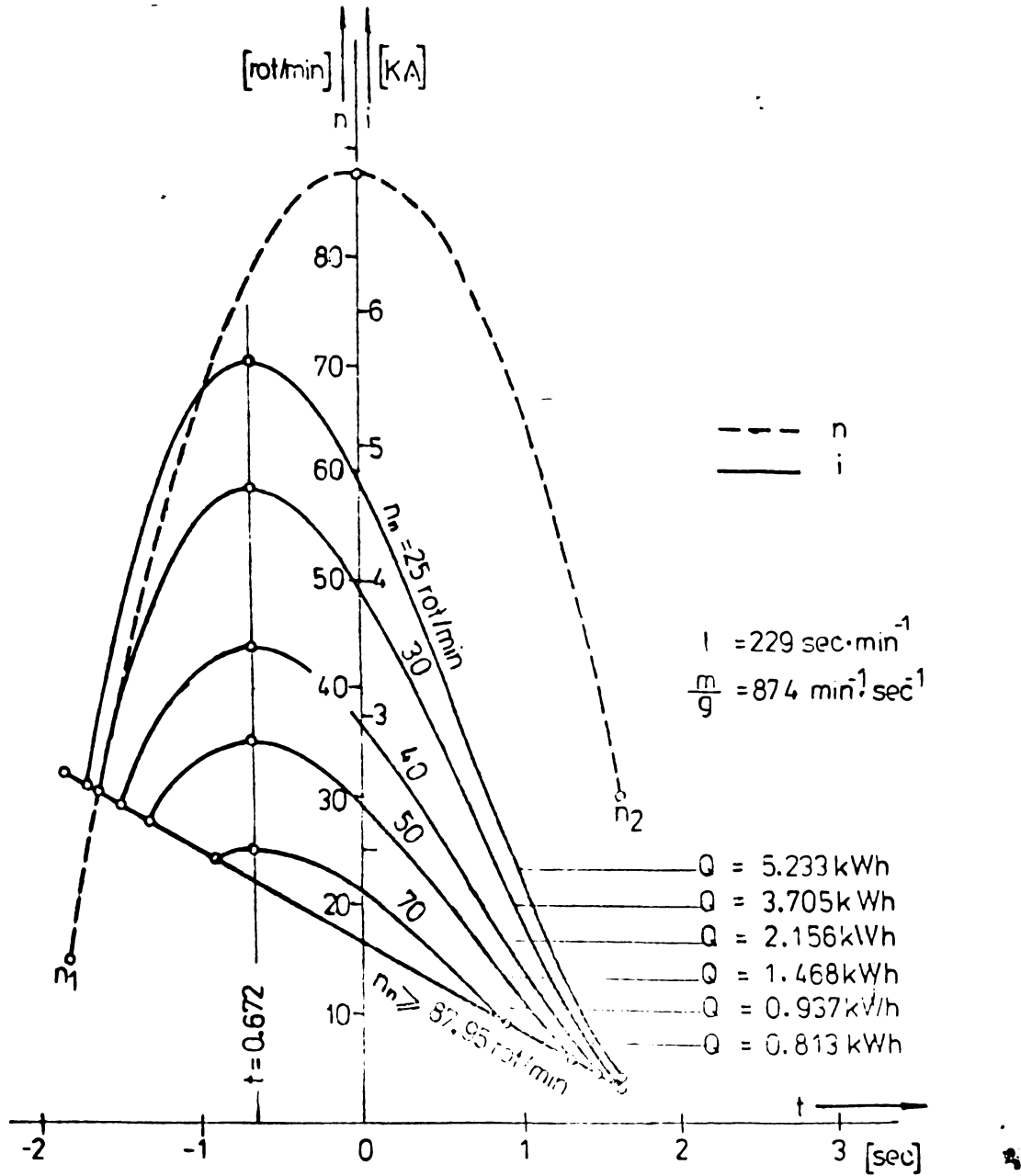


FIG 2.11. Curba curentului pentru tahogramă parabolică și slăbire a cîmpului variabilă

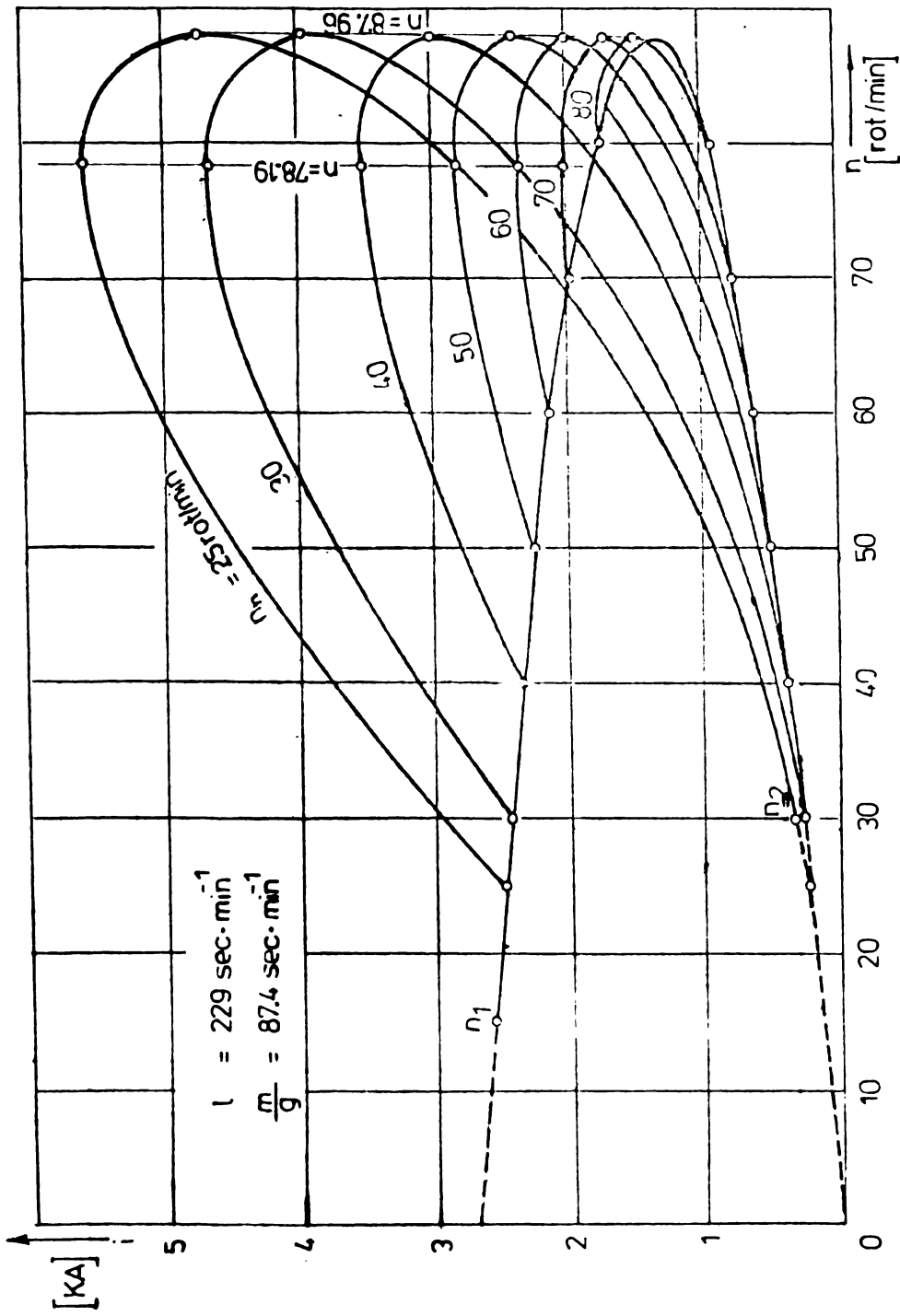


FIG 2.12. Curba curentului pentru tahogramă parabolică și slăbire a cîmpului variabilă

$$- t_1^6) + \frac{1}{448 \hat{n}^6} \cdot \frac{m^6}{g^6} (t_2^7 - t_1^7)] \quad (2.39)$$

Înlocuind timpul \bar{t} (definit în relația (2.29)), relația (2.39) devine:

$$\begin{aligned} \frac{q}{g^2} = & 2 \hat{n} \cdot \frac{\hat{n}^2}{n_n^2} \cdot \frac{m}{g} \left[\bar{t}_2 - \bar{t}_1 - (t_2^{-2} - t_1^{-2}) - \right. \\ & - \frac{1}{3} (t_2^{-3} - t_1^{-3}) + (t_2^{-4} - t_1^{-4}) - \frac{1}{5} (t_2^{-5} - t_1^{-5}) - \\ & \left. - \frac{1}{3} (t_2^{-6} - t_1^{-6}) + \frac{1}{7} (t_2^{-7} - t_1^{-7}) \right] \quad (2.40) \end{aligned}$$

$$Q = V_n \cdot q$$

Dacă se consideră că trecerea de la reglajul prin tensiune la cel prin flux și invers se face la turația nominală, relația (2.40) devine:

$$\begin{aligned} \frac{q}{g^2} = & 2 \hat{n} \cdot \frac{\hat{n}^2}{n_n^2} \cdot \frac{m}{g} \left[2 \sqrt{1 - \frac{n_n}{\hat{n}}} - \frac{2}{3} \sqrt{\left(1 - \frac{n_n}{\hat{n}}\right)^3} - \right. \\ & \left. - \frac{2}{5} \sqrt{\left(1 - \frac{n_n}{\hat{n}}\right)^5} + \frac{2}{7} \sqrt{\left(1 - \frac{n_n}{\hat{n}}\right)^7} \right] \end{aligned}$$

deoarece

$$\bar{t}_1 = -\sqrt{1 - \frac{n_n}{\hat{n}}} \quad \text{și} \quad \bar{t}_2 = \sqrt{1 - \frac{n_n}{\hat{n}}}$$

În figura 2.11. sînt date pierderile totale (pentru ambele domenii de reglaj - tensiune, flux), în funcție de turația nominală. Se poate observa creșterea pierderilor (deoarece $M = ct.$), prin introducerea slăbirii de cîmp la turații prea mici. Astfel, de la $n_n = 50$ [rot./min.] la $n_n' = 30$ [rot./min.], pierderile cresc mai mult decît dublu (înaînte 1,468 [KWh], după 3,705 [KWh]). Această încălzire suplimentară

scurtează viața mașinii și conduce la pauze mai mari între treceri, pentru răcirea mașinii.

Ca și în cazul reglării turației prin modificarea tensiunii rotorice și la reglarea prin diminuarea fluxului curba dedusă a curentului corespunde cu cea determinată practic de W. Nürnberg și prezentată în Capitolul 1.

Valoarea timpului de laminare nu este influențată de introducerea reglajului de turație prin diminuarea fluxului.

Desigură că, pentru o mașină dată, turația nominală n_n este constantă. Aici ea s-a considerat modificabilă pentru a studia influența ei asupra performanțelor laminării, concluziile fiind utile în special la alegerea motoarelor acționării principale.

2.4.2. Limitarea turației

Turația limită n_l a unei acționări principale nu poate fi mult depășită din diverse motive (considerente tehnologice sau referitoare la motoarele de acționare).

Principiul pe baza căruia se ține cont de limitarea de turație este prezentat în figura 2.13. Dacă limitarea apare

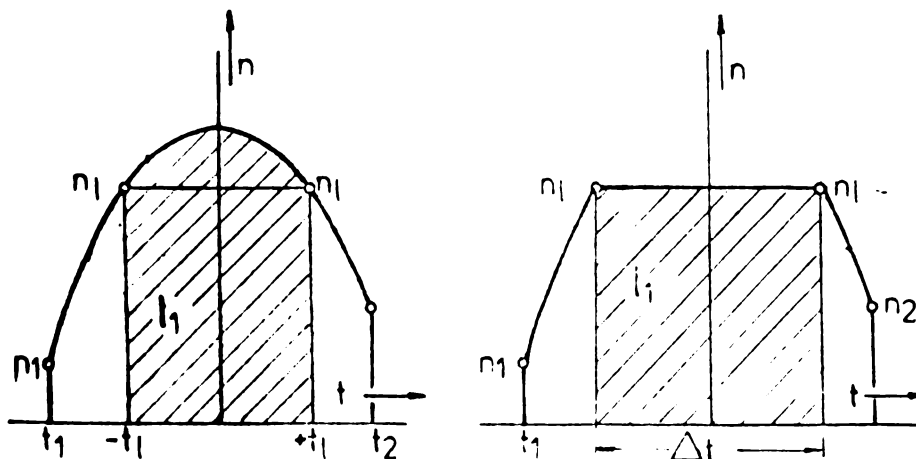


FIG 2.13. Limitarea turației

pe parabola optimă, atunci se calculează toate datele parabolei, după care se introduce n_1 și se deduce suprafața parțială l_1 . Această suprafață trebuie introdusă într-un dreptunghi cu înălțimea n_1 și lățimea Δt , corespunzătoare ariei cuprinse între $-t_1$ și $+t_1$ și parabola nelimitată (egalitatea suprafețelor hașurate). În acest fel, lungimea produsului laminat l se menține egală cu cea reală.

Lungimea l_1 este:

$$l_1 = 2 \int_0^{t_1} \left(\hat{n} - \frac{1}{4 \hat{n}} \cdot \frac{m^2}{g^2} \cdot t^2 \right) dt \quad (2.41)$$

După integrare și înlocuirea lui t_1 se obține:

$$l_1 = 4 \hat{n}^2 \cdot \frac{g}{m} \left[\sqrt{1 - \frac{n_1}{\hat{n}}} - \frac{1}{3} \sqrt{\left(1 - \frac{n_1}{\hat{n}}\right)^3} \right] \quad (2.42)$$

Timpul total de laminare va fi:

$$\begin{aligned} T = t_2 - t_1 - 2 |t_1| + \Delta t = & \frac{2 \hat{n}}{g} \left\{ \left[\sqrt{1 - \frac{n_2}{\hat{n}}} + \right. \right. \\ & + \sqrt{1 - \frac{n_1}{\hat{n}}} - 2 \sqrt{1 - \frac{n_1}{\hat{n}}} \left. \right] + \frac{2 \hat{n}}{n_1} \left[\sqrt{1 - \frac{n_1}{\hat{n}}} - \right. \\ & \left. \left. - \frac{1}{3} \sqrt{\left(1 - \frac{n_1}{\hat{n}}\right)^3} \right] \right\} \quad (2.43) \end{aligned}$$

Pierderile de energie la laminarea cu turație constantă depind de faptul dacă $n_1 < n_n$ sau $n_1 > n_n$.

Cazul 1: pierderile în domeniul reglării prin tensiune, la turație constantă.

Curentul total în acest domeniu este

$$i = m + g \frac{dn}{dt}$$

În zona limitării $i = m$, deci se va putea scrie:

$$q = \int_{t_1}^{t_2} i^2 dt = m^2 \cdot t \Big|_{t_1}^{t_2} \quad (2.44)$$

Pentru cazul laminării între $-\Delta t/2$ și $+\Delta t/2$ rezultă:

$$\begin{aligned} \frac{q}{g^2} &= \frac{m^2}{g^2} \cdot \Delta t = 4 \cdot \frac{m}{g} \cdot \frac{\hat{n}^2}{n_1} \left[\sqrt{1 - \frac{n_1}{\hat{n}}} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{3} \sqrt{\left(1 - \frac{n_1}{\hat{n}}\right)^3} \right] \end{aligned} \quad (2.45)$$

iar $Q = V_n \cdot q$

Cazul 2: pierderile în domeniul diminuării fluxului, la turație constantă.

Ca și în cazul precedent și aici dispăre curenul de accelerare, deci:

$$i = m \cdot n_1/n_n \quad (2.46)$$

Pentru q rezultă:

$$q = \int_{t_1}^{t_2} i^2 \cdot dt = m^2 \cdot \frac{n_1^2}{n_n^2} \cdot \Delta t \quad (2.47)$$

$$\begin{aligned} \frac{q}{g^2} &= 4 \cdot \frac{m}{g} \frac{\hat{n}^2}{n_1} \cdot \frac{n_1^2}{n_n^2} \left[\sqrt{1 - \frac{n_1}{\hat{n}}} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{3} \sqrt{\left(1 - \frac{n_1}{\hat{n}}\right)^3} \right] \end{aligned} \quad (2.48)$$

$$Q = q \cdot V_n$$

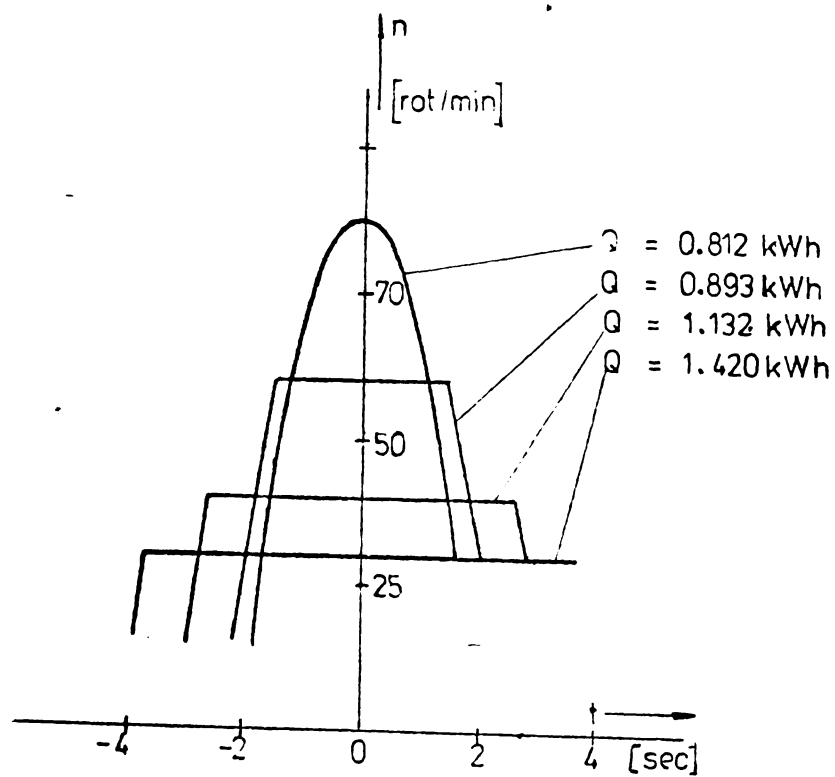


FIG 2.14. Influenta limitării de turație asupra curbei $n = f(t)$

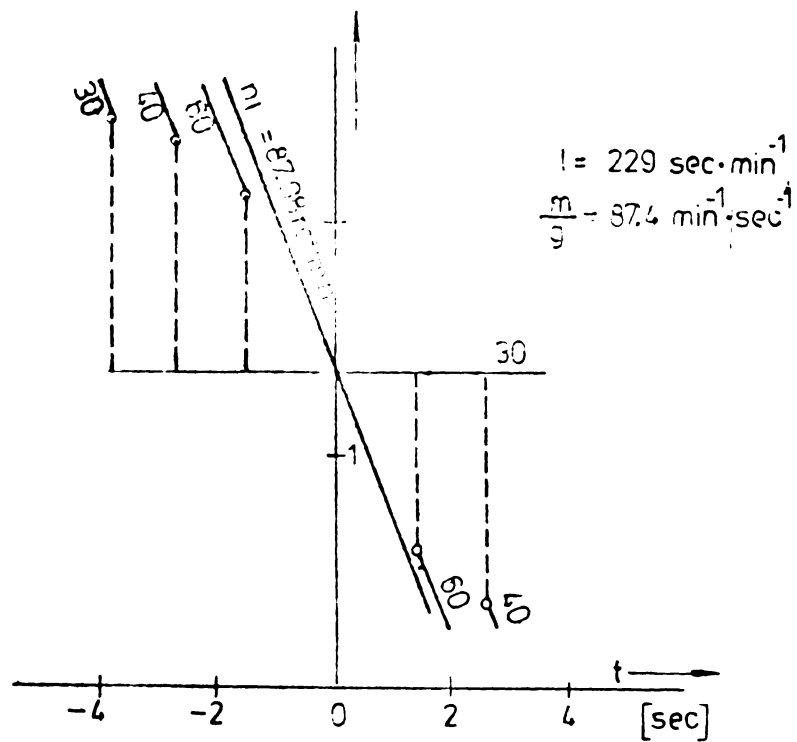


FIG2.15. Influenta limitării de turație asupra curbei $i = f(t)$

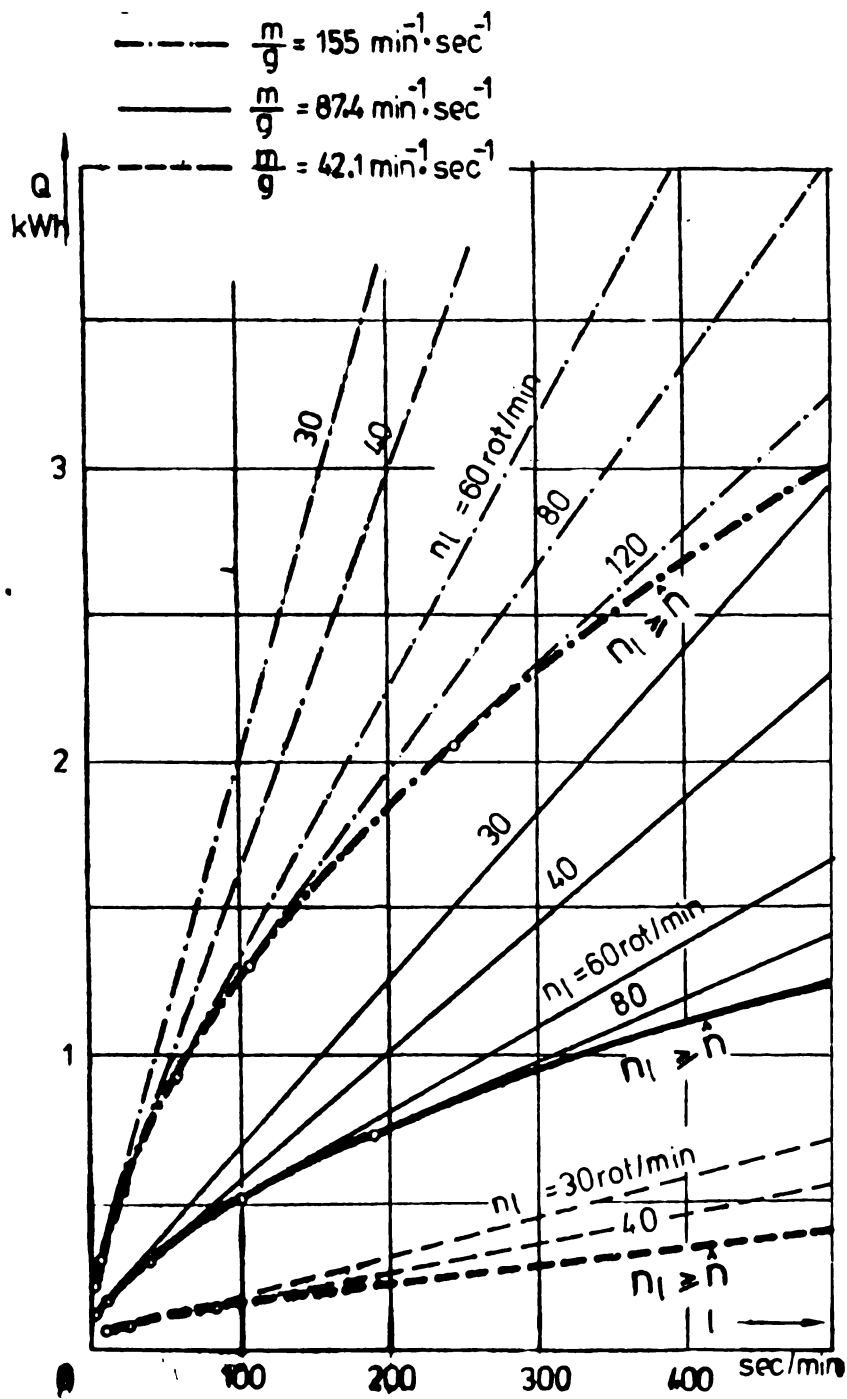


FIG2.18.0 In functie de lungimea laminatului pentru n_1 variabil.

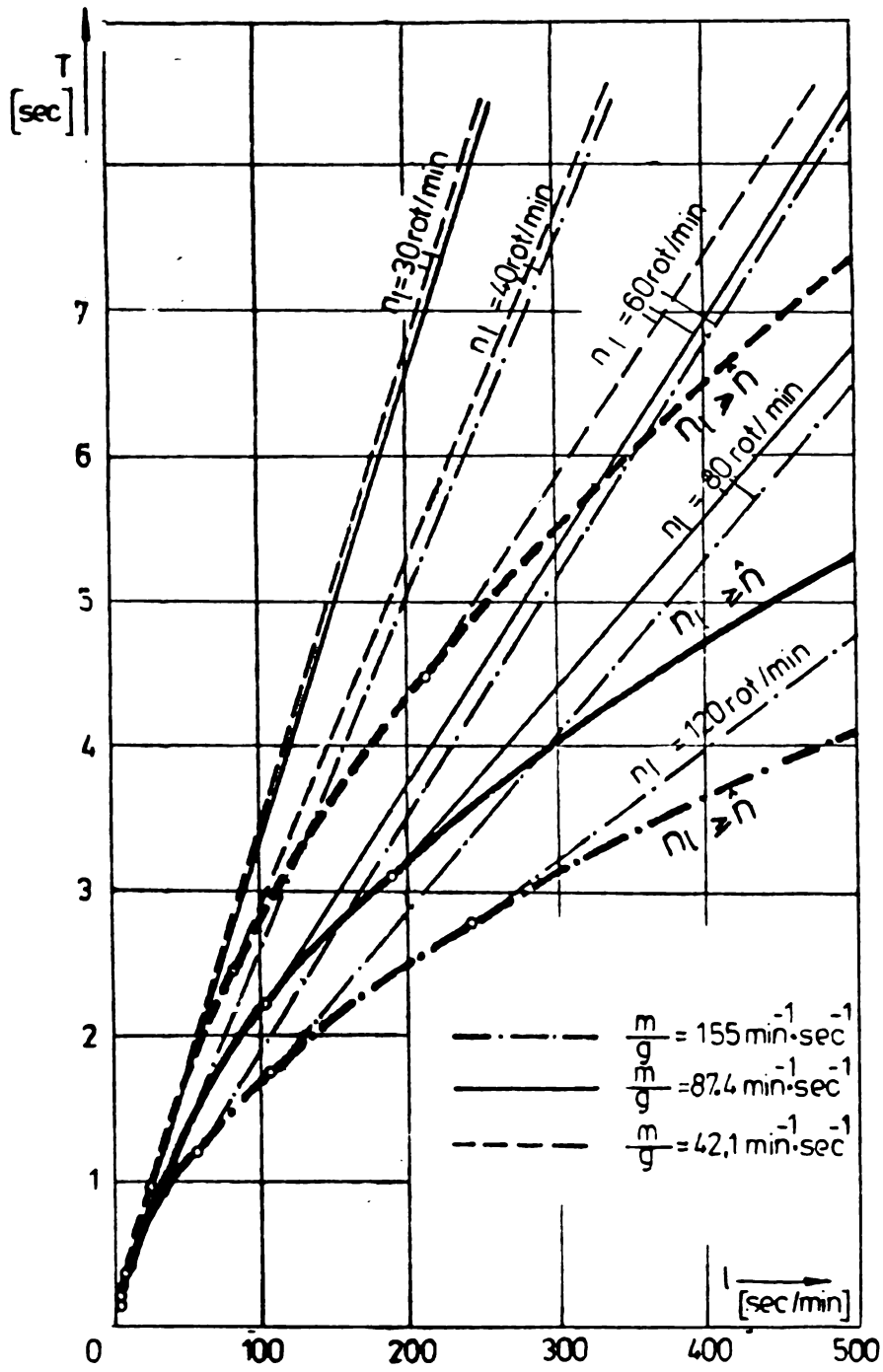


FIG 2.17. Timpul de laminare în funcție de lungimea laminatului, la $n_1 = \text{variabil}$

Figurile 2.14. și 2.15. prezintă influența unei modificări a limitei de turație în domeniul reglării prin tensiune rotorică. Dacă se alege cazul extrem $n_1 = 30$ [rot./min.], timpul de laminare crește de la $T = 3,47$ [s] în cazul fără limitare, la $T = 7,68$ [s] în cazul limitării, respectiv pierderile de la $Q = 0,812$ [KWh] la $Q = 1,420$ [KWh].

În figura 2.14 sînt prezentate dreptele curentului pentru diferite valori n_1 . Orizontala corespunde curentului $i_L = m$.

Influența diferitelor valori ale raportului m/g asupra timpului de laminare și a pierderilor de energie, la diferite turații limită, este prezentată în figurile 2.16 și 2.17. (pentru lungimi ale laminatului pînă la $l = 500$ sec.min.⁻¹) Liniile îngroșate se referă la parabolele optime (nelimitate).

2.4.3. Limitarea dn/dt

Această limitare se întîlnește atunci cînd instalația de automatizare convențională conține un regulator de accelerație (caz foarte frecvent). În această situație, variația turației nu poate depăși o anumită valoare "s" sau $(dn/dt)_{max}$.

Pe tahogramă, limitarea dn/dt face ca parabola optimă să se transforme într-o dreaptă, începînd din punctul de prindere n_1, t_1 , pînă în punctul (n_p, t_p) , unde limitarea încetează (figura 2.18.).

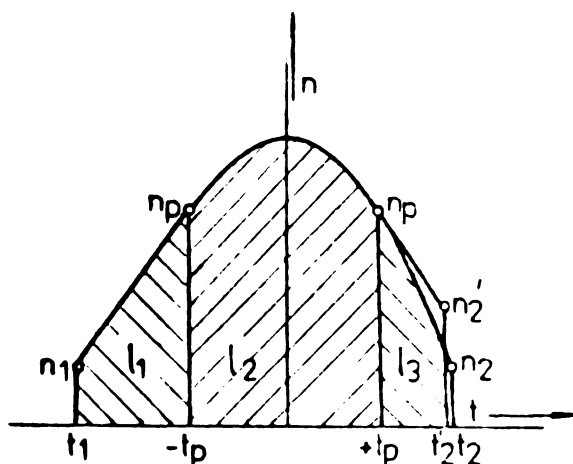


FIG 2.18. Limitarea dn/dt la dreapta și la stînga

Limitarea dn/dt poate apărea la laminarea după parabola optimă în două cazuri:

$$1. \frac{d}{dt} (n_1) > |s|$$

$$2. - \frac{d}{dt} (n_2) > |s|$$

În cazul (2), turația trece, în punctul (t_p, n_p) , de pe parabola optimă pe o dreaptă, pînă în punctul de evacuare n_2', t_2' .

Suprafața cuprinsă între tangentele la parabola optimă, parabola propriu-zisă și abscisă, trebuie să fie egală cu lungimea laminatului. Tangenta la parabola optimă are ecuația /26/:

$$n(t) - n_p = \frac{dn_p}{dt_p} (t - t_p) \quad (2.49)$$

cum din (2.11):

$$\frac{dn_p}{dt_p} = -2b t_p \quad (2.50)$$

rezultă ecuația tangentei:

$$n(t) = n_p + 2b \cdot t_p^2 - 2b \cdot t_p \cdot t \quad (2.51)$$

sau, utilizînd limita de accelerație "s":

$$n(t) = n_p - t_p \cdot s \pm s \cdot t \quad (2.52)$$

Semnul plus corespunde tangentei din stînga, iar minus tangentei din dreapta.

$$s = -2 \cdot b \cdot t_p \quad (2.53)$$

Punctul t_p fiind cel în care dreapta este tangentă la parabolă, rezultă:

$$t_p = - \frac{2n \cdot s}{\frac{m}{g}} \quad (2.54)$$

Turația corespunzătoare se obține din ecuația parabolii:

$$n_p = \hat{n} \left(1 - \frac{s^2}{\frac{m^2}{g^2}} \right) \quad (2.55)$$

Dacă se introduce n_p și t_p în ecuația tangentei, se obține :

$$n(t) = \hat{n} \left(1 + \frac{s^2}{\frac{m^2}{g^2}} \right) \pm s \cdot t \quad (2.56)$$

Pentru determinarea lungimilor l_1, l_2, l_3 (figura 2.18.), trebuie rezolvate următoarele integrale

$$l_1 = \int_{t_1}^{-tp_1} \left[\hat{n} \left(1 + \frac{s^2}{\frac{m^2}{g^2}} \right) + s \cdot t \right] dt$$

$$l_2 = \int_{tp_1}^{tp_2} (\hat{n} - b \cdot t^2) dt \quad (2.57)$$

$$l_3 = \int_{tp_2}^{t_2} \left[\hat{n} \left(1 + \frac{s^2}{\frac{m^2}{g^2}} \right) - s \cdot t \right] dt$$

S-au introdus timpii $t_{p2}, -t_{p1}$ deoarece pot exista procese de laminare la care trecem a de la dreaptă la parabolă și invers, poate avea loc la unii $t_{p1} \neq t_{p2}$.

Soluțiile integralelor (2.57) sînt:

$$l_1 = \hat{n} \left(1 + \frac{s^2}{\frac{m^2}{g^2}} \right) (-tp_1 - t_1) + \frac{s}{2} (tp_1^2 - t_1^2)$$

$$l_2 = \hat{n}(tp_2 + tp_1) - \frac{1}{12\hat{n}} \cdot \frac{m^2}{g^2} (t_{p2}^3 + t_{p1}^3) \quad (2.58)$$

$$l_3 = \hat{n} \left(1 + \frac{s^2}{\frac{m^2}{g^2}} \right) (t_2 - t_{p2}) - \frac{s}{2} (t_2^2 - t_{p2}^2)$$

Determinarea turației de vîrf \hat{n} , luînd în considerație o limitare dn/dt , se face pe baza unei iterații (ca în paragraful 2.3.). În primă aproximație, se calculează parabola neluînd în considerare limitarea de accelerație. Se obțin astfel accelerările maxime în punctele de început și de sfîrșit ale parabolei și se compară acestea cu valoarea admisibilă "s". Dacă va exista o limitare dn/dt în stînga, iterația se va calcula cu relația:

$$a = 1 - (l_1 + l_2') \quad (2.59)$$

unde l_2' este lungimea produsului laminat pe parabola optimă între $(-t_{p1})$ și (t_2) . Aceasta deoarece prin iterația (2.59) recalculîndu-se parabola optimă, nu se poate ști, pentru noua situație, dacă va mai avea loc sau nu o limitare dn/dt în dreapta.

Notînd cu s_1 accelerația limită în stînga și cu s_2 accelerația limită în dreapta și țînînd cont că $t_1 < 0$, se poate scrie:

$$l_1 + l_2 = \hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_1^2}{\frac{m^2}{g^2}} \right) \left[- \frac{2 \hat{n}_2 \cdot s_1}{\frac{m^2}{g^2}} + \frac{\hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_1^2}{\frac{m^2}{g^2}} \right) - n_1}{s_1} \right] +$$

$$+ \frac{s_1}{2} \left\{ \frac{4 \hat{n}_2^2 \cdot s_1^2}{\frac{m^4}{g^4}} - \frac{\left[\hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_1^2}{\frac{m^2}{g^2}} \right) - n_1 \right]^2}{s_1^2} \right\} +$$

$$+ \hat{n}_2 \left(\frac{2\hat{n}_2}{g} \sqrt{1 - \frac{n_2}{\hat{n}_2} + \frac{2\hat{n}_2 \cdot s_1}{\frac{m^2}{g^2}}} - \frac{2 \hat{n}_2^2}{3 \cdot \frac{m}{g}} \left[\sqrt{\left(1 - \frac{n_2}{\hat{n}_2} \right)^3 +} \right. \right.$$

$$\left. \left. + \frac{s_1^3}{\frac{m^3}{g^3}} \right] \right)$$

Această relație s-a obținut din (2.58), prin înlocuirea timpului t_{p1} cu expresia (2.54), a timpului t_{p2} cu t_2 , iar t_1 s-a determinat prin particularizarea ecuației tangentei din stînga la parabola optimă (2.56), pentru turația $n = n_1$. Prin n'_2 s-a notat valoarea maximă a noii parabole optime, ce urmează a fi calculată cu iterația (2.59).

După recalcularea parabolei optime, se compară accelerația finală cu valoarea admisibilă s_2 . Dacă $(dn/dt)_{n_2} > s_2$, va exista și o limitare în dreapta și se va determina, din ecuația parabolei noi, punctul de contact al tangentei ($n_{p2} \cdot t_{p2}$) cu parabola. Limitarea din dreapta nu impune recalcularea parabolei optime, dar, din condiția ca suprafața de sub curba turației să fie egală cu lungimea reală a laminatului, rezultă că acesta va fi evacuat dintre cilindri la o turație $n'_2 > n_2$ și la un timp $t'_2 < t_2$ (figura 2.18.).

Suprafața de sub tangenta din dreapta la parabola optimă se calculează ca o suprafață trapezoidală, panta laterii neperalele fiind s_2 . Tangenta din dreapta la parabolă în punctul (t_{p2}, n_{p2}) are ecuația:

$$n(t) = (n_{p2} + s \cdot t_{p2}) - s \cdot t \quad (2.60)$$

Suprafața de sub parabola optimă, între timpii t_{p2} și t_2 este:

$$l'_3 = n'_2(t_2 - t_{p2}) - \frac{1}{2n'_2} \cdot \frac{n_2^2}{s^2} (t_2^3 - t_{p2}^3) \quad (2.61)$$

Suprafața trapezului menționat este:

$$l_3 = \frac{1}{2} (n_{p2} + n'_2) (t'_2 - t_{p2}) \quad (2.62)$$

unde n'_2 și t'_2 sînt noile valori ale turației și timpului la care va fi evacuat laminatul.

Una dintre cele două necunoscute (n'_2 și t'_2) poate fi eliminată prin înlocuirea în relația (2.61) a relației (2.60) particularizate pentru timpul t'_2 .

Din condiția $l'_3 = l_3$, se obține o ecuație de gradul doi în t'_2 :

$$t'^2_2 - \frac{2}{s_2} (n_{p2} + s_2 \cdot t_{p2}) \cdot t'_2 + \frac{2}{s_2} \left[(n_{p2} \cdot t_{p2} + \frac{s_2}{2} \cdot t^2_{p2}) + l'_3 \right] = 0 \quad (2.63)$$

cu soluția acceptabilă:

$$t'_2 = \frac{1}{s_2} (n_{p2} + s_2 \cdot t_{p2}) - \sqrt{\frac{(n_{p2} - s_2 t_{p2})^2}{s_2^2} - \left[t_{p2} \left(\frac{2n_{p2}}{s_2} + t_{p2} \right) + \frac{2}{s_2} \cdot l'_3 \right]} \quad (2.64)$$

Se observă că $t'_2 < \frac{1}{s_2} (n_{p2} + s_2 t_{p2})$, ceea ce înseamnă că t'_2 trebuie să fie în stînga punctului de intersecție a tangentei cu axa timpului.

Turația de evacuare a laminatului va fi:

$$n'_2 = (n_{p2} + s_2 \cdot t_{p2}) - s_2 \cdot t'_2 \quad (2.65)$$

Timpul total de laminare se poate calcula astfel

a). Limitare dn/dt numai în stînga ($n_{p1} > n_1$; $n_{p2} < n_2$):

$$T = \frac{\hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_1^2}{m^2/g^2} \right)^{-n_1}}{s_1} + \frac{2\hat{n}_2}{\frac{m}{g}} \sqrt{1 - \frac{n_2}{\hat{n}_2}} \quad (2.66)$$

Aici s-a considerat că laminarea începe pe tangenta din stînga la parabolă și se termină pe parabola optimă.

b). Limitare numai la dreapta ($n_1 > n_{p1}$; $n_2 < n_{p2}$):

$$T = \frac{2\hat{n}_1}{\frac{m}{g}} \sqrt{1 - \frac{n_1}{\hat{n}_1}} + t'_2 \quad (2.67)$$

În această situație, parabola optimă nu s-a recalculat, iar \hat{n}_1 este valoarea de vîrf a parabolei inițiale.

c). Limitare la dreapta și la stînga ($n_{p1} > n_1$; $n_{p2} > n_2$) :

$$T = \frac{\hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_1^2}{\frac{m}{g}}\right) - n_1}{s_1} + t'_2 \quad (2.68)$$

În relația (2.68), timpul de început al laminării, precum și cel de sfîrșit, s-au considerat pe tangentele la noua parabolă optimă, recalculată prin iterația (2.59).

Lungimea l'_3 se determină din relația (2.61), prin înlocuirea timpilor t_2 și t_{p2} , obținîndu-se:

$$l'_3 = \frac{4 \hat{n}_2^2}{s_2 \cdot \frac{m}{g}} \left[\sqrt{1 - \frac{n_2}{\hat{n}_2} - \frac{s_2}{\frac{m}{g}}} \right] - \frac{2 \cdot \hat{n}_2^2}{3 \cdot \frac{m}{g}} \left[\sqrt{\left(1 - \frac{n_2}{\hat{n}_2}\right)^3 - \frac{s_2^3}{\frac{m}{g}}} \right] \quad (2.69)$$

Pentru determinarea pierderilor de energie Q , este necesar să se examineze dacă limitarea dn/dt va acționa în domeniul reglării turației prin tensiune, prin flux, sau în ambele domenii.

Curentul total în domeniul reglării turației prin modificarea tensiunii rotorice este:

$$i = m \pm g \cdot s \quad (2.70)$$

Semnul pozitiv este pentru cazul cînd acționarea accelerează și negativ în cazul frînării. Se poate scrie deci:

$$\frac{q}{g^2} = \left(\frac{m}{g} \pm s\right)^2 \cdot \Delta t \quad (2.71)$$

Dacă limitarea de accelerație se află în domeniul slăbirii câmpului magnetic, curentul rotoric are expresia:

$$i = \frac{n}{n_n} (m + g \cdot s) \quad (2.72)$$

În această expresie, pentru $n(t)$ trebuie introdusă expresia tangentei din dreapta sau din stînga la parabolă.

Ca și în cazul timpului de laminare, există următoarele situații pentru calculul pierderilor de energie:

A). Limitare în stînga (la accelerare)

a). reglare prin tensiune rotorică

- dacă $n_{pl} \leq n_n$, deci tot timpul cît durează limitarea, reglarea se face prin tensiune:

$$\begin{aligned} \frac{q}{g^2} &= \left(\frac{m}{g} + s_1\right)^2 (t_{pl} - t_1) = \\ &= \left(\frac{m}{g} + s_1\right)^2 \left[\frac{\hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_1^2}{m^2/g^2}\right) - n_1}{s_1} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{2 \hat{n}_2 s_1}{\frac{m^2}{g^2}} \right] \quad (2.73) \end{aligned}$$

$$Q = q \cdot V_n$$

- dacă $n_{pl} > n_n > n_1$, timpul t_{pl} din relația (2.73) se înlocuiește cu timpul t_n , necesar atingerii turației nominale pe limitarea de accelerație, urmînd ca în continuare (de la t_n la t_{pl}), pierderile să se calculeze cu relația de la reglajul prin flux:

$$t_n = \frac{\hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_1^2}{m^2/g^2}\right) - n_n}{s_1} \quad (2.74)$$

deci

$$\frac{q}{g^2} = \left(\frac{m}{g} + s_1\right)^2 \left[\frac{\hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_1^2}{m^2/g^2}\right) - n_1}{s_1} - \frac{\hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_1^2}{m^2/g^2}\right) - n_n}{s_1} \right]$$

sau

$$\frac{q}{g^2} = \left(\frac{m}{g} + s_1\right)^2 (n_n - n_1) \tag{2.75}$$

$$Q = q \cdot V_n$$

b). reglare prin diminuare de flux

$$i = \frac{n}{n_n} (m + g \cdot s_1) = \frac{\hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_1^2}{m^2/g^2}\right) + s_1 \cdot t}{n_n} (m + g \cdot s_1) \tag{2.76}$$

$$\frac{q}{g^2} = \frac{\left(\frac{m}{g} + s_1\right)^2}{3 s_1 n_n^2} \left\{ \left[\hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_1^2}{m^2/g^2}\right) + s_1 \cdot t_{pl} \right]^3 - \left[\hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_1^2}{m^2/g^2}\right) + s_1 \cdot t_1 \right]^3 \right\} \tag{2.77}$$

Si în acest caz există două situații:

- dacă $n_n < n_1 < n_{pl}$ (în momentul prinderii laminatului, reglajul prin flux este realizat, deci între timpii t_1 și t_{pl}):

$$\frac{q}{g^2} = \frac{\left(\frac{m}{g} + s_1\right)^2}{3 s_1 \cdot n_n^2} \left\{ \left[\hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_1^2}{m^2/g^2}\right) - \frac{2 \hat{n}_2 s_1^2}{m^2/g^2} \right]^3 - \left[\hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_1^2}{m^2/g^2}\right) + s_1 \cdot t_1 \right]^3 \right\}$$

$$- \left[\hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_1^2}{\frac{m}{g} n_n^2} \right) - \hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_1^2}{\frac{m}{g} n_n^2} \right) + n_1 \right]^3 \quad (2.78)$$

sau

$$\frac{q}{g^2} = \frac{\left(\frac{m}{g} + s_1 \right)^2}{3 s_1 n_n^2} \left[\hat{n}_2^3 \left(1 - \frac{s_1^2}{\frac{m}{g} n_n^2} \right)^3 - n_1^3 \right] \quad (2.79)$$

$$Q = q \cdot V_n$$

- dacă $n_1 < n_n < n_{p1}$ (pînă la n_n se face reglaj prin tensiune, iar între n_n și n_p prin flux):

$$\frac{q}{g^2} = \frac{\left(\frac{m}{g} + s_1 \right)^2}{3 s_1 n_n^2} \left\{ \left[\hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_1^2}{\frac{m}{g} n_n^2} \right) - \frac{2 \hat{n}_2 s_1^2}{\frac{m}{g} n_n^2} \right]^3 - \left[\hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_1^2}{\frac{m}{g} n_n^2} \right) - \hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_1^2}{\frac{m}{g} n_n^2} \right) + n_n \right]^3 \right\} \quad (2.80)$$

sau

$$\frac{q}{g^2} = \frac{\left(\frac{m}{g} + s_1 \right)^2}{3 s_1 n_n^2} \left[\hat{n}_2^3 \left(1 - \frac{s_1^2}{\frac{m}{g} n_n^2} \right)^3 - n_n^3 \right] \quad (2.81)$$

$$Q = q \cdot V_n$$

B). Limitare în dreapta (la frînare)

a). reglare prin tensiune rotorică

$$i = m - g \cdot s_2$$

- dacă $n_n \geq n_{p2}$ (tot timpul limitării, reglarea se face prin tensiune rotorică):

$$\frac{q}{g^2} = \left(\frac{m}{g} - s_2\right)^2 (t_2' - t_{p2})$$

sau

$$\frac{q}{g^2} = \left(\frac{m}{g} - s_2\right)^2 \left(t_2' - \frac{2 \hat{n}_2 \cdot s_2}{\frac{m^2}{g^2}} \right) \quad (2.82)$$

$$Q = q \cdot V_n$$

- dacă $n_2' < n_n < n_{p2}$, în locul timpului t_{p2} se introduce timpul t_n (pentru tangenta din dreapta):

$$t_n = \frac{n_{p2} + s_2 \cdot t_{p2} - n_n}{s_2} \quad (2.83)$$

$$\frac{q}{g^2} = \left(\frac{m}{g} - s_2\right)^2 (t_2' - t_n) = \left(\frac{m}{g} - s_2\right)^2 \left[t_2' - \frac{\hat{n}_2 \left(1 - \frac{s_2^2}{m^2/g^2}\right) + \frac{2 \hat{n}_2 s_2^2}{m^2/g^2} - n_n}{s_2} \right] \quad (2.84)$$

sau:

$$\frac{q}{g^2} = \left(\frac{m}{g} - s_2\right)^2 \left[t_2' - \frac{\hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_2^2}{n^2/c^2}\right) - n_n}{s_2} \right] \quad (2.85)$$

$$Q = q \cdot V_n$$

b). reglare prin flux

- dacă $n_n < n_2'$ (laminatul este evacuat la turație mai mare decât turația nominală, deci tot timpul limitării reglajul se face prin flux):

$$i = \frac{n}{n_n} (m - g \cdot s_2) = \frac{(n_{p2} + s_2 \cdot t_{p2}) - s_2 \cdot t}{n_n} (m - g \cdot s_2) \quad (2.86)$$

$$\frac{q}{g^2} = \frac{\left(\frac{m}{g} - s_2\right)^2}{3 \cdot s_2 \cdot n_n^2} \left[(n_{p2} + s_2 \cdot t_{p2} - s_2 \cdot t_{p2})^3 - (n_{p2} + s_2 t_{p2} - s_2 \cdot t_2')^3 \right]$$

sau:

$$\frac{q}{g^2} = \frac{\left(\frac{m}{g} - s_2\right)^3}{3 \cdot s_2 \cdot n_n^2} \left\{ \hat{n}_2^3 \left(1 - \frac{s_2^2}{\frac{m}{n_n^2}}\right)^3 - \left[\hat{n}_2 \left(1 + \frac{s_2^2}{\frac{m}{n_n^2}}\right) - s_2 \cdot t_2' \right]^3 \right\}$$

(2.87)

$$Q = q \cdot V_n$$

- dacă $n_{p2} > n_n > n_2'$, în locul timpului t_2' se introduce t_n , determinat din ecuația tangentei din dreapta:

$$\frac{q}{g^2} = \frac{\left(\frac{m}{g} - s_2\right)^2}{3 \cdot s_2 \cdot n_n^2} \left[(n_{p2} + s_2 \cdot t_{p2} - s_2 \cdot t_{p2})^3 - (n_{p2} + s_2 \cdot t_{p2} - s_2 \cdot t_n)^3 \right] \quad (2.88)$$

sau:

$$\frac{q}{g^2} = \frac{\left(\frac{m}{g} - s_2\right)^2}{3 \cdot s_2 \cdot n_n^2} \left[\hat{n}_2^3 \left(1 - \frac{s_2^2}{\frac{m}{n_n^2}}\right)^3 - n_{11}^3 \right] \quad (2.89)$$

$$Q = q \cdot V_n$$

Între timpii $(-t_{p1})$ și (t_{p2}) , pierderile se calculează cu relația dedusă pentru parabola cu vârful \hat{n}_2 . Pierderile totale se obțin prin însumarea pierderilor parțiale, determinate pentru fiecare porțiune din tahogramă în parte.

În figura 2.19. se prezintă influența limitării dn/dt asupra timpului de laminare T și a pierderilor Q , pentru

parametrii ficși l și m/g și limita de slăbire a câmpului variabilă. Această diagramă corespunde unei parabole optime cu $n_1 = 15$ [rot./min.] și $n_2 = 30$ [rot./min.]. Celor două turații le corespund accelerațiile $(dn/dt)_1 = 79,52$ [rot./min.sec] și $(dn/dt)_2 = -70,88$ [rot./min.sec]. Curba de jos ($n_n \geq \hat{n}$) corespunde domeniului de reglaj a turației prin tensiune rotorică.

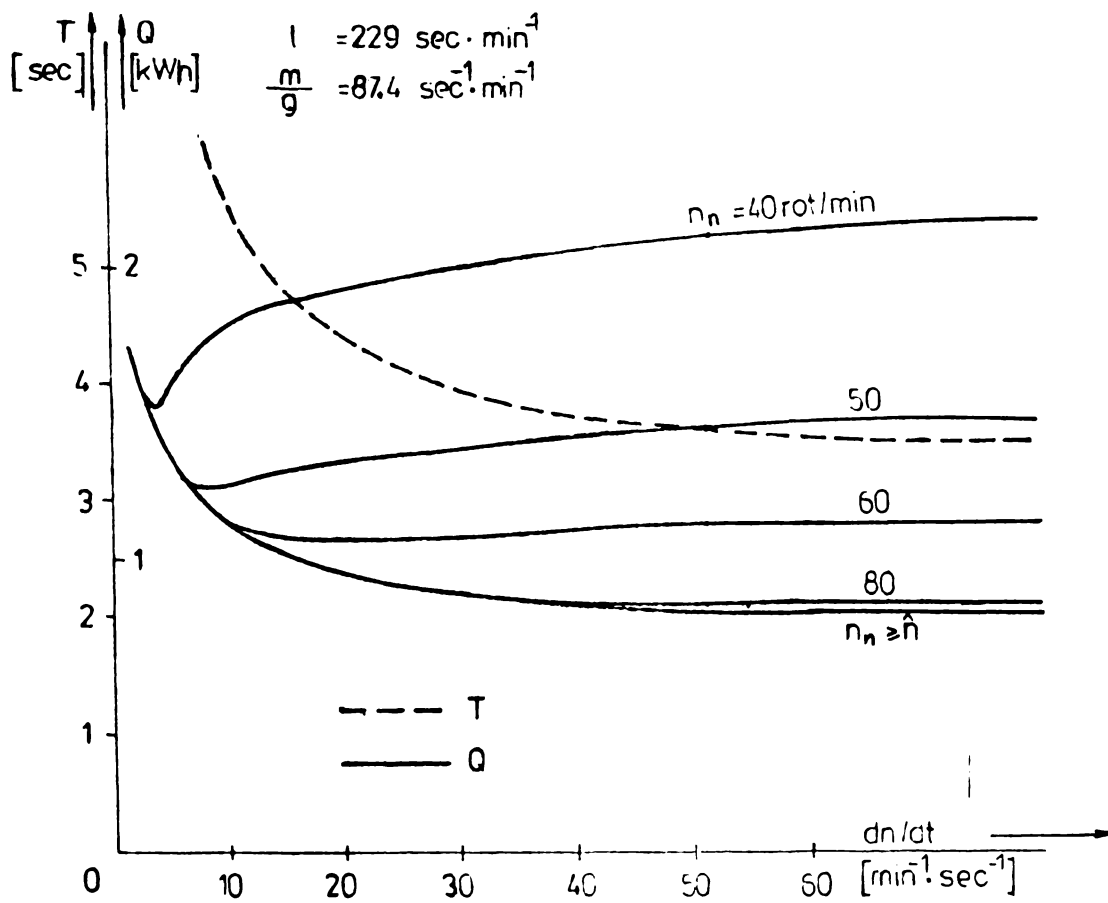


FIG 2.19. Influența limitării dn/dt asupra Q și T la diferite turații nominale

Se observă că timpul de laminare T și pierderile de energie Q cresc monoton cu scăderea dn/dt .

2.4.4. Limitări de curent

Curentul rotoric al unui motor principal este, de regulă, supus cel puțin unei limitări. În continuare, se vor analiza următoarele trei limitări:

$$i = f_0 \quad (2.90)$$

$$i = f_0 + f_1 \cdot n \quad (2.91)$$

$$i = \frac{f_2}{n} \quad (2.92)$$

Relația (2.90) limitează curentul maxim rotoric la valoarea f_0 , iar relațiile (2.91) și (2.92) servesc pentru îmbunătățirea comutației la turații ridicate, când se face reglaj de turație prin diminuarea fluxului (în această situație, curentul limită trebuie scăzut odată cu micșorarea fluxului, pentru a nu se produce supratensiuni între lamelele de colector) /46/. Conform (2.91), curentul limită scade cu creșterea turației (f_1 este totdeauna negativ), iar în (2.92) curentul limită este invers proporțional cu turația.

În circuitele de reglare automată a turației, ultimele două limitări acționează prin intermediul unui generator funcțional. /2/.

În figura 2.20., preluată din /27/, se prezintă efectele unei limitări de tipul (2.92) la un bluming cu curentul nominal $I_n = 5000 \text{ A}$. Rezultatele măsurătorilor sînt prezentate prin cerculețe, care sînt destul de împrăștiate. În afară de aceasta, acționarea a lucrat în limitare de curent un timp foarte scurt. De aceea, în practică hiperbola se poate reduce la o dreaptă căzătoare, ca cea din figura 2.20.

Pentru considerarea limitării de curent, trebuie stabilite punctele de desprindere (n, t) la care, pe baza unei limitări, turația va devia de la curba parabolică, curentul (în domeniul de reglaj prin tensiune), de la o dreaptă, curentul (în domeniul de reglaj prin flux), de la curba de gradul trei. În total, rezultă șase posibilități, fiindcă toate cele trei limitări de curent pot apărea atît în domeniul reglării prin tensiune, cît și prin flux (figura 2.21.).

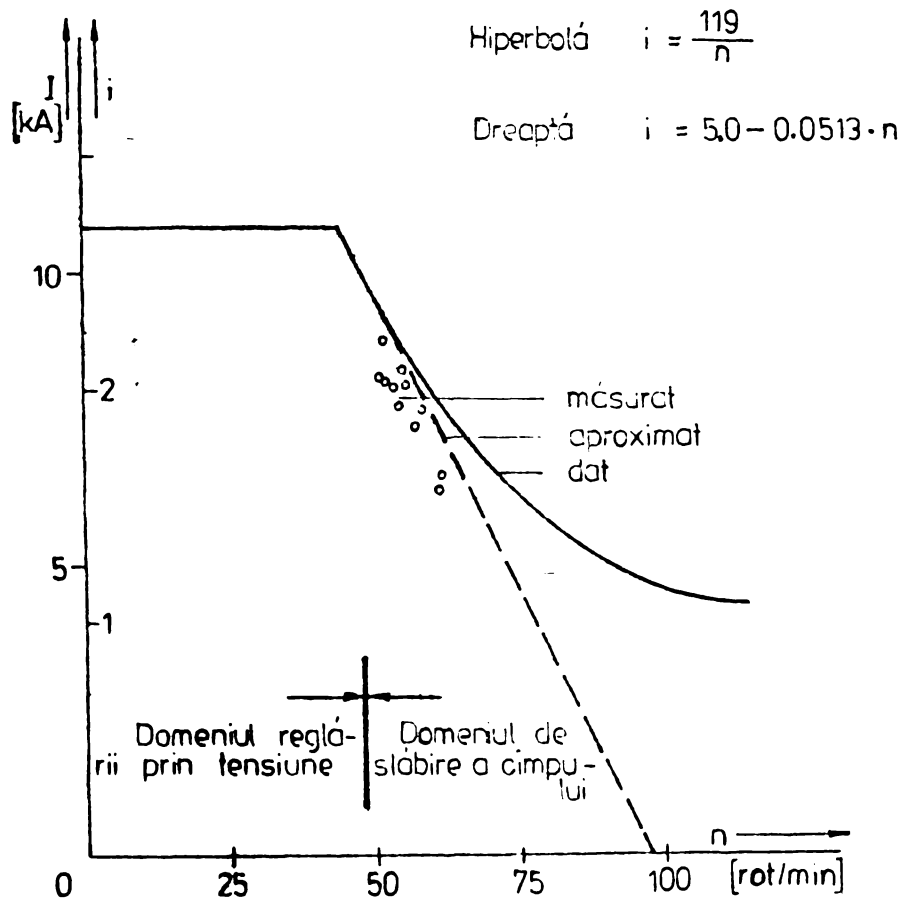


FIG 2.20. Limitările $i = f_0$; $i = f_0 + f_1 n$ și $i = \frac{f_3}{n}$

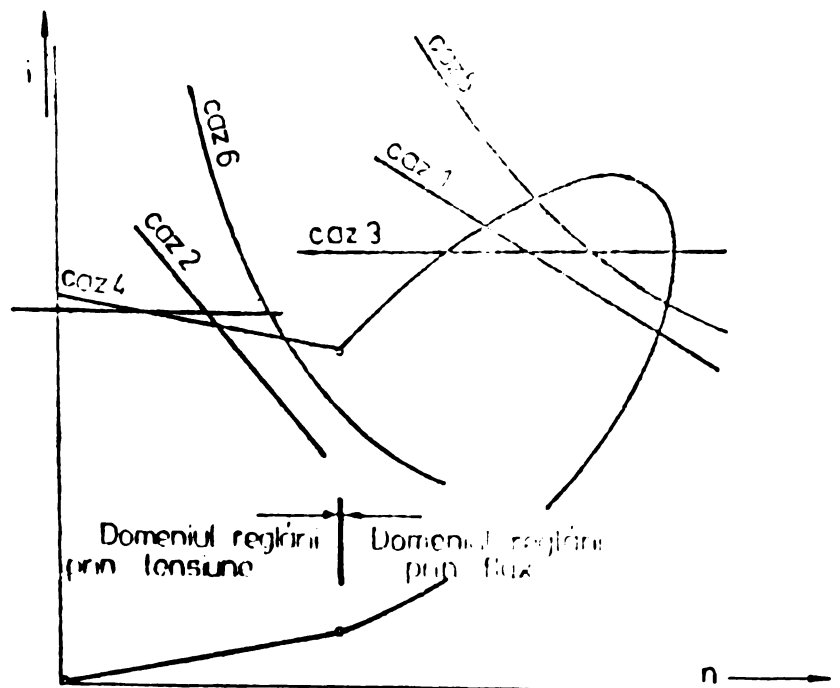


FIG 2.21.

Punctele de desprindere se obțin prin intersectarea limitei de curent respective cu curba curentului nelimitat, sau, analitic, prin egalarea ecuației pentru limitarea de curent cu curba $i = f(n)$, de aici rezultând soluții reale pentru "n". Dacă se vor obține mai multe soluții reale, se va alege cea corespunzătoare turației pozitive mai mici și curentului mai mare.

2.4.4.1. Limitarea $i = f_0 + f_1 \cdot n$

a). Domeniul reglării prin slăbire de flux

Ecuația (2.37) se poate rezolva după "n", ordonându-se astfel:

$$n^3 - 2 \hat{n} \frac{i \cdot n}{m} \cdot n + \hat{n} \left(\frac{i \cdot n}{m} \right)^2 = 0 \quad (2.93)$$

Dacă în relația (2.37) se introduce ecuația limitării de curent, rezultă o ecuație de gradul trei, care prin rezolvare dă punctele de desprindere:

$$\begin{aligned} n^3 - 2 \hat{n} \cdot \frac{n}{m} (f_0 + f_1 \cdot n) \cdot n + \\ + \hat{n} \cdot \frac{n^2}{m^2} \cdot (f_0 + f_1 \cdot n)^2 = 0 \end{aligned} \quad (2.94)$$

sau:

$$a \cdot n^3 + b \cdot n^2 + c \cdot n + d = 0$$

cu:

$$a = 1$$

$$b = \hat{n} \cdot \frac{n}{m} \cdot f_1 \left(\frac{n}{m} \cdot f_1 - 2 \right) \quad (2.95)$$

$$c = 2 \hat{n} \cdot \frac{n}{m} \cdot f_0 \left(\frac{n}{m} \cdot f_1 - 1 \right)$$

$$d = \hat{n} \cdot \frac{n^2}{m^2} \cdot f_0^2$$

Utilizând substituția:

$$x = n + \frac{b}{3 \cdot a} \quad (2.96)$$

se obține ecuația redusă de gradul trei:

$$x^3 + 3 px + 2 q = 0 \quad (2.97)$$

care se rezolvă prin formulele lui Cardan /26/.

Deoarece $a = 1$, rezultă:

$$3 p = \frac{3c - b^2}{3}; \quad 2 q = \frac{2b^3}{27} - \frac{b \cdot c}{3} + d \quad (2.98)$$

Natura rădăcinilor acestei ecuații depinde de semnul discriminantului D

$$D = q^2 + p^3$$

> 0 - o rădăcină reală și două complexe ;
 < 0 - toate rădăcinile reale și distincte ;
 $= 0$ - toate rădăcinile reale, două confundate ;

În cazul de față este necesar ca:

$$D = \frac{1}{4 \cdot 27} (4c^3 - b^2 \cdot c^2 + 27 d^2 + 4b^3 \cdot d - 18 b \cdot c \cdot d) \leq 0 \quad (2.99)$$

În această situație, soluțiile ecuației (2.93) vor fi:

$$n_a = -\frac{2}{3} \sqrt{|3c - b^2|} \cdot \cos \frac{\varphi}{3} - \frac{b}{3}$$

$$n_b = \frac{2}{3} \sqrt{|3c - b^2|} \cdot \cos (60^\circ - \frac{\varphi}{3}) - \frac{b}{3} \quad (2.100)$$

$$n_c = \frac{2}{3} \sqrt{|3c - b^2|} \cdot \cos (60^\circ + \frac{\varphi}{3}) - \frac{b}{3}$$

unde:

$$\varphi = \arctg \frac{1}{2b^3 - 9bc + 27d} \sqrt{108c^3 - 189c^2b^2 + 72cb^4 - 8b^6 - \dots}$$

$$\dots - 108b^3 \cdot d + 486 bcd - 729 \cdot d^2 \quad (2.101)$$

Se va lua în considerație soluția pozitivă mai mică, care se notează n_6 . Timpul corespunzător la care apare limitarea se obține din ecuația parabolei optime:

$$n_6 = \hat{n} - \frac{1}{4 \hat{n}} \cdot \frac{m^2}{g^2} \cdot t_6^2$$

$$t_6 = - \frac{2g}{m} \sqrt{\hat{n} (\hat{n} - n_6)} \quad (2.102)$$

S-a considerat numai soluția negativă, deoarece limitarea de curent nu poate apărea decît pe ramura ascendentă a parabolei.

Limitarea $i = f_0 + f_1 \cdot n$ (caracteristică domeniului de reglaj prin defluxare), va persista pînă la atingerea turației n_7 , egală cu soluția cea mai mare dintre n_a , n_b , n_c . Timpul la care se va produce trecerea de pe limitare pe o nouă parabolă va fi:

$$t_7 = \frac{2g}{m} \sqrt{\hat{n} (\hat{n} - n_7)} \quad (2.103)$$

Ca și la limitarea de accelerație, turația \hat{n} este aici necunoscută. Pentru a o determina, se ține cont de faptul că lungimea laminată pînă la apariția limitării de curent, l_1 , plus lungimea laminată în limitare, l_{67} , plus lungimea laminată din nou pe parabolă, l_2 , trebuie să fie egală cu lungimea totală a laminatului:

$$l = l_1 + l_{67} + l_2 \quad (2.104)$$

Această relație servește pentru iterația noii valori \hat{n} a parabolei optime, prin metoda utilizată și la limitarea dn/dt .

În continuare, se determină alura curbei $n = f(t)$ în domeniul limitării $i = f_0 + f_1 \cdot n$.

Curentul indusului, în domeniul slăbirii cîmpului este :

$$i = f(n, t) = \frac{n(t)}{n_n} (m + g \frac{dn}{dt}) \quad (2.105)$$

Dacă se înlocuiește în (2.105) relația (2.91), se obține ecuația diferențială:

$$\frac{g}{n_n} \cdot n(t) \frac{dn(t)}{dt} = f_0 - \left(\frac{m}{n_n} - f_1\right) \cdot n(t) \quad (2.106)$$

care se rezolvă prin separarea variabilelor:

$$dt = \frac{\frac{g}{n_n} \cdot n(t)}{f_0 - \left(\frac{m}{n_n} - f_1\right) \cdot n(t)} \cdot dn \quad (2.107)$$

Înainte de integrare, ecuația mai poate fi simplificată prin introducerea notațiilor:

$$a_1 = \frac{f_0 \cdot n_n}{m - f_1 \cdot n_n} \quad (2.108)$$

$$a_4 = m - f_1 \cdot n_n \quad (2.109)$$

deci:

$$dt = - \frac{g}{a_4} \left[1 - \frac{1}{1 - \frac{n(t)}{a_1}} \right] \cdot dn \quad (2.110)$$

După integrare se obține:

$$t = - \frac{g}{a_4} \left\{ n(t) + a_1 \cdot \ln \left[1 - \frac{n(t)}{a_1} \right] \right\} + c_1 \quad (2.111)$$

unde a_1 reprezintă turația asimptotică, n_{as} , la care se ajunge în timpul limitării de curent. Constanta c_1 se determină pentru punctul de desprindere cunoscut (n_6, t_6), la care turația deviază de la forma parabolică:

$$c_1 = t_6 + \frac{g}{a_4} \left[n_6 + a_1 \cdot \ln \left(1 - \frac{n_6}{a_1} \right) \right] \quad (2.112)$$

Se remarcă faptul că în această relație t_6 are tot timpul valori negative, deoarece limitarea de curent apare totdeauna înaintea valorii maxime a parabolei turației. De

asemenea și constanta C_1 va fi negativă. Relația (2.111) reprezintă dependența timp - turație sub influența unei limitări de curent dependente de turație.

Lungimea laminată în limitare va fi:

$$l_{67} = \int_{\Delta n} t \cdot dn \quad (2.113)$$

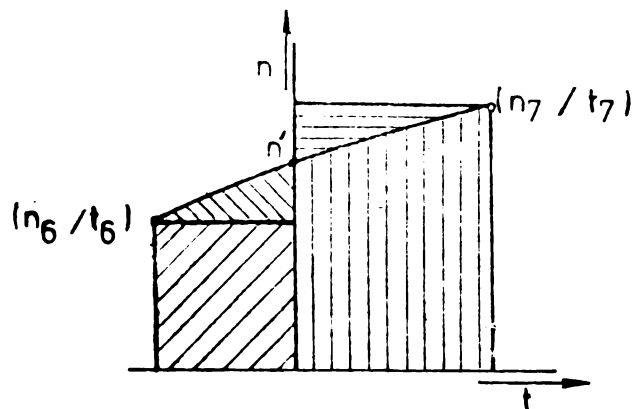


FIG 2.22.

Cu ajutorul figurii 2.22. se poate scrie pentru lungimea l_{67} :

$$l_{67} = n_7 \cdot t_7 - n_6 \cdot t_6 + \left| \int_{n_6}^{n'} t \cdot dn \right| - \left| \int_{n'}^{n_7} t \cdot dn \right| \quad (2.114)$$

care devine:

$$l_{67} = n_7 \cdot t_7 - n_6 \cdot t_6 + \left| \int_{n_7}^{n_6} t \cdot dn \right| \quad (2.115)$$

În rezolvarea integralei se ține cont de funcția turației - relația (2.111) și de precizările din /26/:

$$\int_{n_6}^{n_7} t \cdot dn = - \frac{g}{a_4} \left[\int_{n_7}^{n_6} n \cdot dn + a_1^2 \int_{n_7}^{n_6} \frac{1}{n} \cdot dn \right]$$

$$\begin{aligned}
 & - \frac{n}{a_1} \cdot \frac{dn}{dt} \Big] + C_1 \int_{n_7}^{n_6} dn = \\
 & = - \frac{g}{a_4} \left[\frac{n_6^2 - n_7^2}{2} + a_1^2 + \left| a_1^2 \left(1 - \frac{n}{a_1}\right) \right| \right]_{n_7}^{n_6} \cdot \\
 & \cdot \left[- \ln\left(1 - \frac{n}{a_1}\right) + 1 \right]_{n_7}^{n_6} + C_1 (n_6 - n_7) \quad (2.116)
 \end{aligned}$$

După înlocuirea limitelor de integrare n_6 și n_7 și a constantei C_1 , rezultă lungimea laminatului:

$$\begin{aligned}
 l_{67} = n_7 \cdot t_7 + \frac{g}{a_4} \cdot a_1 \cdot \ln \frac{a_1 - n_6}{a_1 - n_7} \cdot (a_1 - n_7) + \\
 + (n_6 - n_7) \left[t_6 + \frac{g}{a_4} \left(a_1 + \frac{n_6 - n_7}{2} \right) \right] \quad (2.117)
 \end{aligned}$$

cu:

$$a_4 = m - f_1 \cdot n_n$$

$$a_1 = \frac{f_0 \cdot n_n}{a_4}$$

Mărimea q care determină pierderile de energie în cazul limitării de curent dependente de turație se calculează cu relația:

$$q = \int_{n_6}^{n_7} i^2(n) \cdot \frac{dt}{dn} \cdot dn \quad (2.118)$$

$\frac{dn}{dt}$ se obține prin modificarea relației (2.107):

$$\begin{aligned}
 \frac{dt}{dn} &= \frac{g}{n_n} \cdot \frac{n(t)}{f_0 - \left(\frac{m}{n_n} - f_1\right) \cdot n(t)} \\
 q &= \frac{g}{n_n} \int_{n_6}^{n_7} \frac{(f_0 + f_1 \cdot n)^2 \cdot n(t)}{(f_0 + f_1 \cdot n) - \frac{m}{n_n} \cdot n(t)} \cdot dn \quad (2.119)
 \end{aligned}$$

sau

$$q = \frac{g}{n_n} \int_{n_6}^{n_7} \left[(f_0 + f_1 \cdot n)n + \frac{m}{n_n} \cdot n^2 + \frac{m^2}{n_n^2} \cdot \frac{n^3}{f_0 + f_1 \cdot n - \frac{m}{n_n} \cdot n} \right] dn \quad (2.120)$$

După integrare rezultă:

$$q = \frac{g \cdot f_0}{2 \cdot n_n} \left(1 - \frac{m^2}{a_4^2}\right) (n_7^2 - n_6^2) + \frac{g}{3 \cdot n_n} \left[f_1 + \frac{m}{n_n} \left(1 - \frac{m}{a_4}\right) \right] \cdot (n_7^3 - n_6^3) - \frac{g \cdot m^2 \cdot f_0^2}{a_4^3} \left[n_7 - n_6 + \frac{f_0 \cdot n_n}{a_4} \cdot \ln \frac{f_0 - a_4 \frac{n_7}{n_n}}{f_0 - a_4 \frac{n_6}{n_n}} \right] \quad (2.121)$$

$$Q = q \cdot V_n$$

În figura 2.23. este prezentat un caz cînd are loc o limitare de curent $i = 4,6 - 0,0254 \cdot n$, care depinde de turație. Timpul de laminare și pierderile de energie sînt:

- în cazul limitării: $T = 3,50$ [s] și $Q = 1,45$ [KWh];
- în cazul nelimitat: $T = 3,47$ [s] și $Q = 1,47$ [KWh];

Valoarea asimptotică pentru turație este $n_{as} = 87,7$ [rot./min.] .

Între punctele 1, 2 reglajul de turație se face prin modificarea tensiunii rotorice, iar începînd din 2 se diminuează fluxul. Curentul indusului începe să crească (fig. 2.23 b) pînă în punctul 3, cînd se atinge limita de curent (porțiunea 3 - 4). În punctul 5 se reîntre în porțiunea nelimitată (domeniul de reglaj prin flux), iar în punctul 6, în domeniul de reglaj prin tensiune.

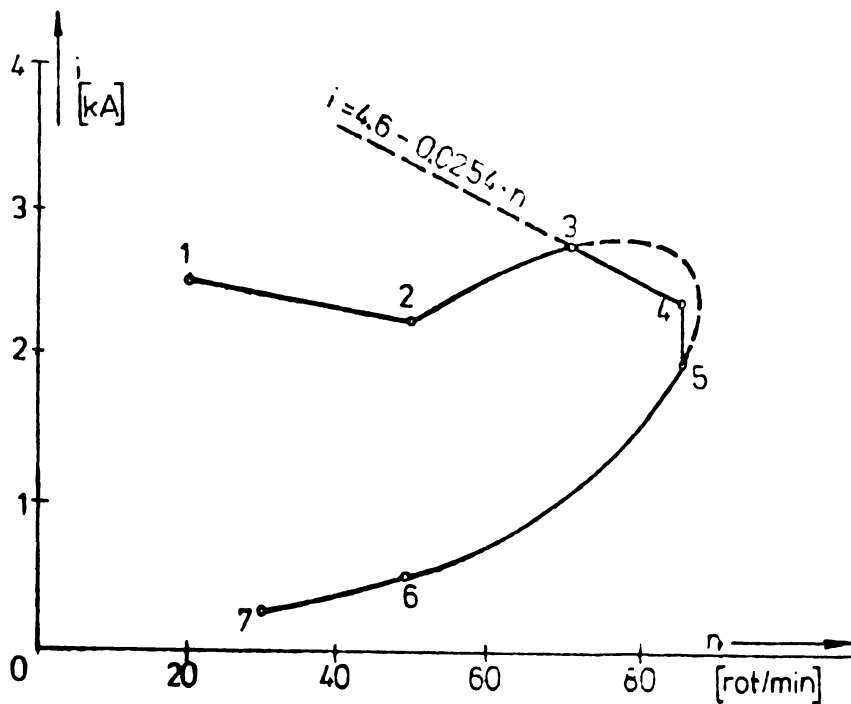
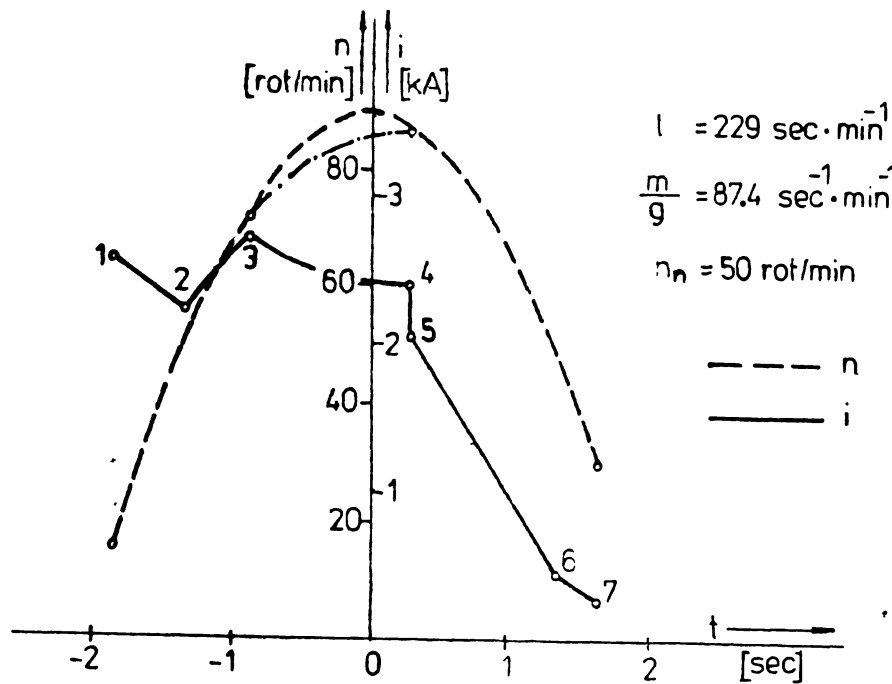


FIG2.23. Limitare de curent în domeniul stăbirii cimpului.

În figura 2.23 a, cu linie punctată este reprezentată parabola optimă, cu linie - punct turația în limitarea de curent, iar cu linie plină curba $i = f(t)$. În figura 2,23 b, cu linie punctată este reprezentată curba $i = f(n)$ nelimitată, iar cu linie plină, curba $i = f(n)$ ținând cont de limitarea de curent.

b). Domeniul reglării prin modificarea tensiunii

r o t o r i c e

Relația pentru punctul de desprindere în acest domeniu, este o ecuație de gradul doi obținută prin înlocuirea în relația (2.33) ce reprezintă funcția $n = f(i)$, a ecuației limitării (2.91) $i = f(n)$:

$$n^2 + \frac{2 \cdot f_1 (f_0 - m) + \frac{m^2}{\hat{n}}}{f_1^2} \cdot n + \frac{f_0^2 - 2 \cdot f_0 \cdot m}{f_1^2} = 0 \quad (2.122)$$

Turația de desprindere de pe parabolă este

$$n_6 = -\frac{b_1}{2} - \sqrt{\left(\frac{b_1}{2}\right)^2 - b_2}$$

$$b_1 = \frac{2 \cdot f_1 \cdot (f_0 - m) + \frac{m^2}{\hat{n}}}{f_1^2} \quad (2.123)$$

$$b_2 = \frac{f_0^2 - 2 \cdot f_0 \cdot m}{f_1^2}$$

Timpul corespunzător t_6 se poate determina din ecuația parabolei. Pentru funcția turației rezultă o ecuație diferențială de ordinul I:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{f_0 - m}{G} - \frac{f_1 \cdot n}{G} \quad (2.124)$$

care se rezolvă prin separarea variabilelor:

$$dt = \frac{G}{f_0 - m} \cdot \frac{dn}{1 + \frac{n}{a_1}} \quad (2.125)$$

$$t = \frac{G}{f_1} \cdot \ln \left(1 + \frac{n}{a_1} \right) + C_1 \quad (2.126)$$

cu:

$$a_1 = \frac{f_0 - m}{f_1}$$

Constanta C_1 se determină folosind coordonatele punctului de desprindere (n_6, t_6) :

$$C_1 = t_6 - \frac{E}{f_1} \ln \left(1 + \frac{n_6}{a_1} \right) \quad (2.127)$$

Deci funcția $t = f(n)$ devine:

$$t = t_6 + \frac{E}{f_1} \cdot \ln \frac{a_1 + n}{a_1 + n_6} \quad (2.128)$$

Din relația (2.128) se poate extrage funcția $n = f(t)$

$$n = (a_1 + n_6) \cdot \exp \left[\frac{f_1}{E} (t - t_6) \right] - a_1 \quad (2.129)$$

unde s-a notat prin "exp" exponențiala e^x .

Din motive de exactitate, la determinarea lungimii laminare și a pierderilor de energie, se pot lua în considerație ambele funcții: $t = f(n)$ și $n = f(t)$.

În primul caz, lungimea laminată în limitare este:

$$l_{67} = n_7 \cdot t_7 - n_6 \cdot t_6 + \int_{n_7}^{n_6} t \, dn = n_7 \cdot t_7 - n_6 \cdot t_6 +$$

$$+ \int_{n_7}^{n_6} t_6 \, dn + \frac{E}{f_1} \int_{n_7}^{n_6} \ln \frac{a_1 + n}{a_1 + n_6} \, dn$$

După integrare rezultă:

$$l_{67} = n_7 t_7 - n_6 t_6 + \frac{E}{f_1} (a_1 + n_7) \ln \frac{a_1 + n_6}{a_1 + n_7} +$$

$$+ (n_6 - n_7) \left(t_6 - \frac{E}{f_1} \right) \quad (2.130)$$

În al doilea caz, lungimea laminată este:

$$l_{67} = \int_{t_6}^{t_7} n dt = (a_1 + n_6) \int_{t_6}^{t_7} \exp \frac{f_1}{g} (t - t_6) \cdot dt -$$

$$- a_1 \int_{t_6}^{t_7} dt$$

de unde:

$$l_{67} = (a_1 + n_6) \cdot \frac{g}{f_1} \left\{ \exp \left[\frac{f_1}{g} (t_7 - t_6) - 1 \right] \right\} -$$

$$- a_1 (t_7 - t_6) \quad (2.131)$$

Dacă pierderile de energie se determină din funcția $i = f(n)$, se poate scrie:

$$q = \int_{n_6}^{n_7} i^2(n) \cdot \frac{dt}{dn} \cdot dn = \frac{g}{f_0 - m} \int_{n_6}^{n_7} \frac{(f_0 + f_1 \cdot n)^2}{1 + \frac{n}{a_1}} \cdot dn \quad (2.132)$$

Această integrală se poate descompune în următoarele trei integrale:

$$q = \frac{g}{f_0 - m} \left[f_0^2 \cdot a_1 \int_{n_6}^{n_7} \frac{1}{1 + \frac{n}{a_1}} \cdot \frac{dn}{a_1} + 2 f_0 \cdot f_1 \cdot a_1^2 \cdot \int_{n_6}^{n_7} \frac{\frac{n}{a_1}}{1 + \frac{n}{a_1}} \cdot \frac{dn}{a_1} + f_0^2 \cdot a_1^3 \int_{n_6}^{n_7} \frac{\frac{n^2}{a_1^2}}{1 + \frac{n}{a_1}} \cdot \frac{dn}{a_1} \right] \quad (2.132')$$

După integrare rezultă:

$$q = \left(\frac{g}{f_1} \cdot f_0^2 - 2 \cdot g \cdot f_0 \cdot a_1 + g \cdot f_1 \cdot a_1^2 \right) \ln \frac{a_1 + n_7}{a_1 + n_6} +$$

$$+ (n_7 - n_6) \cdot g \left[2 f_0 + f_1 \cdot a_1 \left(\frac{n_7 + n_6}{2 \cdot a_1} - 1 \right) \right] \quad (2.133)$$

Dacă se calculează pierderile prin intermediul funcției $i = f(t)$:

$$i(t) = f_0 + f_1 \left\{ (a_1 + n_6) \cdot \exp\left[\frac{f_1}{g}(t - t_6)\right] - a_1 \right\} \quad (2.134)$$

rezultă:

$$q = \int_{t_6}^{t_7} i^2(t) dt = \int_{t_6}^{t_7} \left\{ a_2^2 + 2 \cdot a_2 \cdot f_1 (a_1 + n_6) \exp\left[\frac{f_1}{g}(t - t_6)\right] + f_1^2 (a_1 + n_6)^2 \cdot \exp\left[2 \cdot \frac{f_1}{g}(t - t_6)\right] \right\} dt \quad (2.135)$$

După integrare se obține:

$$q = a_2^2 (t_7 - t_6) + 2 a_2 \cdot g (a_1 + n_6) \cdot \left\{ \exp\left[\frac{f_1}{g}(t_7 - t_6)\right] - 1 \right\} + \frac{f_1 \cdot g}{2} (a_1 + n_6)^2 \cdot \left\{ \exp\left[2 \frac{f_1}{g}(t_7 - t_6)\right] - 1 \right\} \quad (2.136)$$

$$Q = q \cdot V_n$$

cu: $a_2 = f_0 - f_1 \cdot a_1$

Se menționează că cele două rezultate, atât pentru i cât și pentru q sînt echivalente.

2.4.4.2. Limitarea $i = f_0$

a). Domeniul reglării prin diminuarea fluxului

Această limitare este un caz particular al limitării $i = f_0 + f_1 \cdot n$, dacă se consideră $f_1 = 0$. Pentru relațiile (2.95) - (2.100), rezultă:

$$an^3 + bn^2 + cn + d = 0 \quad (2.137)$$

cu: $a = 1$

$b = 0$

$c = -2 \hat{n} \frac{n}{m} \cdot f_0$

$$d = \dot{n} \cdot \frac{n_n^2}{m^2} \cdot f_0^2$$

În ecuația (2.137) $b = 0$.

Discriminantul ecuației este:

$$D = \frac{1}{108} (4 c^3 + 27 d^2) \quad (2.138)$$

iar cele trei soluții reale vor fi:

$$\begin{aligned} n_a &= -\frac{2}{3} \sqrt{-c} \cdot \cos \frac{\varphi}{3} \\ n_b &= \frac{2}{3} \sqrt{-c} \cdot \cos \left(60^\circ - \frac{\varphi}{3}\right) \\ n_c &= \frac{2}{3} \sqrt{-c} \cdot \cos \left(60^\circ + \frac{\varphi}{3}\right) \end{aligned} \quad (2.139)$$

cu:

$$\varphi = \arctg \sqrt{\frac{4}{27} \cdot \frac{c^3}{d^2} - 1}$$

Funcția turației este egală cu cea din relația (2.111), dacă:

$$a_1 = \frac{f_0 \cdot n_n}{m} \quad (2.140)$$

$$a_4 = m$$

Punctul de desprindere de pe parabolă va fi (n_5, t_5) .

Lungimea laminată în limitare, l_{50} , se poate calcula cu relația (2.117), dacă se au în vedere valorile pentru a_1 și a_4 din (2.140).

Pierderile de energie se pot determina ușor, deoarece în timpul laminării curentul va rămâne constant

$$q = \int_{t_5}^{t_6} i^2 dt = \int_{t_5}^{t_6} f_0^2 dt = f_0^2 (t_6 - t_5) \quad (2.141)$$

b). Domeniul reglării prin modificarea tensiunii
r o t o r i c e

Limitarea f_0 în domeniul reglării prin tensiune a fost tratată în paragraful 2.4.3., dar sub forma limitării dn/dt . Rezultatul acestei limitări a fost un curent constant (2.70):

$$i = m + g \cdot S$$

deci

$$f_0 = m + g \frac{dn}{dt} \quad (2.142)$$

Rezultă că turația $n(t)$ este o funcție liniar crescătoare.

În concluzie, se pot prelua relațiile pentru $n(t)$, n_p , t_p și l_1 (limitare dn/dt în stînga) din paragraful 2.4.3.. Aici însă:

$$S = \frac{f_0 - m}{g} \quad (2.143)$$

deci:

$$n(t) = \hat{n} \left[1 + \left(\frac{f_0}{m} - 1 \right)^2 \right] + \frac{f_0 - m}{g} \cdot t \quad (2.144)$$

Punctul (n_p, t_p) în care dreapta turației se transformă în parabolă va avea coordonatele:

$$n_p = \hat{n} \cdot \frac{f_0}{m} \left(2 - \frac{f_0}{m} \right) \quad (2.145)$$

$$t_p = -2 \hat{n} \frac{\frac{f_0}{m} - 1}{\frac{f_0}{m} - 1} \quad (2.146)$$

Lungimea laminată în limitare va fi:

$$l_1 = \hat{n} \left[1 + \left(\frac{f_0}{m} - 1 \right)^2 \right] (-t_p - t_1) + \frac{f_0 - m}{2g} (t_p^2 - t_1^2) \quad (2.147)$$

Trebuie reținut faptul că în urma limitării de curent $i = f_0$ în domeniul reglării prin tensiune, se obține numai o limitare în partea stângă a caracteristicii de curent și de turație, deoarece pe partea dreaptă (după punctul de vîrf al parabolei), curentul total are valoarea:

$$i = m - g \frac{dn}{dt}$$

Pierderile de energie se pot calcula simplu:

$$q = \int_{t_5}^{t_6} i^2(t) \cdot dt = f_0^2(t_6 - t_5) \quad (2.148)$$

$$Q = q \cdot V_n$$

2.4.4.3. Limitarea $i = \frac{f_3}{n}$

a). Domniul reglării prin diminuarea fluxului

Relația care permite calculul coordonatelor punctului de desprindere (n_6, t_6) rezultă din (2.93), dacă se înlocuiește curentul cu expresia $i = \frac{f_3}{n}$. Se obține o ecuație de gradul cinci în "n":

$$f(n) = n^5 - 2nf_3 \frac{n}{m} \cdot n^2 + f_3 \left(\frac{f_3 \cdot n_1}{m} \right)^2 = 0 \quad (2.149)$$

Găsirea soluțiilor acestei ecuații este dificilă, motiv pentru care se vor face câteva considerații referitoare la numărul și poziția rădăcinilor, pe baza reprezentării grafice a funcției $f(n)$ - figura 2.24.

Se observă că ecuația va avea trei soluții reale, una negativă și două pozitive. Soluția mai mare dintre cele două pozitive nu prezintă interes, deoarece în acest caz limitarea de curent nu va mai avea loc (ea începe la cea mai mică valoare a turației, prima care se atinge la accelerare).

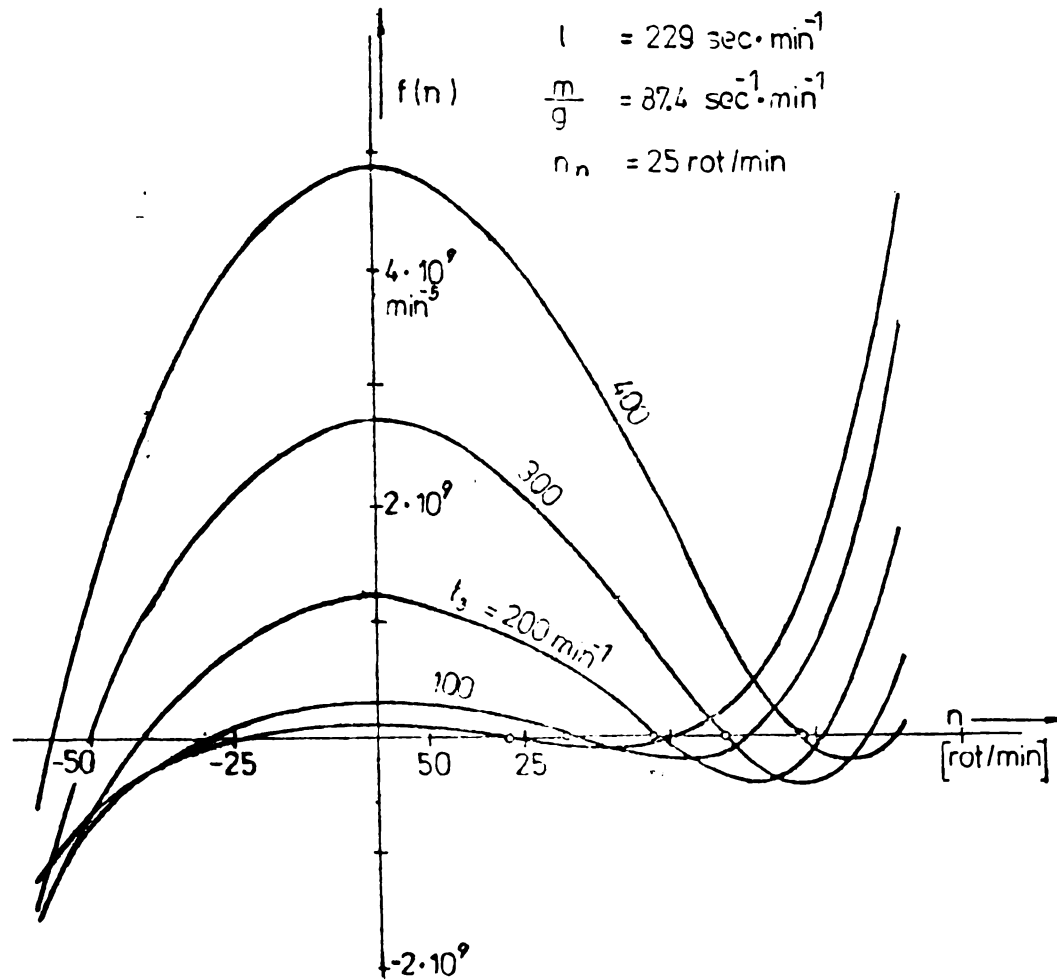


FIG 2.24. $f(n)$ pentru determinarea punctelor de desprindere la limitarea de curent $i = f_3/n$

Rezultă că punctul de desprindere este dat de soluția pozitivă, mai mică (soluția negativă nu are sens fizic). Acest punct se află între cele două extreme ale funcției $f(n)$:

$$\begin{aligned}
 n_1 &= 0 \quad (\text{maxim}) \\
 n_2 &= \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \hat{f} \cdot f_3 \cdot n_n}{\sigma \cdot n}} \quad (2.150)
 \end{aligned}$$

Poziția soluției poate fi găsită cu mai multă precizie, dacă se determină punctul de inflexiune al curbei. Astfel,

dacă:

$$\frac{5}{\hat{n}} \cdot \sqrt[3]{\frac{\hat{n} \cdot f_3 \cdot n_n}{5m} - 1,8} > 0 \quad (2.151)$$

atunci soluția se află între:

$$n_0 = \sqrt[3]{\frac{\hat{n} \cdot f_3 \cdot n_n}{5m}} \quad (2.152)$$

și punctul de maxim, iar în cazul celălalt, între n_0 și minimumul funcției $f(n)$. În ambele situații, n_0 se poate folosi ca o valoare inițială pentru o metodă de rezolvare prin aproximări succesive.

Punctele acceptate ca soluții sînt prezentate în figura 2.24. prin cerculețe.

Forma curbei turației se mai poate determina prin egalarea relației curentului total din domeniul slăbirii fluxului, cu cea a limitării de curent. Rezultă o ecuație diferențială de ordinul I:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{f_3 \cdot n_n}{n^2 \cdot \xi} - \frac{m}{\xi} \quad (2.153)$$

sau:

$$dt = \frac{\xi}{m} \cdot \frac{n^2}{a_3 - n^2} \cdot dn \quad (2.154)$$

cu:

$$a_3 = \frac{f_3 \cdot n_n}{m}$$

După integrare rezultă:

$$t = \frac{\xi}{m} \left(-n + \sqrt{a_3} \cdot \operatorname{arcth} \frac{n}{\sqrt{a_3}} \right) + C_1 \quad (2.155)$$

Constanta C_1 se poate determina pentru punctul de desprindere (n_6, t_6):

$$C_1 = t_6 + \frac{\xi}{m} \cdot n_6 - \frac{\xi}{m} \sqrt{a_3} \operatorname{arcth} \frac{n_6}{\sqrt{a_3}} \quad (2.156)$$

rezultând forma finală:

$$t = t_6 + \frac{g}{m} (n_6 - n) + \frac{g}{m} \sqrt{a_3} \cdot \operatorname{arcth} \left(\sqrt{a_3} \cdot \frac{n - n_6}{a_3 - n \cdot n_6} \right) \quad (2.157)$$

Pentru a afla lungimea laminată l_{67} pe limitare, trebuie rezolvată integrala:

$$l = \int t \cdot dn$$

Soluția se poate găsi dacă se pleacă de la relația (2.155):

$$l_{67} = \int_{n_6}^{n_7} t \cdot dn = - \frac{g}{m} \int_{n_6}^{n_7} n dn + \frac{g}{m} \sqrt{a_3} \cdot \int_{n_6}^{n_7} \operatorname{arcth} \frac{n}{\sqrt{a_3}} \cdot dn + C_1 \int_{n_6}^{n_7} dn \quad (2.158)$$

După integrare rezultă:

$$l_{67} = t_6(n_7 - n_6) - \frac{g}{2 \cdot m} (n_7 - n_6)^2 + \frac{g}{m} \cdot \frac{a_3}{2} \cdot \ln \frac{a_3 - n_7^2}{a_3 - n_6^2} + \frac{g}{m} \sqrt{a_3} \cdot n_7 \cdot \operatorname{arcth} \left(\sqrt{a_3} \cdot \frac{n_7 - n_6}{a_3 - n_6 \cdot n_7} \right) \quad (2.159)$$

Pierderile de energie pot fi calculate astfel:

$$q = \int_{n_6}^{n_7} i^2(t) dt = \int_{n_6}^{n_7} i^2(n) \frac{dt}{dn} dn \quad (2.160)$$

Utilizând relația (2.154), rezultă:

$$q = \frac{r_3^2 \cdot g}{m} \int_{n_6}^{n_7} \frac{dn}{a_3 - n^2} \quad (2.161)$$

cu soluția:

$$q = \frac{f_3^2 \cdot g}{\sqrt{a_3} \cdot m} \left| \operatorname{arcth} \frac{n}{\sqrt{a_3}} \right|_{n_6}^{n_7}$$

Dacă înlocuim limitele de integrare și ținând cont de relația cunoscută:

$$\operatorname{arcth} x - \operatorname{arcth} y = \operatorname{arcth} \frac{x - y}{1 - xy} \quad (2.162)$$

rezultă în final:

$$q = \frac{f_3^2 \cdot g}{\sqrt{a_3} \cdot m} \cdot \operatorname{arcth} \left(\sqrt{a_3} \cdot \frac{n_7 - n_6}{a_3 - n_7 \cdot n_6} \right) \quad (2.163)$$

$$Q = q \cdot V_n$$

b). Domeniul reglării prin modificarea tensiunii

Relația pentru punctul de desprindere (n_6, t_6)

este:

$$n^3 - 2 \cdot f_3 \cdot \frac{\hat{\Omega}}{m} \cdot n + f_3^2 \frac{\hat{\Omega}}{m^2} = 0 \quad (2.164)$$

Această ecuație este asemănătoare relației (2.93). Interesează numai cazul în care există trei soluții reale, adică discriminantul $D \leq 0$. Conform aceleiași metode a lui Cardan, soluțiile ecuației sunt:

$$\begin{aligned} n_a &= -2 \sqrt{\frac{2}{3} \cdot f_3 \cdot \frac{\hat{\Omega}}{m}} \cdot \cos \frac{\varphi}{3} \\ n_b &= 2 \sqrt{\frac{2}{3} \cdot f_3 \cdot \frac{\hat{\Omega}}{m}} \cdot \cos \left(60^\circ - \frac{\varphi}{3} \right) \\ n_c &= 2 \sqrt{\frac{2}{3} \cdot f_3 \cdot \frac{\hat{\Omega}}{m}} \cdot \cos \left(60^\circ + \frac{\varphi}{3} \right) \end{aligned} \quad (2.165)$$

ou:

$$\varphi = \arccos \frac{3}{4} \sqrt{\frac{3}{2} \cdot \frac{f_3^3}{\hat{\Omega} \cdot m}}$$

Dintre cele trei soluții reale n_a , n_b și n_c ; cea mai mică (și pozitivă), va fi turația punctului de desprindere dorit.

Timpul t_6 se poate determina din ecuația parabolei.

Ca ecuație diferențială pentru funcția turației rezultă:

$$d t = \frac{g}{f_3} \cdot \frac{1}{1 - \frac{m}{f_3} \cdot n} \cdot d n \quad (2.166)$$

a cărei soluție este:

$$t = - \frac{g}{m} \cdot n - \frac{f_3 \cdot g}{m} \cdot \ln \left(1 - \frac{m}{f_3} \cdot n \right) + C_1 \quad (2.167)$$

Constanta C_1 , care se determină din condițiile inițiale (pentru punctul de desprindere), este:

$$C_1 = t_6 + \frac{g}{m} \cdot n_6 + \frac{f_3 \cdot g}{m} \cdot \ln \left(1 - \frac{m}{f_3} \cdot n_6 \right) \quad (2.168)$$

deci forma finală a funcției turației este:

$$t = t_6 + \frac{g}{m} (n_6 - n) + \frac{f_3 \cdot g}{m} \cdot \ln \frac{f_3 - m \cdot n_6}{f_3 - m \cdot n} \quad (2.169)$$

Pentru lungimea l_{67} laminată în timpul limitării se poate scrie:

$$\begin{aligned} l_{67} = n_7 \cdot t_7 - n_6 \cdot t_6 &+ \int_{n_7}^{n_6} d n = n_7 \cdot t_7 - n_6 \cdot t_6 + \\ &+ t_6 \int_{n_7}^{n_6} \cdot d n + \frac{g}{m} \int_{n_7}^{n_6} (n_6 - n) \cdot d n + \\ &+ \frac{f_3 \cdot g}{m} \int_{n_7}^{n_6} \ln \frac{f_3 - m \cdot n_6}{f_3 - m \cdot n} \cdot d n \end{aligned}$$

După integrare rezultă:

$$l_{67} = n_7(t_7 - t_6) + \frac{g}{2m} (n_6 - n_7)^2 + \frac{f_3 \cdot g}{m} (n_6 - n_7) + \frac{f_3 \cdot g}{m} (f_3 - n_7) \cdot \ln \frac{f_3 - m \cdot n_6}{f_3 - m \cdot n_7} \quad (2.170)$$

Pierderile de energie se pot calcula astfel:

$$q = \int_{n_6}^{n_7} i^2(n) \cdot \frac{dt}{dn} \cdot dn = f_3 \cdot g \int_{n_6}^{n_7} \frac{dn}{n(1 - \frac{m}{f_3} \cdot n)}$$

de unde rezultă prin integrare:

$$q = f_3 \cdot g \cdot \ln \frac{f_3 - m \cdot n_6}{f_3 - m \cdot n_7} \quad (2.171)$$

$$Q = q \cdot V_n$$

Se menționează că în toate cazurile când apar limitări de curent, este necesară recalcularea valorii maxime a parabolei, \hat{n} . Recalcularea se face prin metoda de iterație expusă, ținând cont de lungimea laminată în limitare l_{67} sau l_{56} .

2.5. Concluzii

În capitolul de față se analizează influența limitărilor reale ce apar în procesul de laminare, asupra performanțelor laminării optime (timpul de laminare T și pierderile de energie Q). Relațiile matematice obținute permit atât o apreciere cantitativă a efectelor restricțiilor menționate, cât și stabilirea noii tahograme după care se va conduce laminarea. Pe această bază, în capitolele următoare se va întocmi un algoritm pentru simularea oricărui regim de laminare pe un calculator numeric și o schemă de conducere automată a procesului de laminare (în condițiile laminării optimizate, sub influența limitărilor reale). După cum se menționează și în paragraful 2.1., aceste cercetări au caracter original.

CAPITOLUL 3

ANALIZA PARAMETRILOR LAMINARII OPTIME, IN CAZUL PREZEN- TEI MAI MULTOR LIMITARI PE TRECERE

3.1. Generalități

Cazurile în care laminarea unui blum va avea loc strict în condițiile laminării optime sînt foarte rare. Utilizîndu-se un mare număr de treceri, se impune exploatarea domeniului de slăbire a cîmpului și totodată atingerea de multiple ori a limitei de curent, de turație și de accelerație. Deseori pot acționa mai mulți dintre parametrii amintiți mai sus în timpul unei treceri, complicînd calculul timpului de laminare T , a pierderilor de energie Q și a unor mărimi ca \dot{n} , $(dn/dt)_{\max}$, n_p , n_2' .

Pentru rezolvarea acestei probleme, se propune utilizarea unui calculator numeric care, pe lîngă calculele propriuzise, va lua și o serie de decizii logice. Calculatorul primește datele trecerii (l , n_1 , n_2 , m) și parametrii instalației și va hotărî care dintre limitări vor acționa. El va trebui, de asemenea, să verifice dacă unele limitări nu se exclud reciproc după care să treacă, pentru fiecare caz în parte, la calculul timpului de laminare și a pierderilor de energie. Datorită multiplelor limitări care pot apărea, parabola optimă se recalculează de mai multe ori pentru o trecere, rezultînd în final o tahogramă compusă din porțiuni de parabolă și drepte provenite din limitări.

În prezentul capitol se prezintă programul (în limbaj FORTRAN H) care permite realizarea dezideratelor menționate mai sus. Prin rularea acestuia pe un calculator I B M 370 s-au analizat cîteva cazuri reale, caracteristice, care demonstrează valabilitatea programului și permit obținerea unor concluzii de mare importanță practică. În final, cercetările sînt extinse pentru toate trecerile care compun laminarea unui lin-

gou în semifabricat, demonstrându-se superioritatea laminării optimizate (ținând cont și de condițiile reale), din punct de vedere al pierderilor de energie și a timpului total de laminare.

Cercetările menționate mai sus sînt originale.

3.2. Programul pentru determinarea timpului de laminare T și a pierderilor de energie

3.2.1. Descrierea schemei logice

Pentru întocmirea schemei logice de calcul s-a considerat că laminarea se face după parabola optimă, supusă limitărilor analizate în Capitolul 2. Influența limitării de curent $i = f_3/n$ nu s-a analizat, deoarece ea este foarte rar întâlnită în practică, fapt rezultat din literatura de specialitate /27/, /15/ și demonstrat în figura 2.20. Utilizarea limitării de curent $i = f_0 + f_1 \cdot n$ corespunde mai bine fenomenelor ce se produc în mașina de c.c. la slăbirea cîmpului (limitarea $i = f_3/n$ nu se aplică la nici un laminor din țară, pe cînd $i = f_0 + f_1 \cdot n$ apare la majoritatea). De asemenea, s-a considerat că limitările de curent exclud limitarea de turație. Aceasta nu înseamnă o îngrădire a valabilității programului, deoarece fiecărei limitări de curent din domeniul de slăbire a cîmpului îi corespunde o valoare asimptotică a turației, n_{as} , de valoarea căreia se apropie turația reală și pe care nu o poate depăși. Aproape întotdeauna, limita de turație se află mult deasupra valorii n_{as} /15/. Considerarea simultană a celor două limitări menționate complică în mod deosebit programul, fără o justificare reală.

Toate celelalte limitări pot acționa independent sau simultan în cursul unei treceri, rezultînd un mare număr de cazuri posibile. Programul este astfel conceput, încît pentru fiecare parametru se introduce o noțiune nouă - "indicele de laminare Y" - , cu o anumită pondere zecimală. Valoarea acestui indice dă indicații asupra parametrului respectiv, caracterizîndu-l complet.

S-au folosit următorii indici de laminare:

$$Y_1 = (1 \div 5) \cdot 10^0 - \text{limitare } dn/dt ;$$

$$Y_2 = (1 \div 3) \cdot 10^1 - \text{limitare de turație ;}$$

$$Y_3 = (1 \div 4) \cdot 10^2 - \text{trecerea din domeniul reglării prin tensiune, în cel al reglării prin flux ;}$$

$$Y_4 = (1 \div 5) \cdot 10^3 - \text{limitare de curent } i = f_0 ;$$

$$Y_5 = (1 \div 2) \cdot 10^4 - \text{limitare de curent } i = f_0 + f_1 n ;$$

a). Limitare de accelerație dn/dt , indicele Y_1 (fig. 3.1.)

În funcție de poziția relativă a punctului n_p (trece-rea de la dreapta la parabolă sau invers) față de punctele n_1 , n_2 , \hat{n} , pot exista următoarele cazuri:

$$Y_1 = 1: n_1 > n_{p1} \text{ și } n_2 > n_{p2} - \text{fără limitare } dn/dt - \text{fig. 3.1.a;}$$

$$Y_1 = 2: n_1 > n_{p1} \text{ și } n_2 < n_{p2} - \text{limitare } dn/dt \text{ la dreapta - fig. 3.1. b ;}$$

$$Y_1 = 3: n_1 < n_{p1} \text{ și } n_2 > n_{p2} - \text{limitare } dn/dt \text{ la stînga - fig. 3.1. c ;}$$

$$Y_1 = 4: n_1 < n_{p1} \text{ și } n_2 < n_{p2} - \text{limitare } dn/dt \text{ la stînga și la dreapta - fig. 3.1. d ;}$$

$$Y_1 = 5: n_p > \hat{n} - \text{tahogramă triunghiulară ;}$$

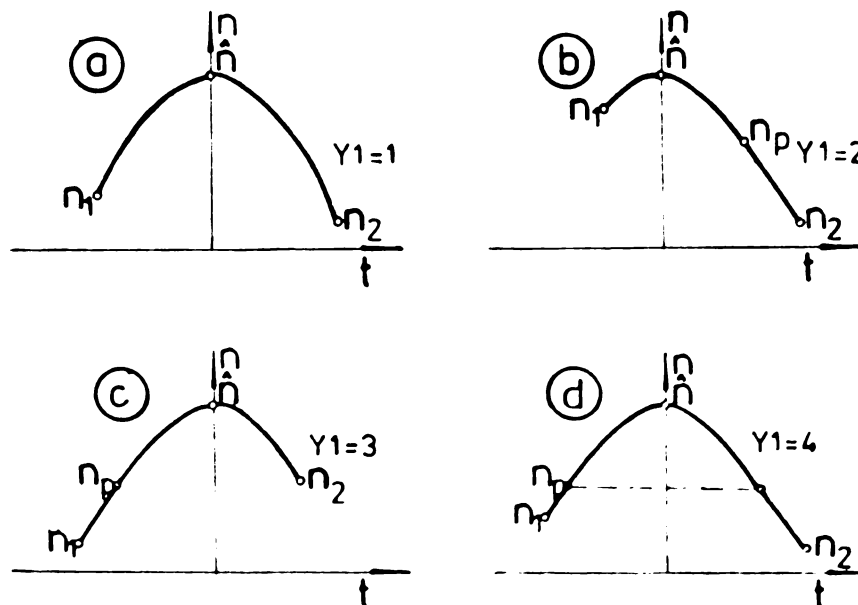


FIG. 3.1.

b). Limitare de turație - indicele Y 2 (fig. 3.2.)

Y 2 = 10: $n_L > \hat{n}$ - fără limitare de turație ;

Y 2 = 20: $n_L < n_n$; $n_L < \hat{n}$ - limitare de turație în zona de reglaj U ;

Y 2 = 30: $n_L > n_n$; $n_L < \hat{n}$ - limitare de turație în zona de reglaj Ø .

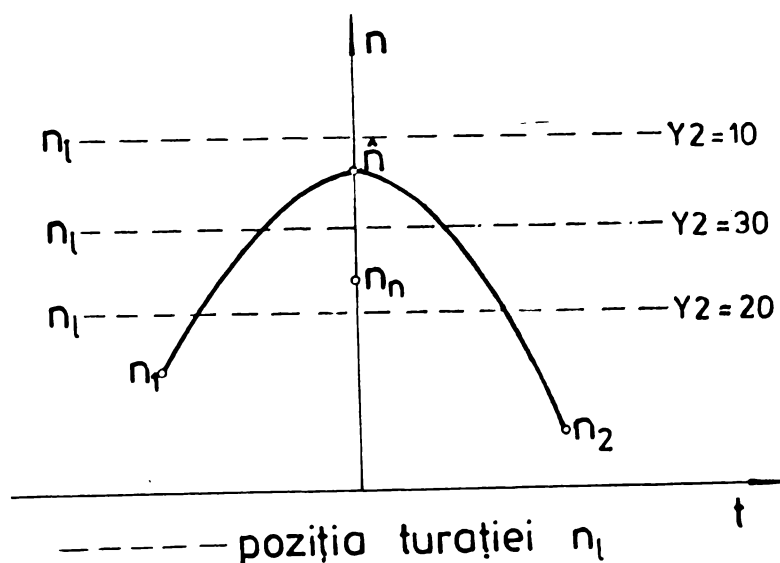


FIG. 3.2

c). Trecerea din zona de reglaj prin tensiune, în cea de reglaj prin flux - indicele Y 3 (fig. 3.3.)

Y 3 = 100: $n_n > \hat{n}$ - tot timpul laminării, reglajul se face prin tensiune ;

Y 3 = 200: $n_p < n_n < \hat{n}$ - limitarea dn/dt acționează numai în domeniul de reglaj prin tensiune ;

Y 3 = 300: $(n_1 \cup n_2) < n_n < n_p$ - limitarea dn/dt acționează în ambele domenii de reglaj (între n_1 și n_n în domeniul de reglaj prin tensiune, iar între n_n și n_p în domeniul de reglaj prin flux) ;

Y 3 = 400: $n_n < (n_1 \text{ și } n_2)$ - tot timpul laminării reglajul se face prin flux, deci limitarea apare numai în domeniul de reglaj prin flux ;

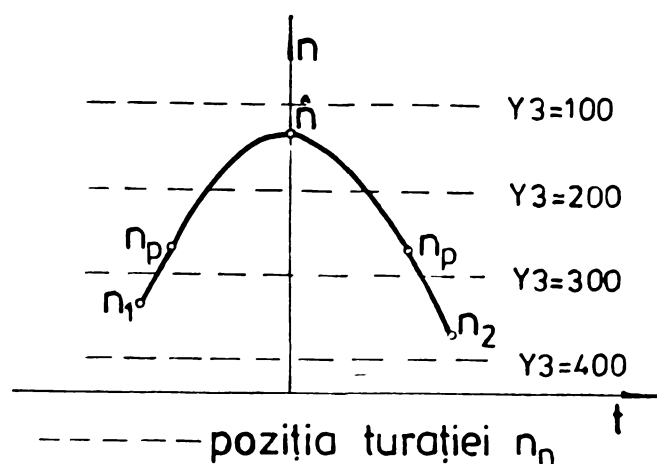


FIG. 3.3.

d). Limitarea de curent $i = f_0$ - indicele Y 4 (fig. 3.4.)

- Y 4 = 1000: $i_L > (i_{F,max.} \text{ și } i_{u,max.})$ - nu apare limitarea de curent ;
- Y 4 = 2000: $i_{u,max.} > i_L > i_{F,max.}$ - limitare f_0 în zona de reglaj U ;
- Y 4 = 3000: $i_{F,max.} > i_L > i_{u,max.}$ - limitare f_0 în zona de reglaj \emptyset ;
- Y 4 = 4000: $(i_{u,max.} \text{ și } i_{F,max.}) > i_L > i^*$ - limitare f_0 în ambele zone, dar disparat ;
- Y 4 = 5000: $i_L < i^*$ - limitare f_0 continuă în ambele zone ;

unde s-au utilizat notațiile:

- $i_{u,max.}$ - curentul maxim în domeniul reglării prin tensiune ;
- $i_{F,max.}$ - curentul maxim în domeniul reglării prin flux ;
- i^* - curentul în punctul de trecere de la un domeniu la altul ;

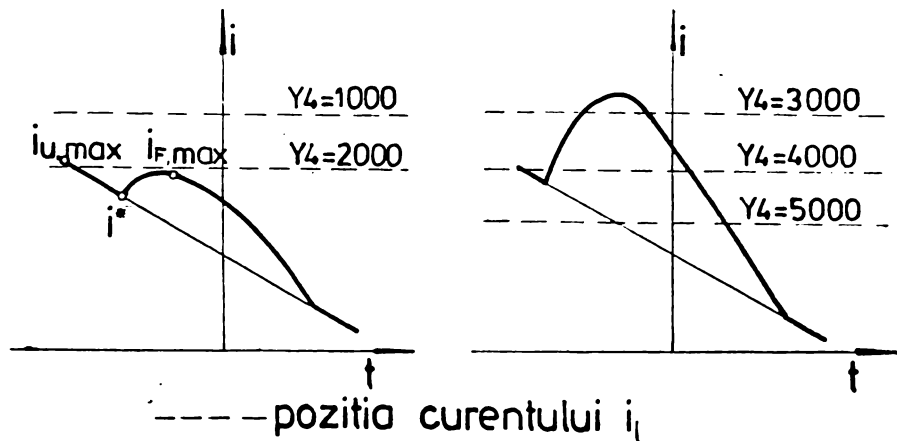


FIG. 3.4.

i_L - curentul limită ;

n_L - turația limită ;

e). Limitarea de curent $i = f_0 + f_1 \cdot n$

Conform celor menționate în Capitolul 2, acest tip de limitare se utilizează pentru îmbunătățirea comutației în cazul reglării turației prin diminuarea fluxului, motiv pentru care ea se consideră numai în acest domeniu.

$Y_5 = 10000$: $\Delta > 0$ - nu apare limitare $i = f_0 + f_1 \cdot n$;

$Y_5 = 20000$: $\Delta \leq 0$ - există limitare $i = f_0 + f_1 \cdot n$.

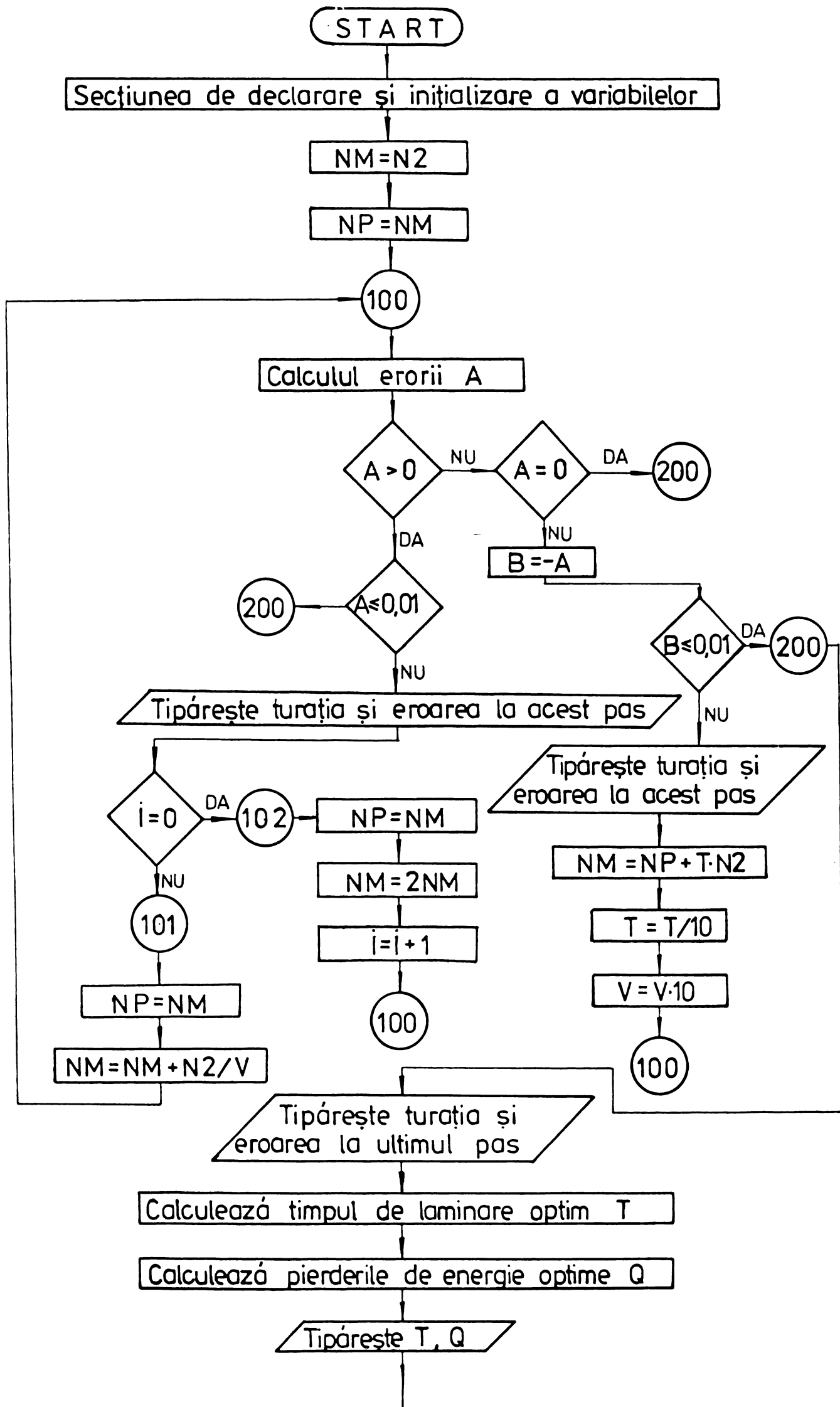
Utilizarea indicilor de laminare permite calculatorului să aleagă o anumită ramură din program, în funcție de datele de intrare și de datele instalației. De asemenea, prin adunarea celor cinci indici, se obține "indicele caracteristic al laminării" Y :

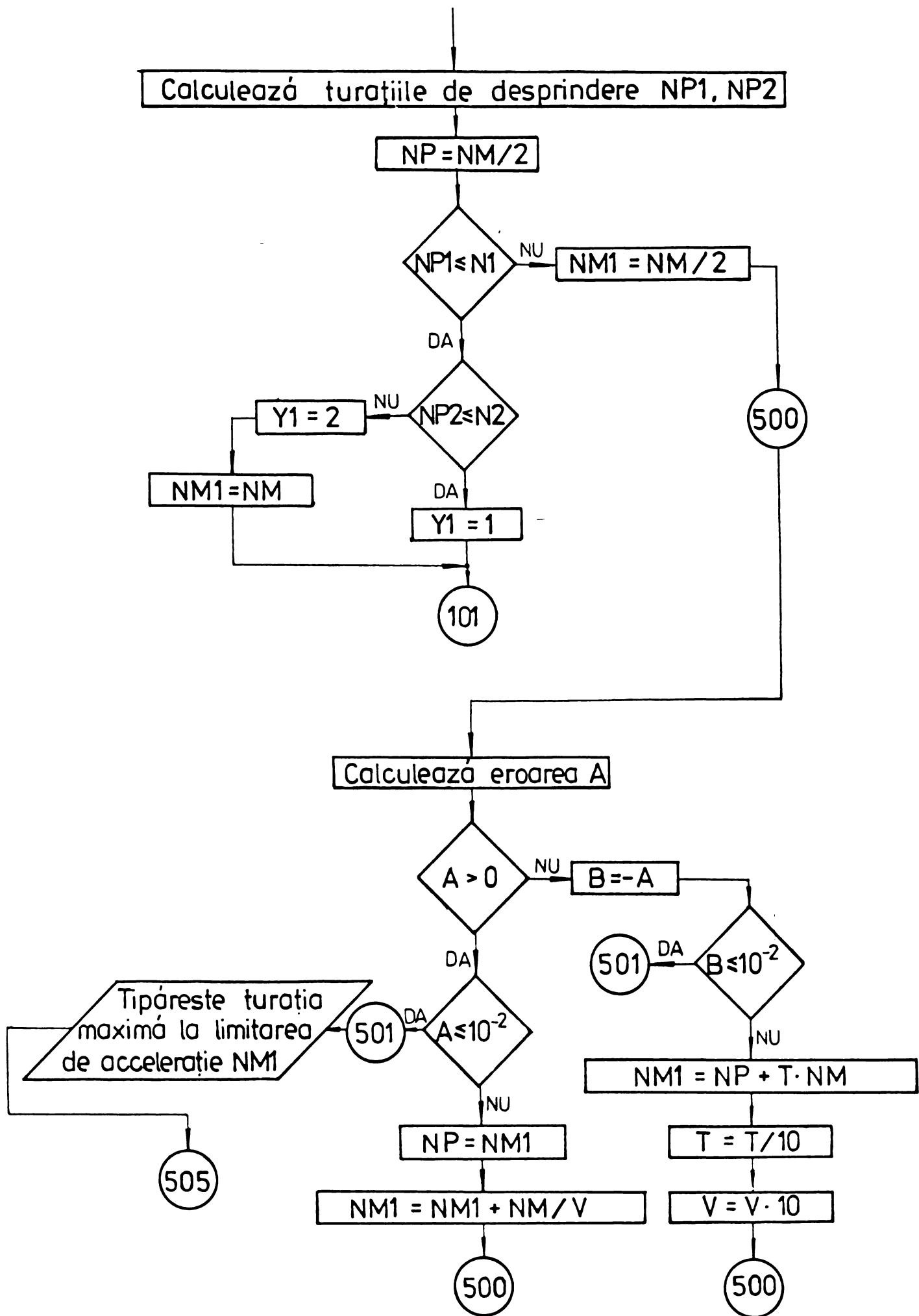
$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 \quad (3.1)$$

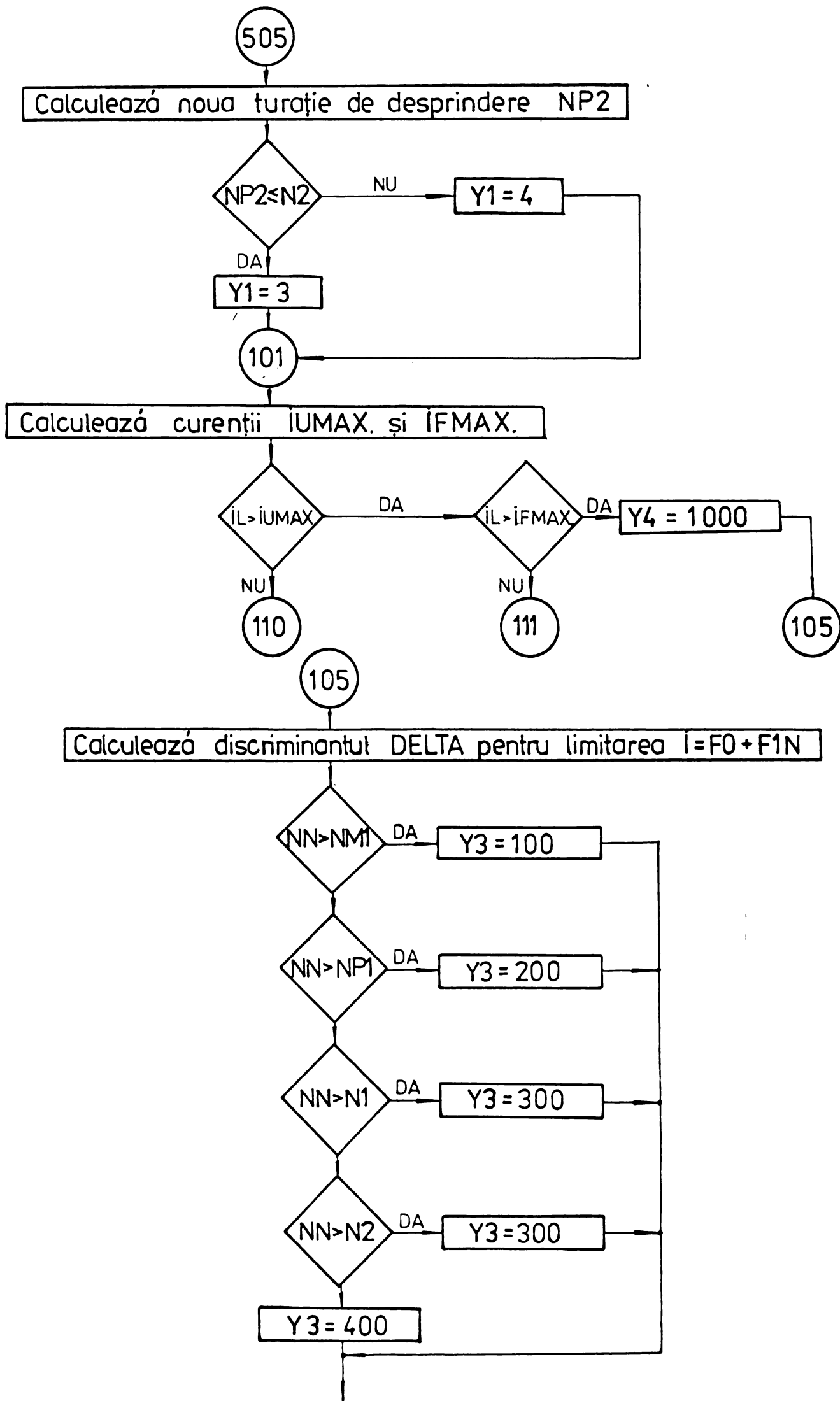
care ne dă informații, în mod sintetic, despre trecerea respectivă, caracterizînd-o din toate punctele de vedere.

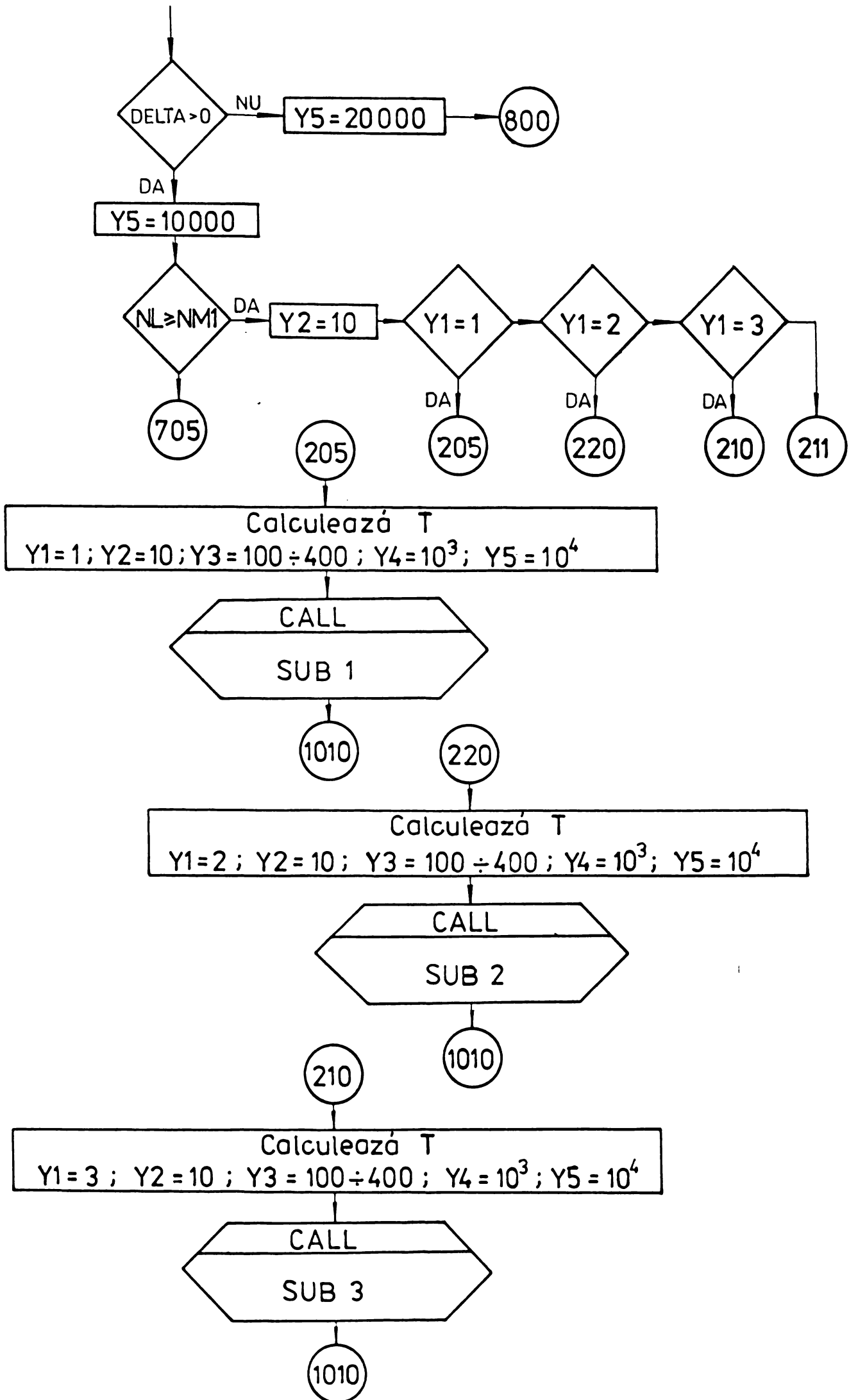
Logigrama programului este prezentată în paginile 101 - 121.

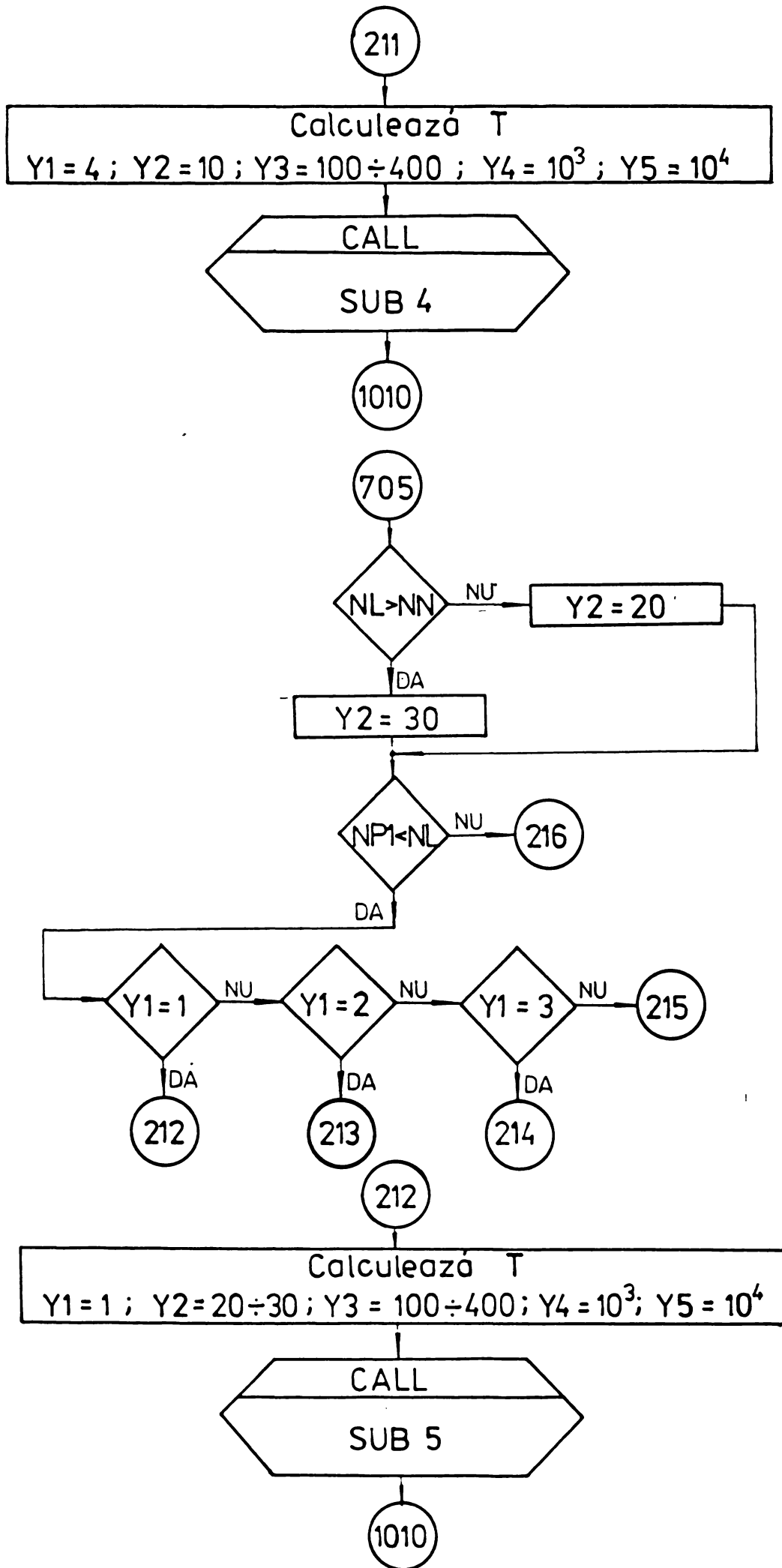
După introducerea datelor instalației și a datelor trecerii, se calculează prin metoda de iterație expusă în paragraful 2.3., parabola optimă, apoi timpul optim de laminare și pierderile de energie în această situație, fără a lua în considerare limitările. Toate mărimile calculate sînt tipărite la im-

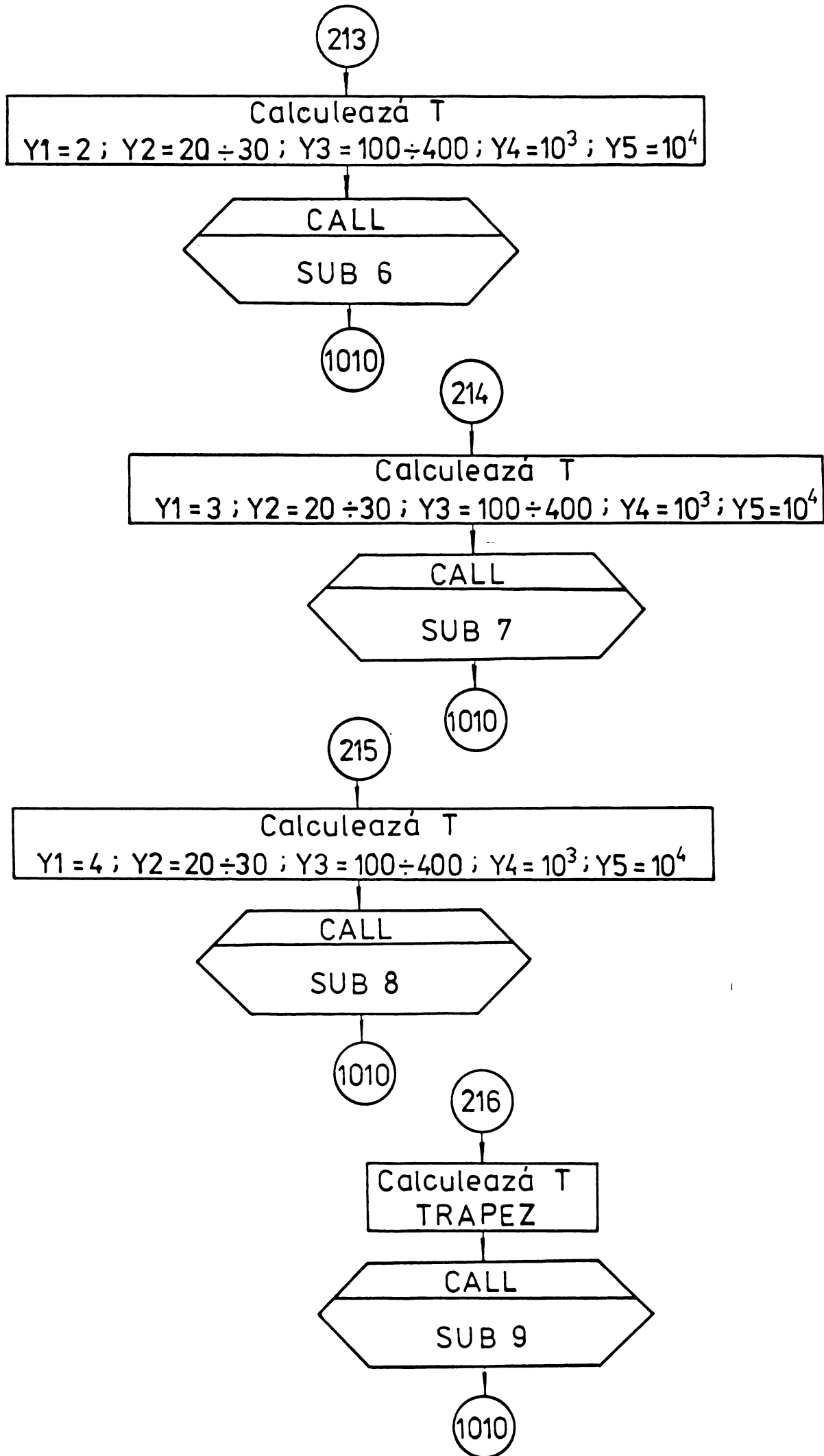


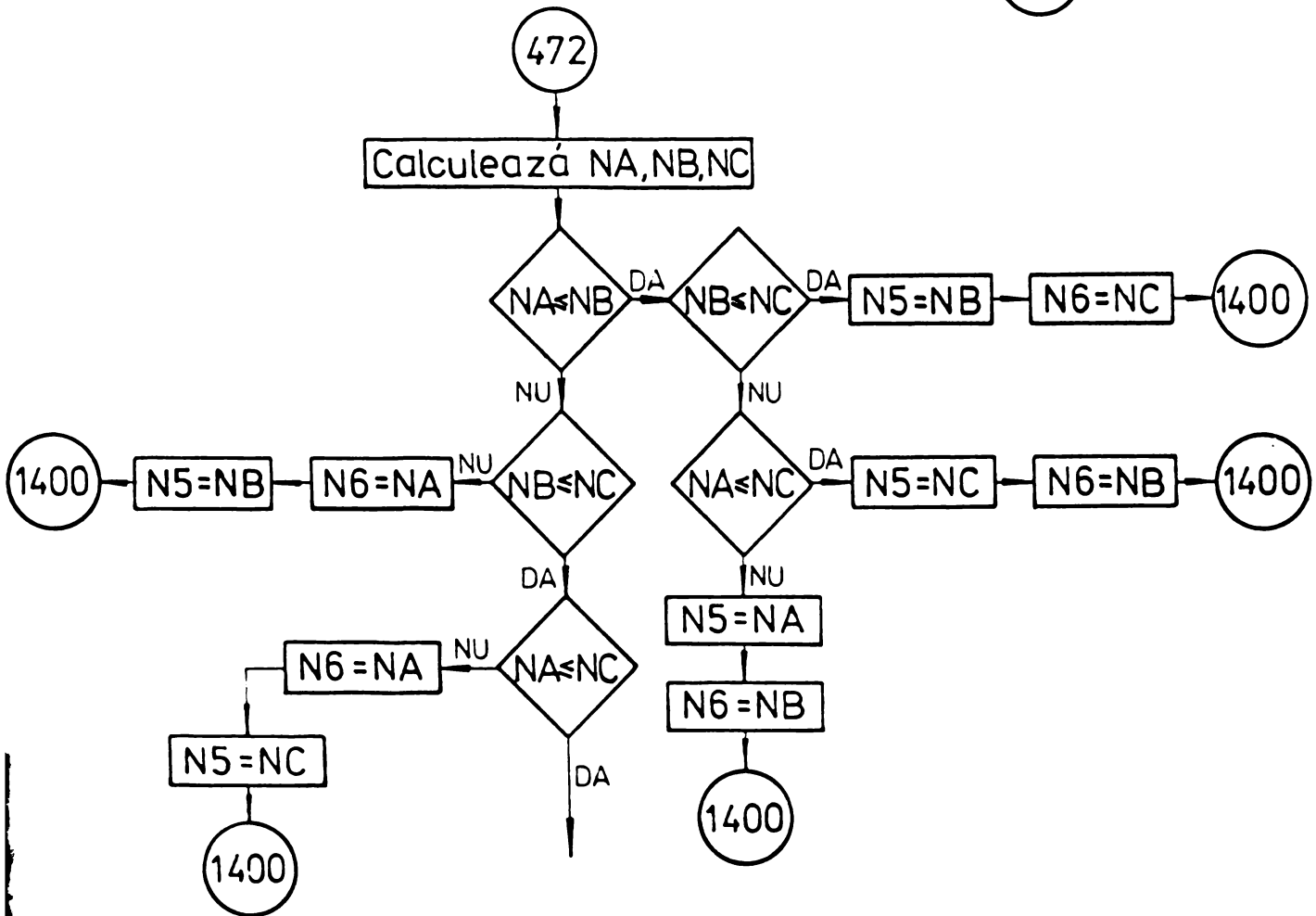
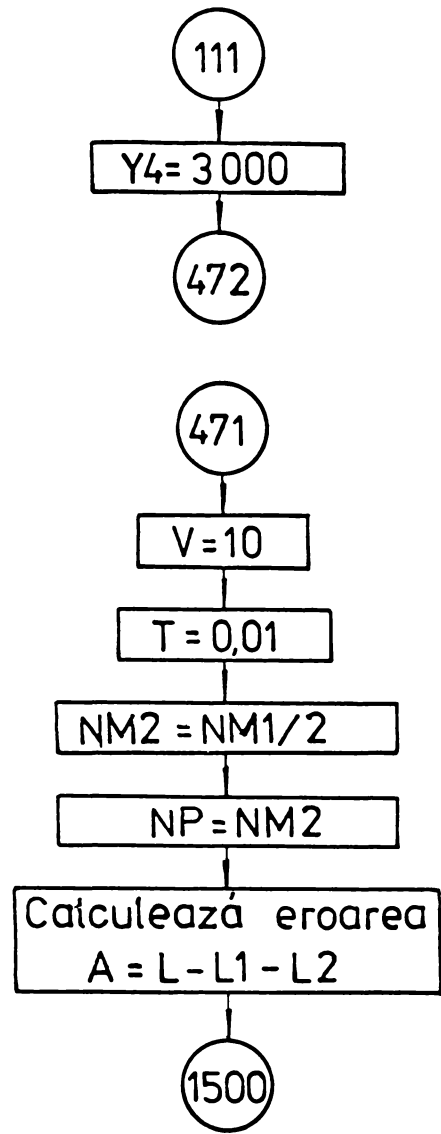
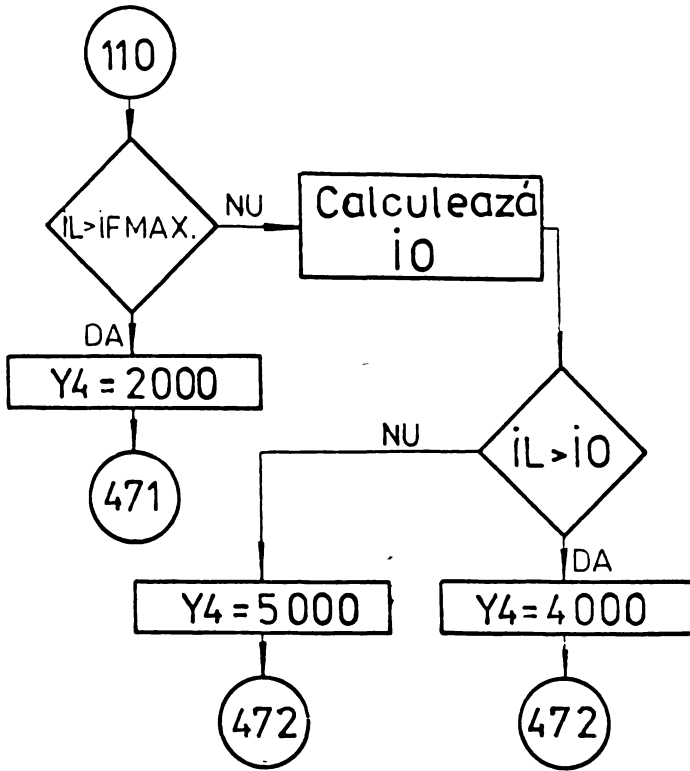


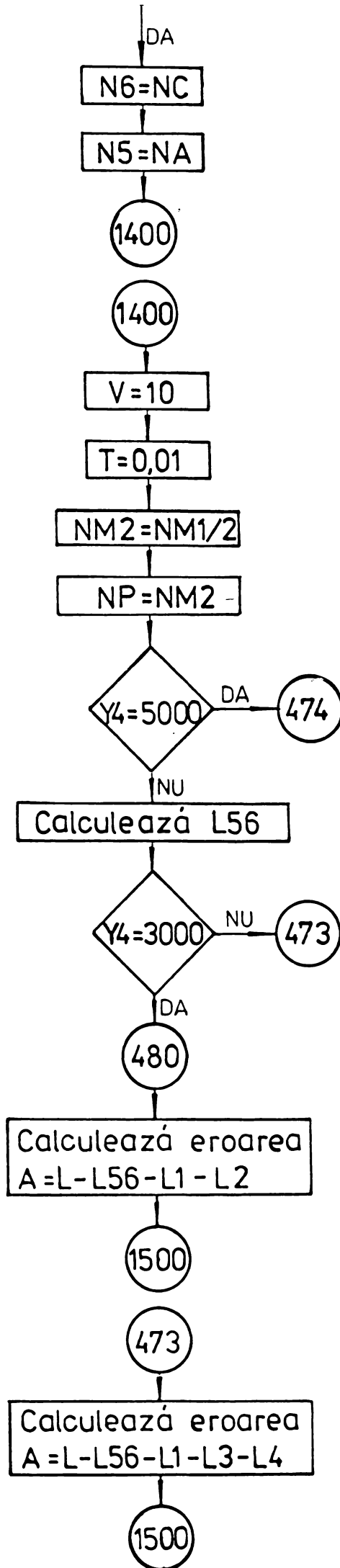


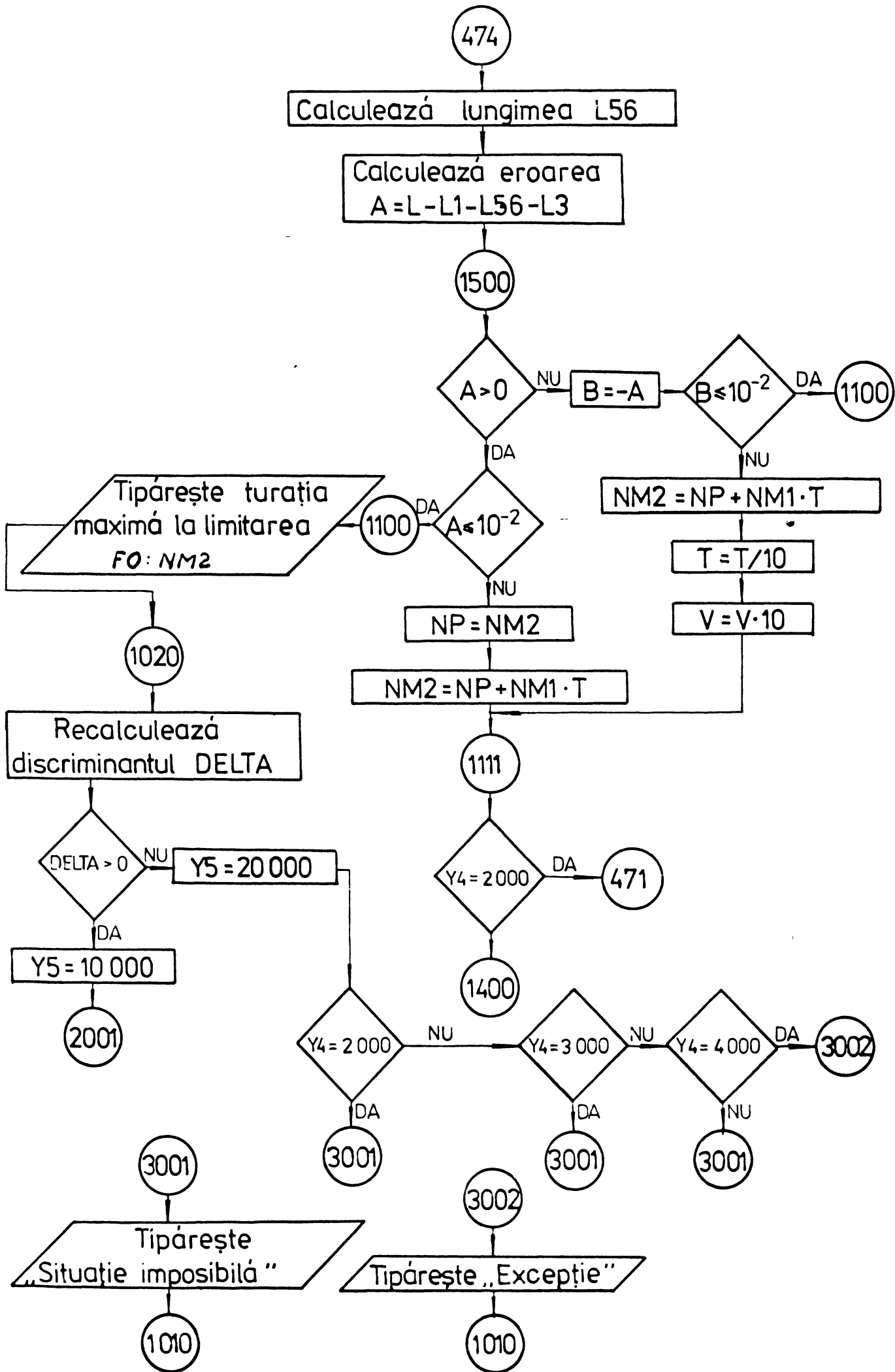


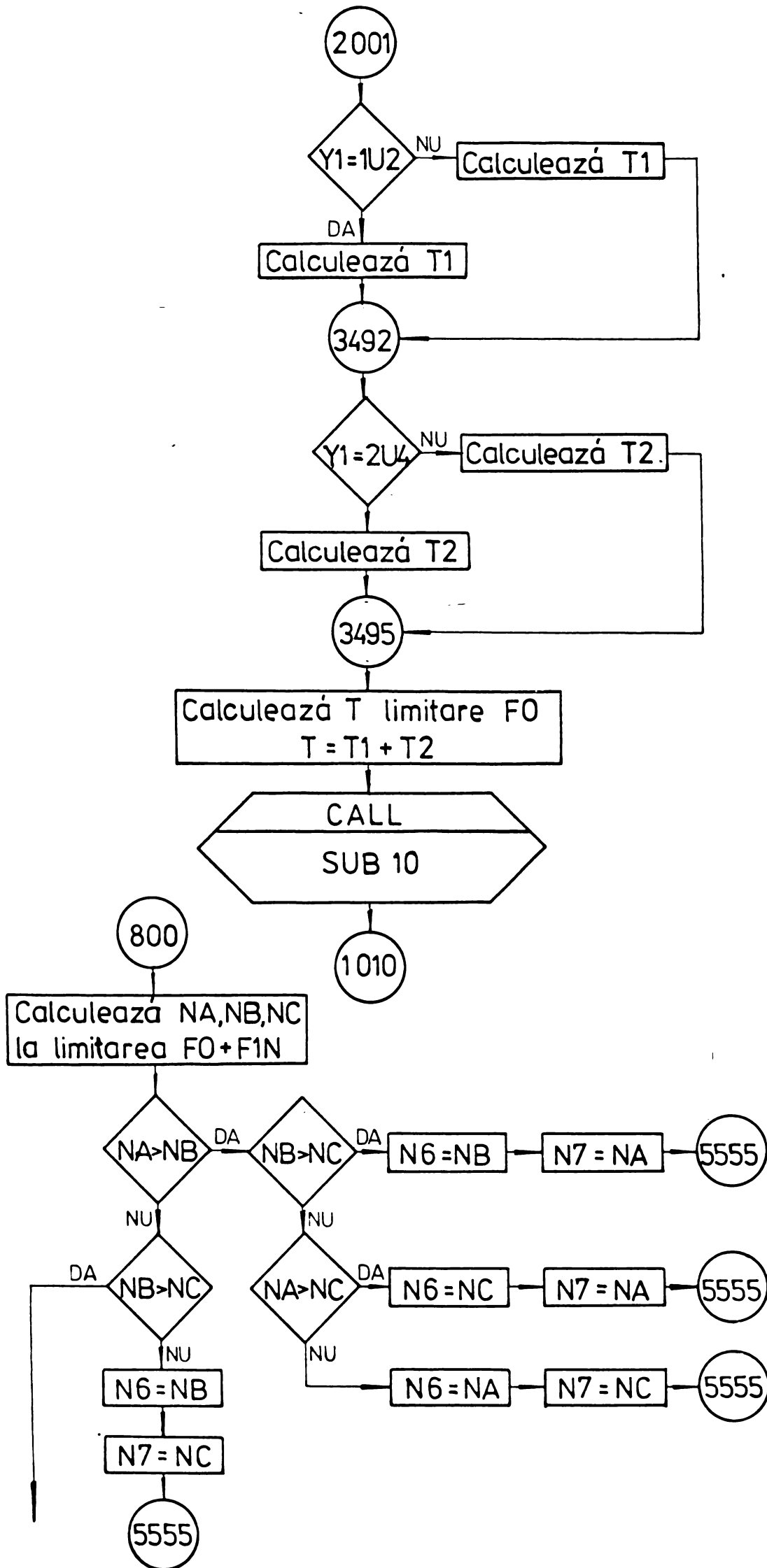


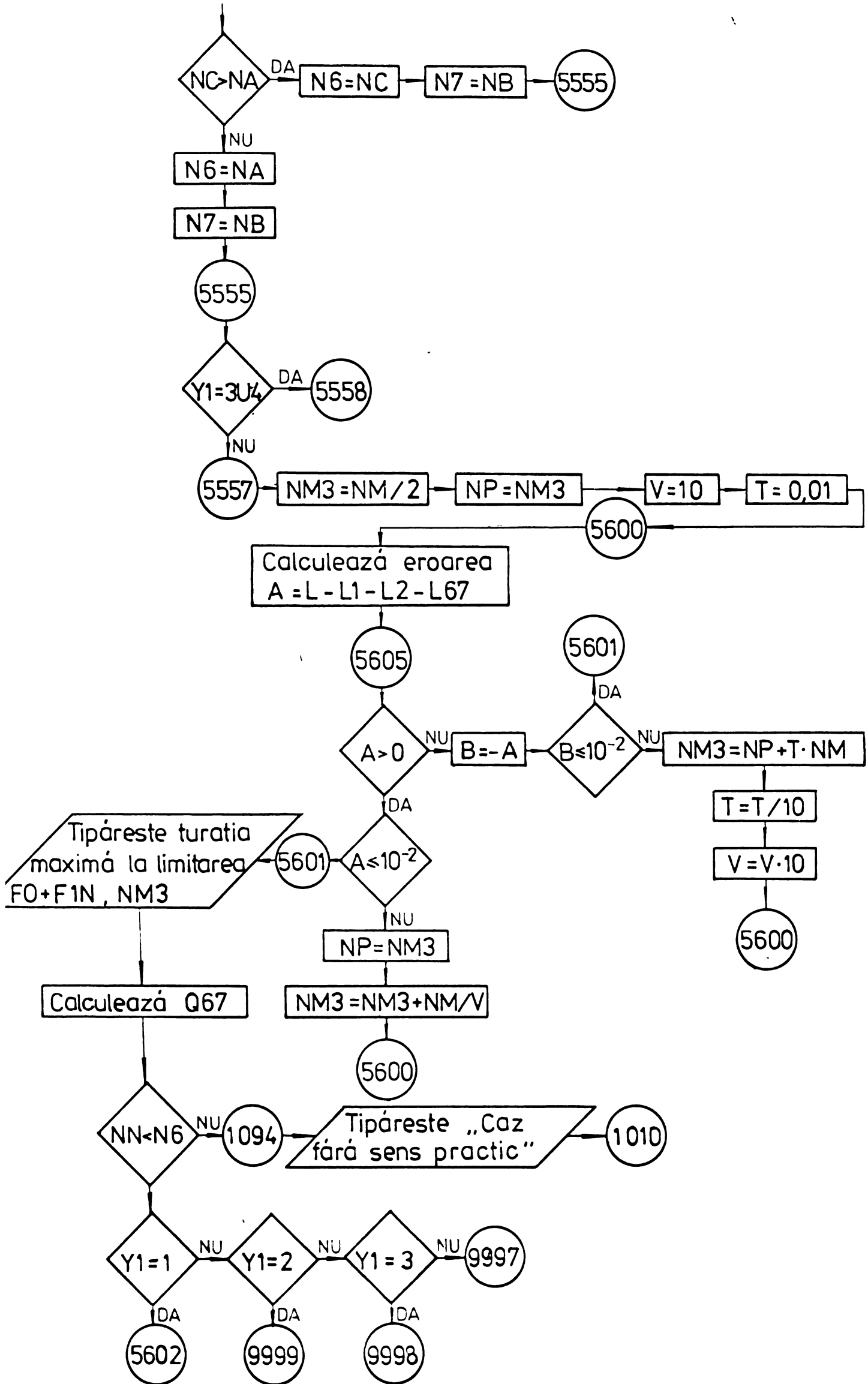


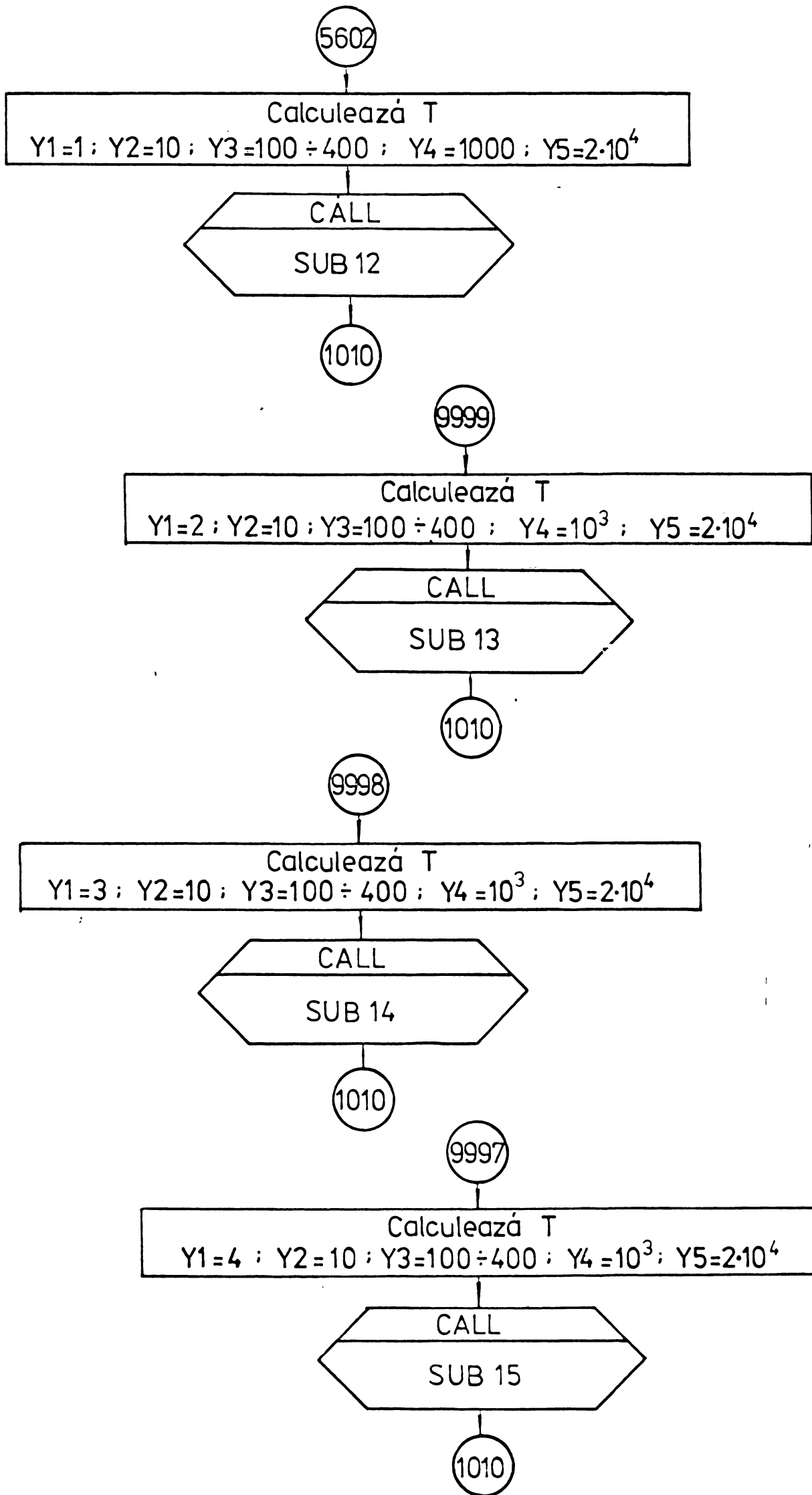


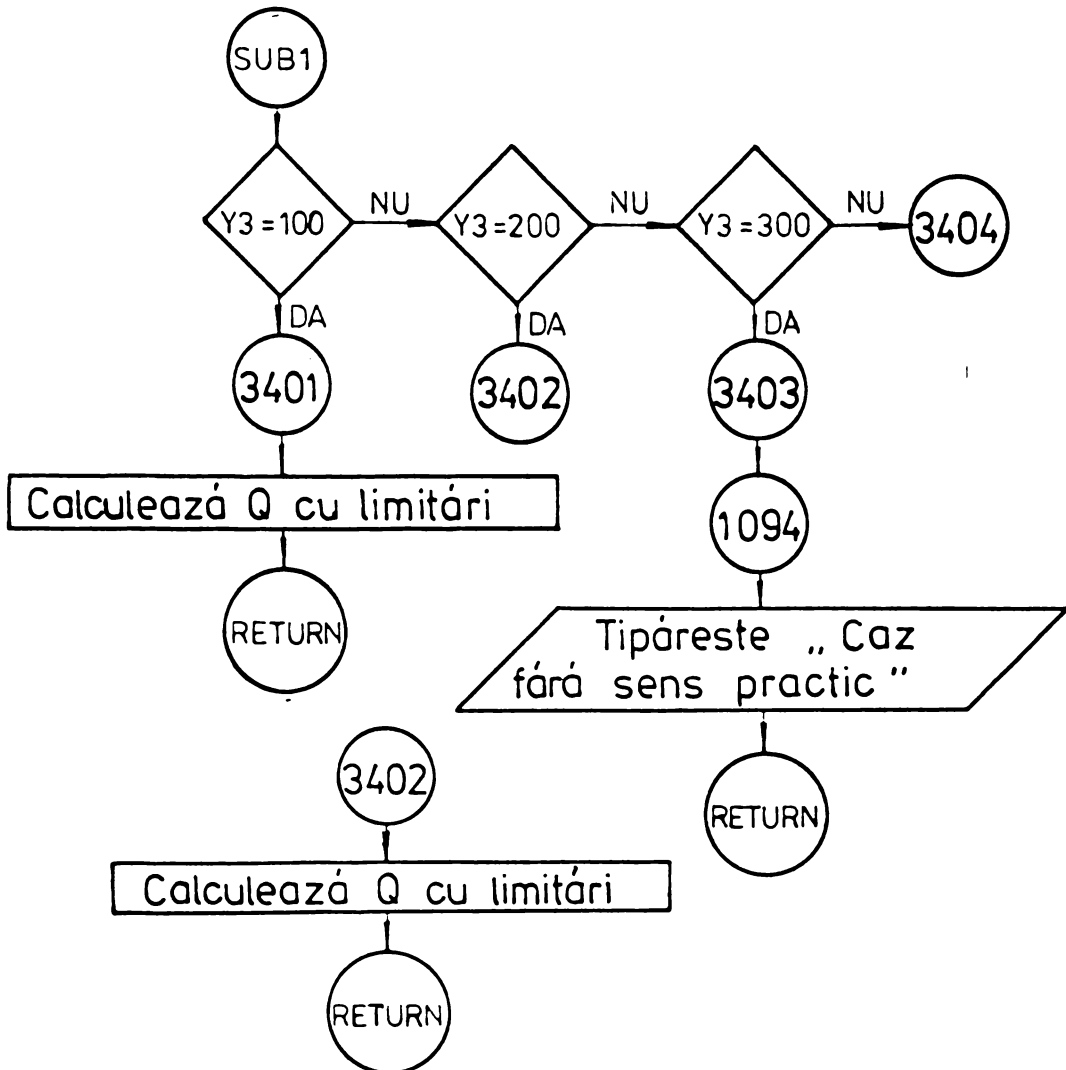
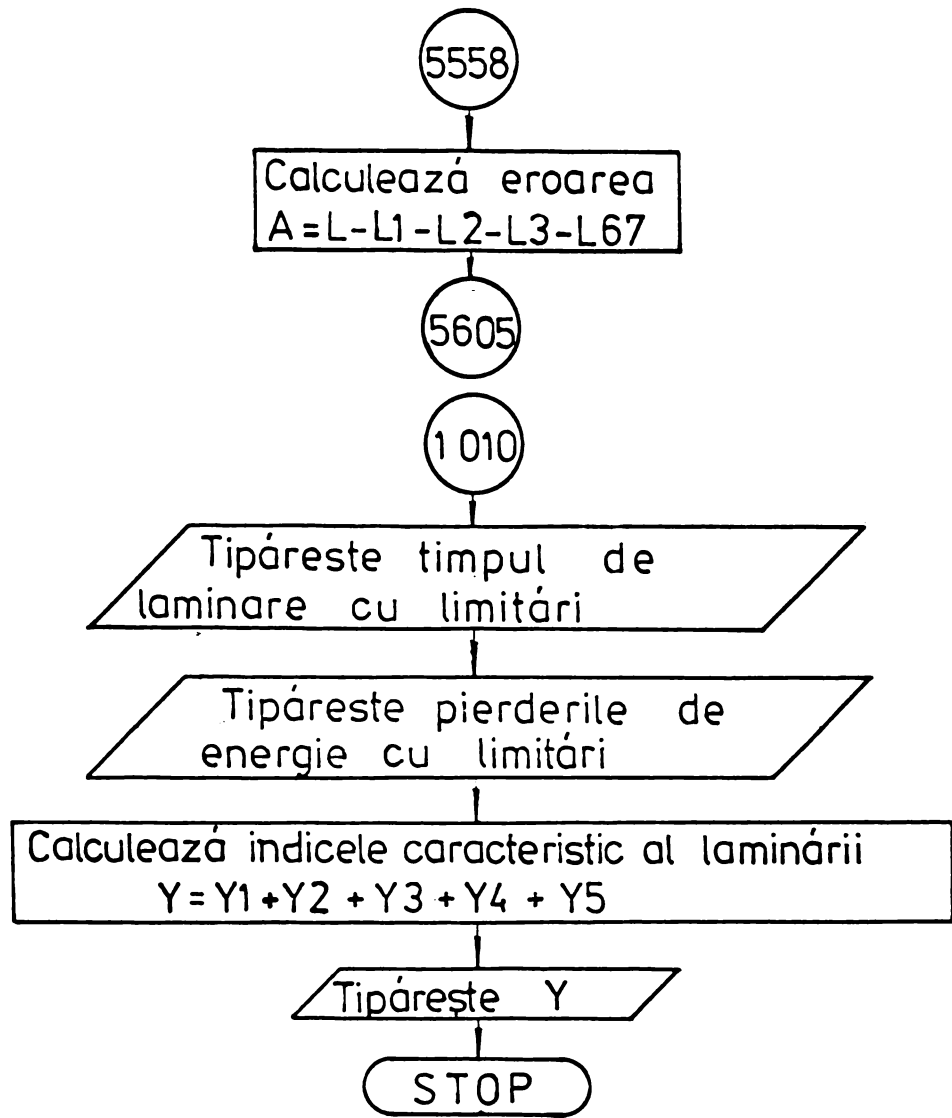


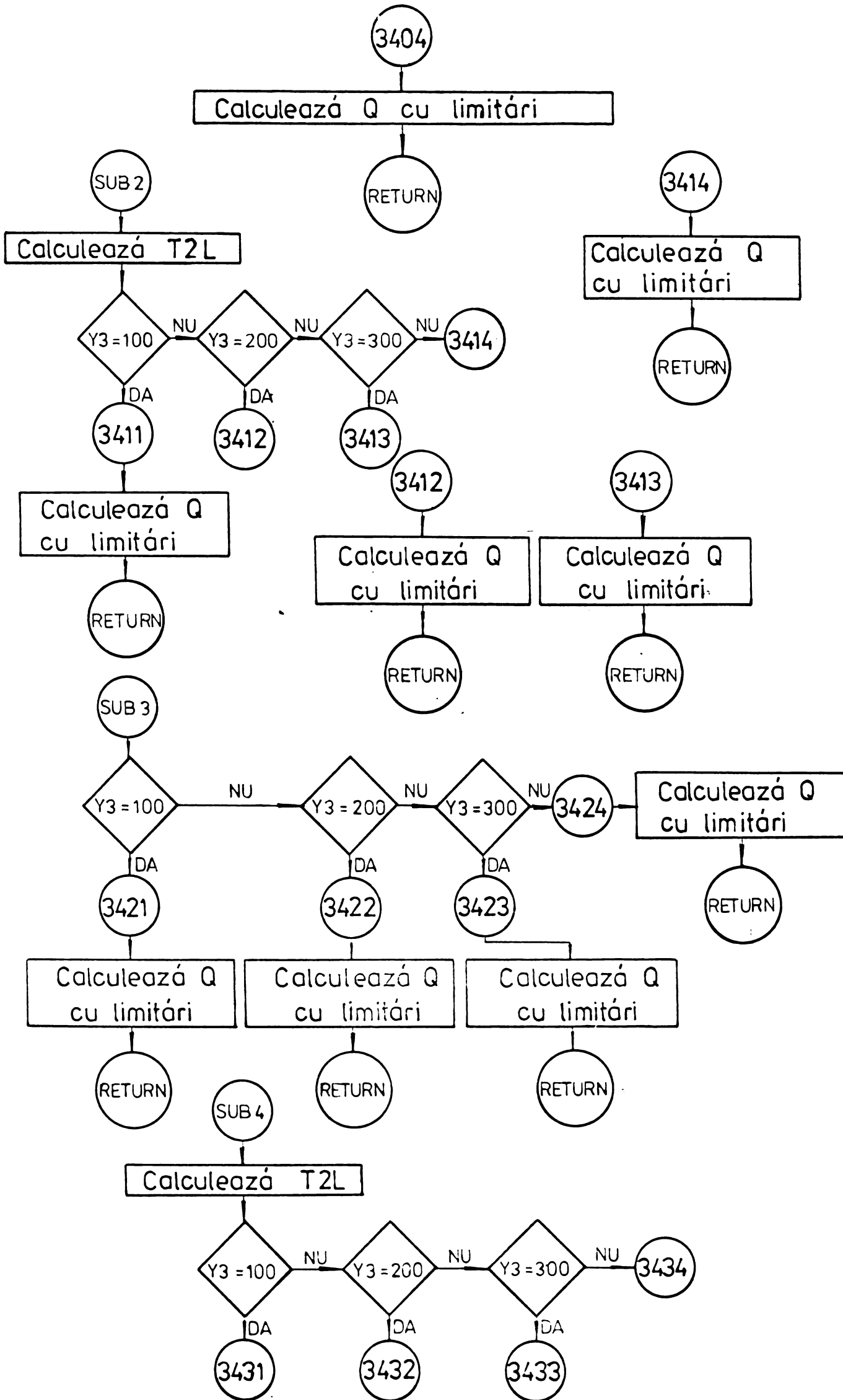


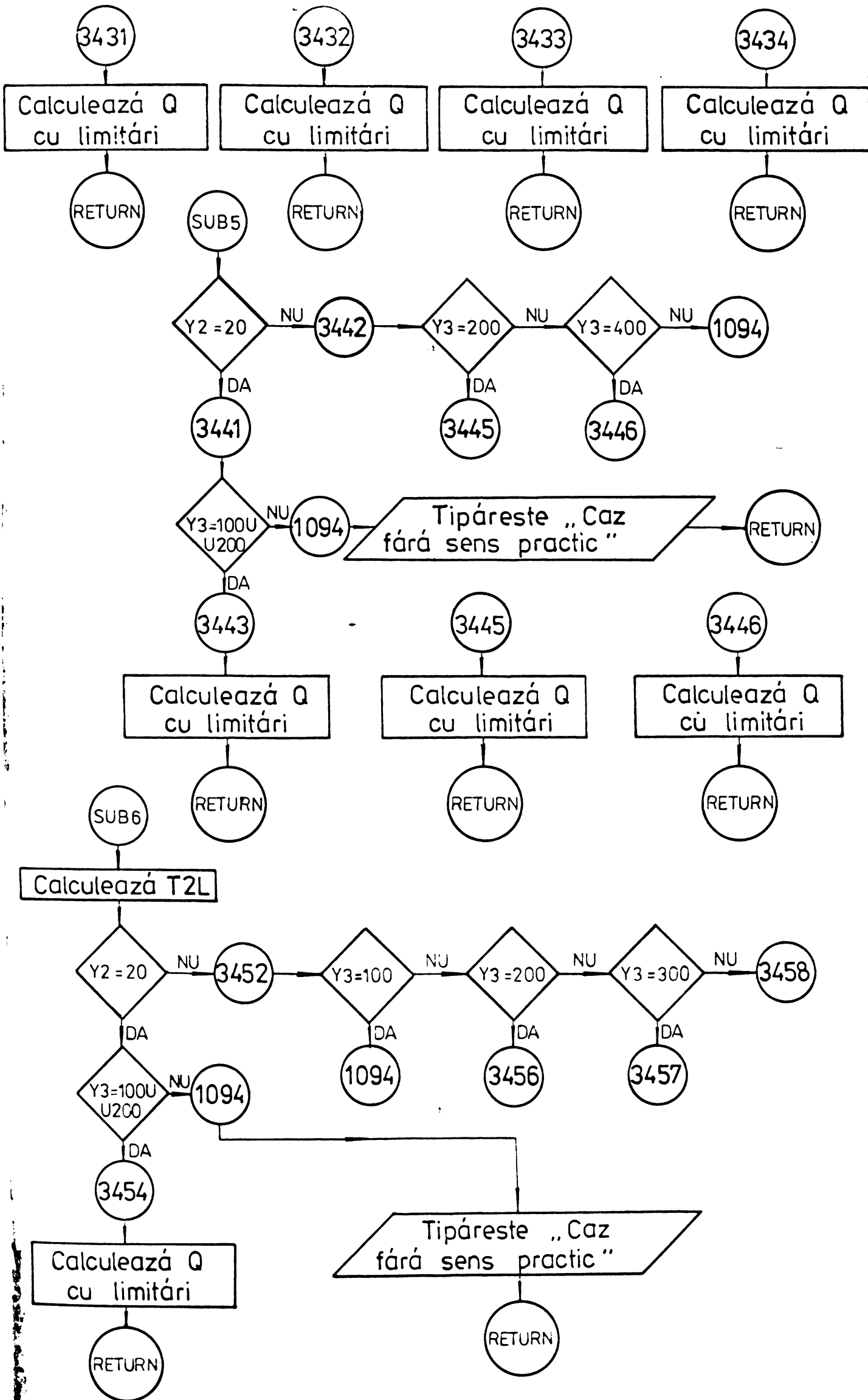


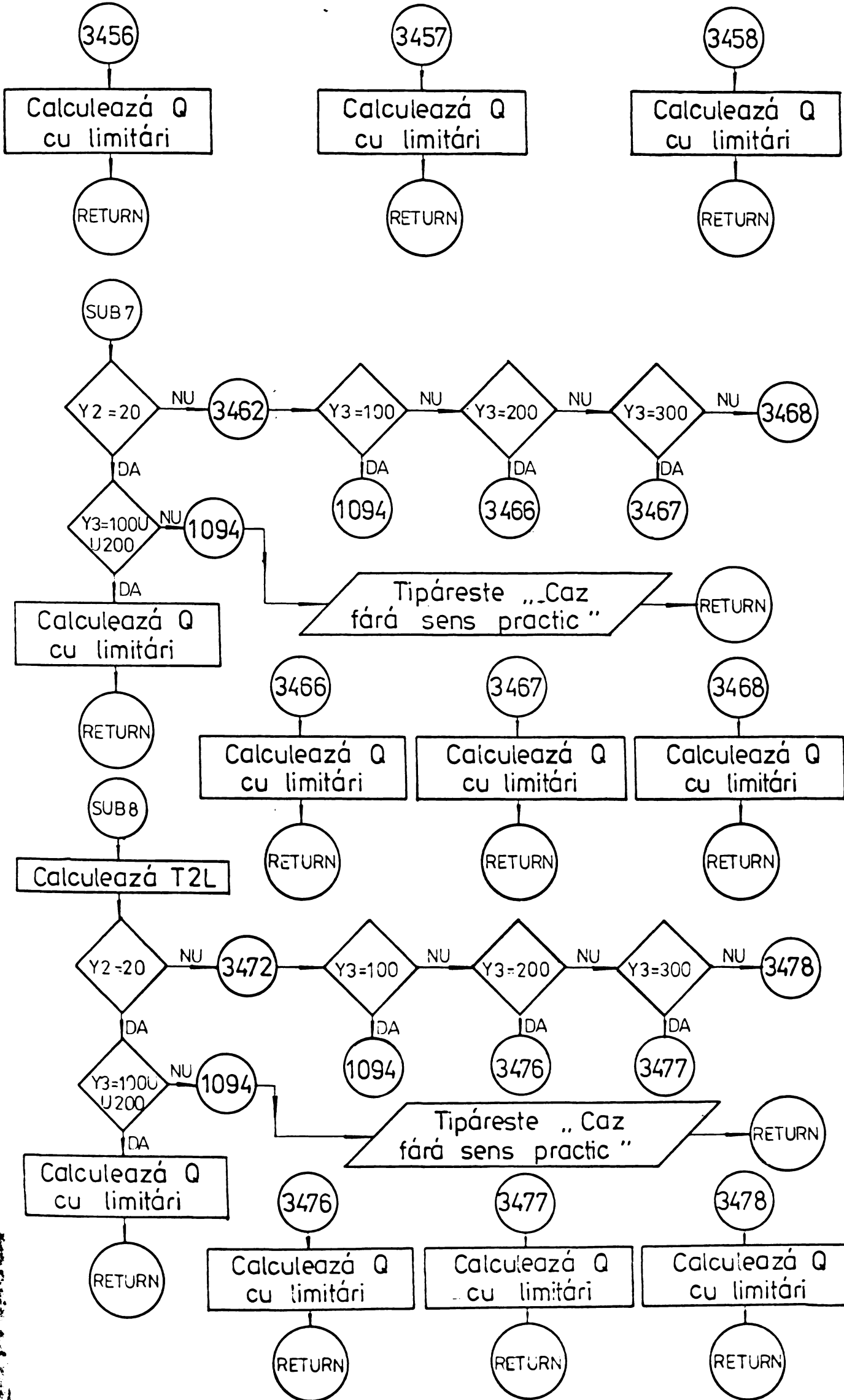


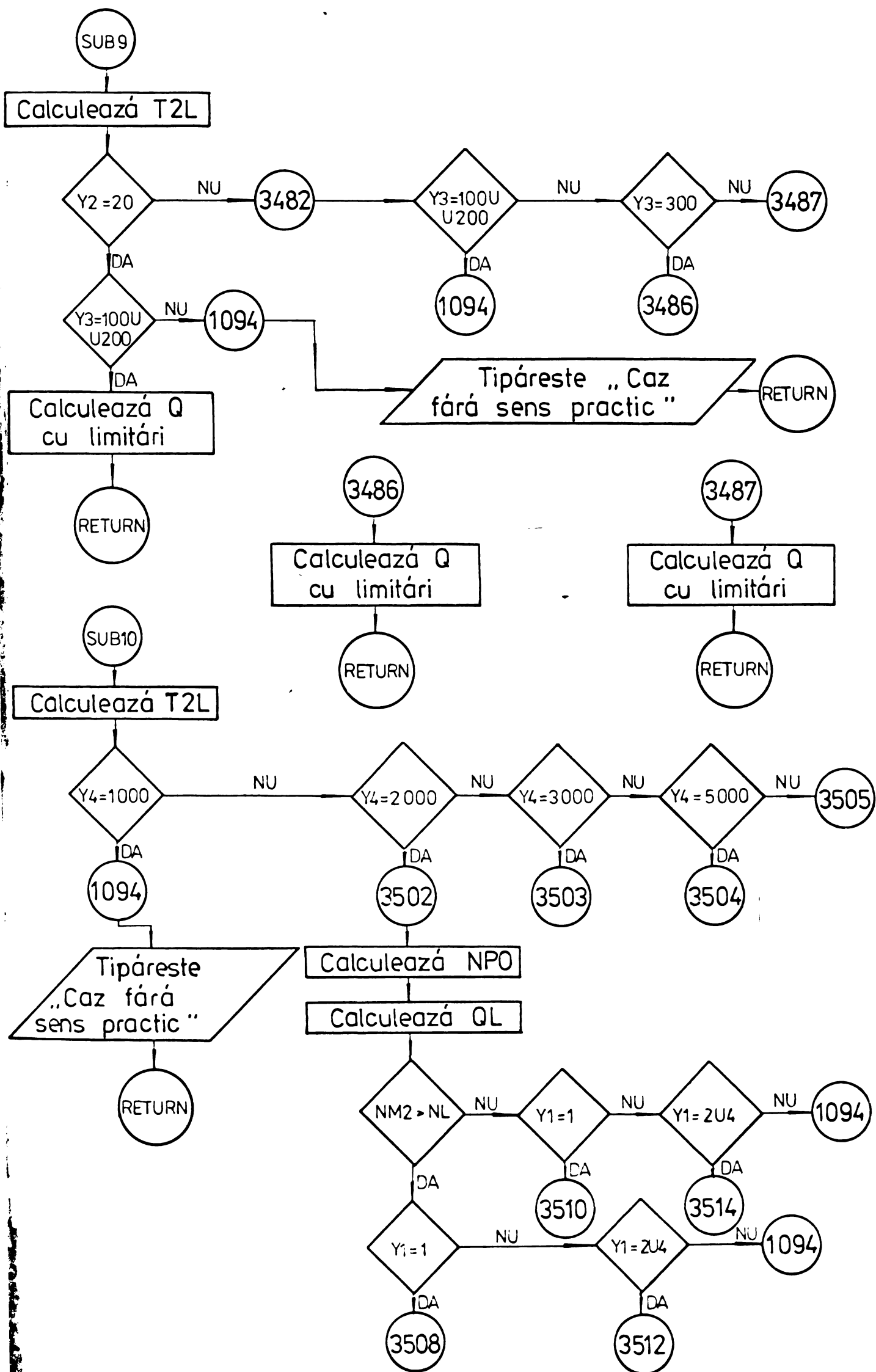


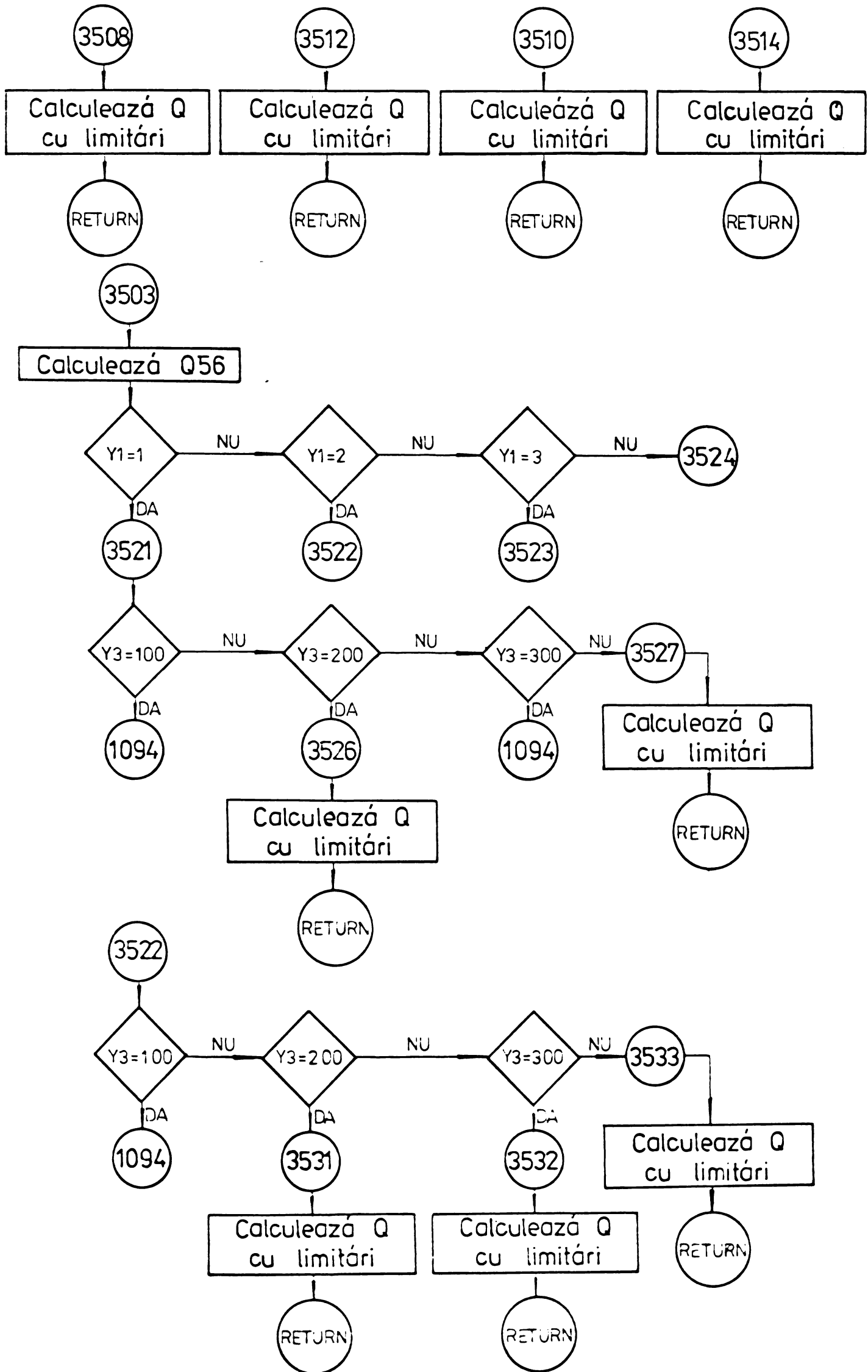


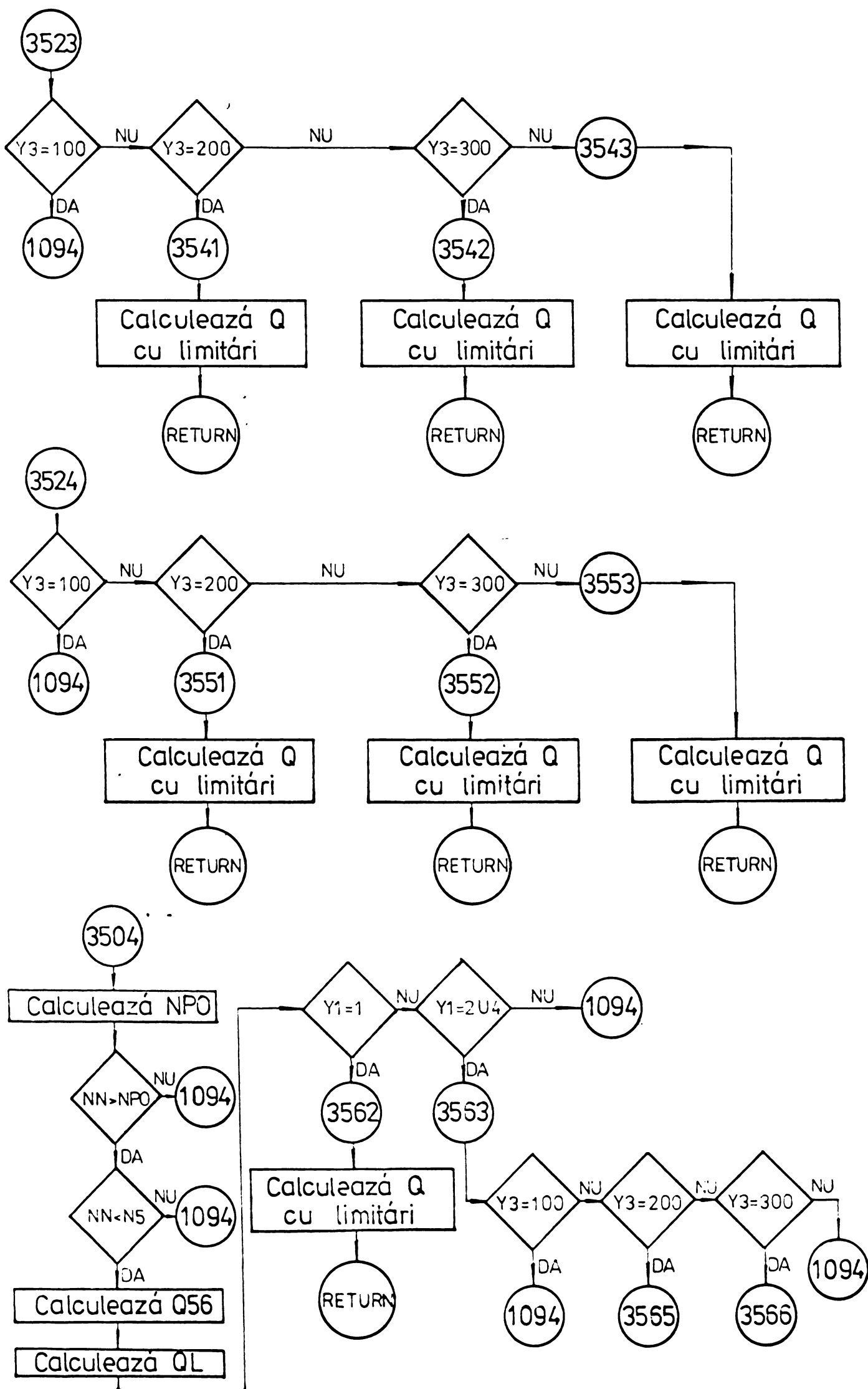


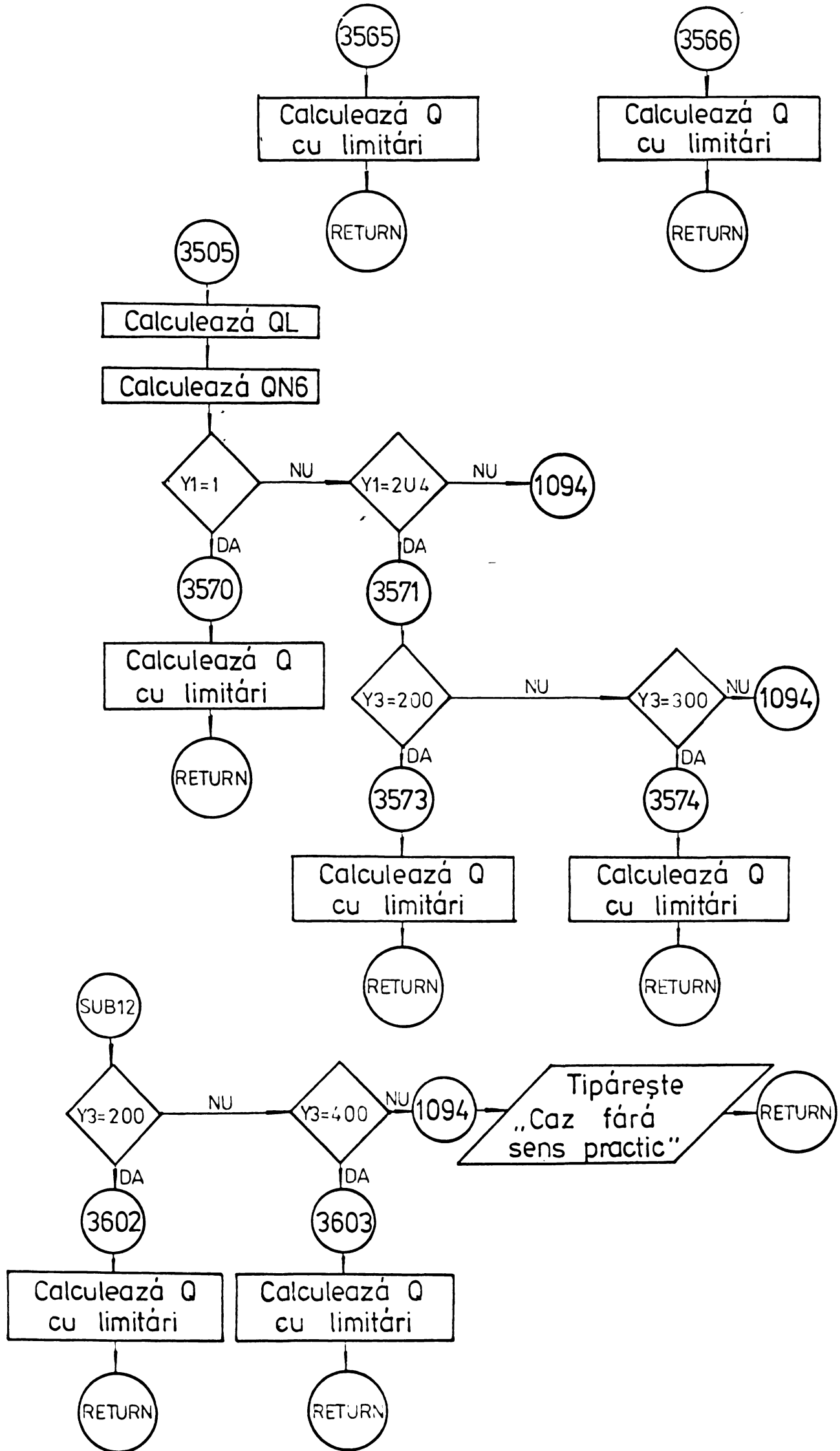


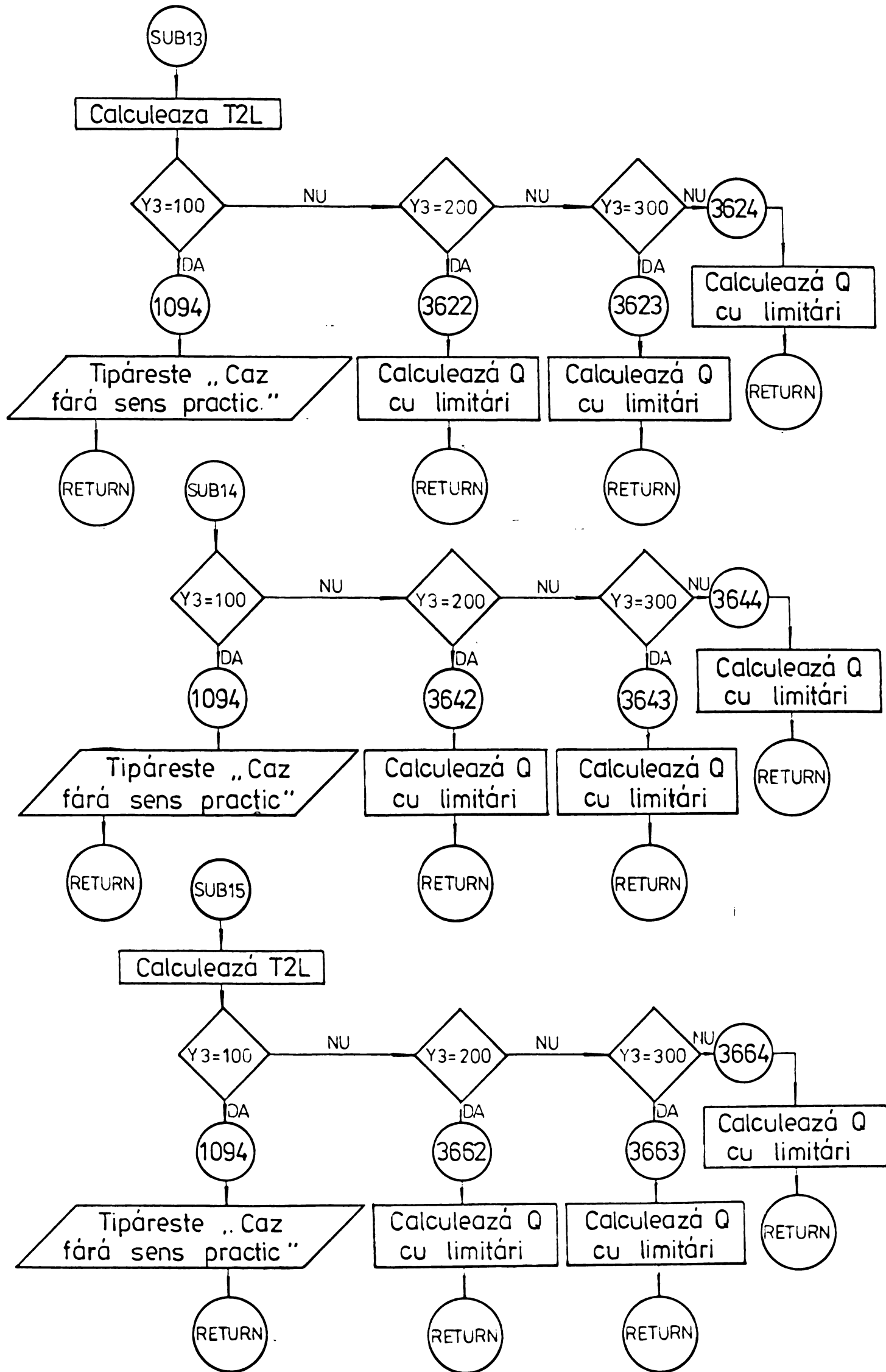












primantă. În continuare se supune parabola optimă limitărilor. Se determină turațiile de desprindere n_{p1} și n_{p2} și dacă $n_{p1} > n_L$; $Y1 \neq 1 \cup 2$ (limitare dn/dt la stînga sau la stînga și la dreapta), se recalculază o nouă parabolă cu turația maximă \hat{n}_1 , prin aceeași metodă de iterație. De asemenea, se recalculază turația de desprindere n_{p2} ținînd cont de noua valoare \hat{n}_1 și se atribuie indicelui $Y1$ valoarea corespunzătoare.

Pasul următor îl reprezintă verificarea limitărilor de curent (eticheta 101). Dacă $Y1 = 1 \cup 2$, calculatorul a trecut direct la eticheta 101, fără a mai fi necesară recalcularea parabolei. Dacă $Y4 = 1000$ și $Y5 = 10000$, deci nu există limitări de curent, se verifică limitarea de turație. Dacă $Y2 = 10$ (nu apare limitarea), se calculează timpii de laminare pentru fiecare valoare a indicelui $Y1$ (etichetele 205, 220, 210, 211). Pierderile de energie se determină prin apelarea subrutinelor SUB 1 + SUB 4, asupra cărora se va reveni.

Dacă $Y4 \neq 1000$ sau $Y5 \neq 10000$, programul execută un salt la una din etichetele 110, 111 sau 800.

Dacă $Y2 \neq 10$, calculatorul atribuie indicelui $Y2$ valorile $Y2 = 20$ dacă $n_L < n_n$ sau $Y2 = 30$ dacă $n_L > n_n$.

Pentru fiecare valoare a indicelui $Y1$, calculatorul determină timpul de laminare (etichetele 212, 213, 214, 215) și pierderile de energie (subrutinele SUB 5 - SUB 8). În cazul cînd $n_{p1} > n_L$ (tahograma devine trapezoidală), timpul de laminare este determinat la eticheta 216, iar pierderile în subrutina SUB 9.

În cazul cînd calculatorul constată existența limitării de curent ($Y4 \neq 1000$ și $Y5 = 10000$) de tip $i = f_0$, programul atribuie indicelui $Y4$ una din valorile 2000 - 5000, conform blocurilor de decizie de la etichetele 110 și 111.

Pentru $Y4 = 3000, 4000$ sau 5000 limitarea de curent $i = f_0$ acționează și (respectiv numai) în zona de reglaj a turației prin flux, motiv pentru care la eticheta 472 se determină turațiile de desprindere de pe parabola optimă n_5 și n_6 . În cazul $Y4 = 2000$, limitarea există numai în zona de reglaj prin tensiune și nu mai este necesară calcularea turațiilor n_5, n_6 . În toate situațiile, programul prevede determinarea lungimilor laminate în timpul limitării (l_1, l_{56}) și apoi recalcularea unei noi parabole, astfel încît suma lungimilor la-

minate pe diferite porțiuni ale tahogramei să fie egală cu lungimea totală a produsului, după trecere. Obținerea noii turații maxime, \hat{n}_2 , se face prin iterație (eticheta 1500). La eticheta 1111 a fost necesară introducerea unui bloc de decizie care, în funcție de valoarea indicelui Y 4, dictează reluarea iterației de la eticheta 471 (pentru Y 4 = 2000), sau 1400.

După determinarea valorii \hat{n}_2 , calculatorul recalculează discriminantul Δ pentru verificarea limitării de curent $i = f_0 + f_1 \cdot n$.

Dacă Y 5 = 10000 (nu există limitare $i = f_0 + f_1 \cdot n$), se efectuează un salt la eticheta 2001 și se calculează timpul de laminare pentru limitarea $i = f_0$, ținând cont și de valoarea indicelui Y 1 (limitarea de accelerație poate exista simultan cu cea de curent). Determinarea pierderilor de energie se face prin apelarea subrutinei SUB 10.

Cazul Y 5 = 20000 și Y 4 = 2000, 3000 sau 5000 este imposibil în practică pentru condiții normale de funcționare a acționării principale a laminorului și se prevede tipărirea unui mesaj corespunzător. De asemenea, situația Y 5 = 20000 și Y 4 = 4000 este ieșită din comun deoarece motorul intrând în limitare de curent $i = f_0$, în zona de reglaj prin tensiune, turația se crește lent și este puțin probabil ca după trecerea în zona de reglaj prin flux să mai apară suplimentar și limitarea de curent dependentă de turație. Se menționează că după intrarea motorului în limitare de curent $i = f_0$ în zona de reglaj prin tensiune, aceasta va persista și în zona de reglaj prin flux, deoarece aici curentul rotoric are tendință de creștere.

Dacă Y 5 = 20000, deci apare limitare de curent $i = f_0 + f_1 \cdot n$, în zona de reglaj a turației prin diminuarea fluxului, calculatorul face un salt la eticheta 800, determinând turațiile de desprindere de pe parabola optimă n_6 și n_7 . Din condiția generală ca suma lungimilor laminate în limitare și pe parabola optimă să fie egală cu lungimea totală, se iterează o nouă valoare maximă a turației, \hat{n}_3 , prin metoda expusă anterior. Având în vedere faptul că limitarea de curent proporțională

cu turația poate acționa simultan cu limitarea de accelerație, programul prevede mai multe ramificații pentru fiecare caz în parte (etichetele 5505, 5557, 5558).

Timpul de laminare se determină pentru fiecare combinație posibilă a limitărilor date de indicii Y 5 și Y 1 (etichetele 5602, 9998, 9997), iar pierderile de energie se obțin prin apelarea subrutinelor SUB 12, SUB 13, SUB 14, SUB 15.

În final, programul principal prevede tipărirea mărimilor calculate, determinarea indicelui caracteristic al laminării Y conform relației (3.1) și imprimarea sa.

După cum s-a menționat, pierderile de energie se calculează prin intermediul subrutinelor notate SUB 1 - SUB 15. Principiul general este determinarea pierderilor pe fiecare porțiune a tahogramei (diferite limitări și parabole nelimitate) și însumarea lor pentru obținerea pierderilor totale pe trecere. Deși la calcularea timpului de laminare s-a ținut cont de posibilitatea acționării individuale sau simultane a limitărilor, programul ramificându-se în mod corespunzător, determinarea pierderilor de energie presupune o mai mare complexitate, din următoarele motive

- timpul de laminare nu depinde decât de alura tahogramei, fără a fi influențat de faptul că se trece sau nu din domeniul reglării turației prin modificarea tensiunii rotorice, în cel al diminuării fluxului de excitație al motorului principal;

- în cadrul fiecărei limitări, pierderile depind de poziția turației nominale n_n , adică de faptul că ea acționează în domeniul reglării tensiunii, a fluxului sau în ambele ;

- fiecare limitare poate acționa simultan cu încă una sau mai multe limitări, ceea ce duce la o ramificare mai amplă a programului .

SUBRUTINA SUB 1 corespunde cazului Y 1 = 1; Y 2 = 10; Y 4 = 1000; Y 5 = 10000 și determină pierderile separat pentru Y 3 = 100, 200 sau 400. Cazul Y 3 = 300 nu are sens practic și se prevede imprimarea unui mesaj corespunzător (Y 3 = 300 înseamnă $n_1 < n_n < n_p$, dar cum Y 1 = 1, $n_1 > n_p$).

SUBRUTINA SUB 2 corespunde cazului Y 1 = 2; Y 2 = 10; Y 4 = 1000; Y 5 = 10000 (limitare de accelerație la dreapta).

Pentru fiecare valoare a indicelui Y 3 care fixează poziția turației nominale n_n se calculează pierderile totale și se tipăresc.

SUBROUTINA SUB 3 corespunde cazului Y 1 = 3; Y 2 = 10; Y 4 = 1000; Y 5 = 10000 (limitare de accelerație la stînga). Determină pierderile totale pentru fiecare valoare Y 3.

SUBROUTINA SUB 4 corespunde cazului Y 1 = 4; Y 2 = 10; Y 4 = 1000; Y 5 = 10000 (limitare de accelerație la stînga și la dreapta). Determină pierderile totale pentru fiecare valoare Y 3.

SUBROUTINA SUB 5 corespunde cazului Y 1 = 1; Y 2 ≠ 10; Y 4 = 1000; Y 5 = 10000 (limitare de turație). Dacă Y 2 = 20 (limitare de turație în zona de reglaj prin tensiune) se determină pierderile pentru Y 3 = 100 sau 200. Cazurile Y 3 = 300 U 400 nu sînt posibile deoarece Y 3 = 300 înseamnă $n_1 \cup n_2 < n_n < n_p$ și Y 3 = 400 $n_n < (n_1 \text{ și } n_2)$, Y 2 = 20 $n_L < n_n$ și $n_L < \hat{n}$ iar Y 1 = 1, $n_{p1} < n_1$ și $n_{p2} < n_2$. Dacă Y 2 = 30 (limitare de turație în zona de reglaj prin flux), se calculează pierderile totale pentru Y 3 = 200 și Y 3 = 400. Cazurile Y 3 = 100 și Y 3 = 300 nu sînt posibile deoarece Y 3 = 100 înseamnă $n_n > \hat{n}$ și Y 3 = 300, $n_1 \cup n_2 < n_n < n_p$, dar cum Y 1 = 1 $n_{p1} < n_1$ și $n_{p2} < n_2$, iar Y 2 = 30 $n_L < \hat{n}$ și $n_L > n_n$, condiții care sînt contradictorii. În toate situațiile imposibile se tipărește mesajul "Caz fără sens practic" .

SUBROUTINA SUB 6 corespunde cazului Y 1 = 2; Y 2 ≠ 10; Y 4 = 1000; Y 5 = 10000 (limitare de accelerație la dreapta și limitare de turație). Programul are două ramificații esențiale:

- pentru Y 2 = 30 (limitare de turație în zona de reglaj prin flux), cînd se calculează pierderile totale pentru fiecare variantă Y 3 = 200, 300 sau 400. Cazul Y 3 = 100 este imposibil deoarece condițiile $n_L > n_n$, $n_L < \hat{n}$ și $n_n > \hat{n}$ sînt contradictorii ;

- pentru Y 2 = 20 (limitare de turație în zona de reglaj prin tensiune), cînd se calculează pierderile totale

pentru $Y_3 = 100$ sau 200 . Cazul $Y_3 = 300 \cup 400$ nu este posibil, deoarece condițiile $n_1 \cup n_2 < n_n < n_p$ și $n_L < n_n$ respectiv $n_n < (n_1 \text{ și } n_2)$ și $n_L < n_n$ nu pot fi simultan îndeplinite.

În cazurile imposibile se imprimă mesajul "Caz fără sens practic" .

SUBROUTINA SUB 7 corespunde cazului $Y_1 = 3$; $Y_2 \neq 10$; $Y_4 = 1000$; $Y_5 = 10000$; (limitare de accelerație la stînga și limitare de turație). Cele două ramificații de bază se mențin:

- $Y_2 = 30$ (limitare de turație în zona de reglaj prin flux). Se determină pierderile totale pentru fiecare caz în parte $Y_3 = 200, 300, 400$. Cazul $Y_3 = 100$ este imposibil deoarece condițiile $n_L > n_n$ și $n_n > \hat{n}$ sînt contradictorii ;

- $Y_2 = 20$ (limitare de turație în zona de reglaj prin tensiune). Se determină pierderile totale pentru $Y_3 = 100$ sau 200 . Situația $Y_3 = 300$ sau 400 nu este posibilă deoarece condițiile $(n_1 \cup n_2) < n_n < n_p$ și $n_L < n_n, n_L < \hat{n}$ respectiv $n_n < (n_1 \text{ și } n_2)$ și $n_L < n_n, n_L < \hat{n}$ nu se pot realiza practic simultan.

În situațiile imposibile se imprimă mesajul "Caz fără sens practic".

SUBROUTINA SUB 8 corespunde cazului $Y_1 = 4$; $Y_2 \neq 10$; $Y_4 = 1000$; $Y_5 = 10000$ (limitare de accelerație la dreapta și la stînga și limitare de turație).

- pentru $Y_2 = 30$ (limitare de turație în zona de reglaj prin flux) se calculează pierderile totale corespunzătoare fiecărui caz $Y_3 = 200, 300, 400$. Situația $Y_3 = 100$ nu este posibilă din aceleași motive ca și la subrutina SUB 7 ;

- pentru $Y_2 = 20$ (limitare de turație în zona de reglaj prin tensiune) se calculează pierderile totale corespunzătoare cazului $Y_3 = 100$ sau 200 . Situația $Y_3 = 300 \cup 400$ este, de asemenea, imposibilă.

SUBROUTINA SUB 9 corespunde cazului $Y_1 = 4$; $Y_2 \neq 10$; $Y_4 = 1000$; $Y_5 = 10000$; $n_{p1} > n_L$; $n_{p2} > n_L$ (limitare de accelerație la dreapta și la stînga și limitare de turație, dar tahograma devine trapezoidală).

- pentru $Y_2 = 20$, se calculează pierderile totale corespunzătoare situației $Y_3 = 100$ sau 200 , cazul $Y_3 = 300$ sau 400 fiind imposibil ;

- pentru $Y_3 = 30$, cazurile acceptabile în care se calculează pierderile sînt $Y_3 = 300$ și $Y_3 = 400$.

SUBROUTINA SUB 10 corespunde cazului $Y_4 = 1000$ și $Y_5 = 10000$ (limitare de curenți $i = f_0$). Datorită multiplelor combinații cu celelalte limitări, programul se divide în următoarele ramuri principale:

a). $Y_4 = 2000$ - eticheta 3502 - limitare $i = f_0$ în zona de reglaj prin tensiune : $I_{F_{max.}} < f_0 < I_{U_{max.}}$. În acest caz, se calculează pierderile de energie în timpul limitării, Q_L , după care se verifică dacă $\hat{n}_2 > n_n$. Dacă răspunsul este negativ, rezultă că în timpul trecerii respective nu se trece în domeniul de reglaj prin flux și se calculează pierderile totale pentru diferite valori ale indicelui Y_1 (limitare de accelerație). Situațiile $Y_4 = 2000$ și $Y_1 = 3$ se exclud reciproc, deoarece limitarea de accelerație în stînga conduce la un curenț constant în perioada de accelerare, deci nu mai poate fi atinsă limita $i = f_0$. Dacă $\hat{n}_2 > n_n$, în timpul trecerii respective este utilizată și reglarea prin diminuarea fluxului și din nou se calculează pierderile totale pentru diferite valori ale indicelui Y_1 (cu alte relații, însă).

b). $Y_4 = 3000$ - eticheta 3503 - limitare $i = f_0$ numai în zona de reglaj prin flux $I_{F_{max.}} > f_0 > I_{U_{max.}}$. În acest caz, pentru fiecare valoare posibilă a indicelui Y_1 ($1 \div 4$) a limitării de accelerație, a indicelui Y_3 ($100 \div 400$) și a combinațiilor admise între ele, se calculează pierderile totale de energie. Următoarele combinații nu au sens practic:

- $Y_1 = 1$ și $Y_3 = 100$ sau 300 ;
- $Y_1 = 2$ și $Y_3 = 100$;
- $Y_1 = 3$ și $Y_3 = 100$;
- $Y_1 = 4$ și $Y_3 = 100$;

c). $Y_4 = 4000$ - eticheta 3504 - limitare $i = f_0$

în ambele zone, dar cu întrerupere la trecerea dintr-o zonă în alta. Singura situație posibilă este $n_n > n_{po}$ și $n_n < n_5$ pentru care se calculează pierderile de energie ca și în cazul b), corespunzătoare diferitelor combinații între indicii Y 1 și Y 3. Nu au sens practic combinațiile:

- Y 1 = 3 ;
- Y 1 = 2 sau 4 și Y 3 = 100 sau 400 ;

d). Y 4 = 5000 - eticheta 3505 - limitare $i = f_0$ în ambele zone de reglaj. Se analizează toate combinațiile posibile între indicii Y 1 și Y 3, iar pentru cazurile admise se calculează pierderile totale de energie. Combinațiile fără sens practic sînt:

- Y 1 = 3 ;
- Y 1 = 2 sau 4 și Y 3 = 100 sau 400 .

Subrutinele SUB 12 - SUB 15, sînt destinate calculului pierderilor de energie în cazul limitării de curent proporționale cu turația $i = f_0 + f_1 \cdot n$, ținînd cont și de celelalte limitări, după cum urmează:

SUBRUTINA SUB 12 corespunde cazului Y 1 = 1; Y 4 = 1000; Y 5 = 20000. Pentru fiecare valoare a indicelui Y 3 se determină pierderile totale de energie. Nu au sens practic cazurile Y 3 = 100 și Y 3 = 300 .

SUBRUTINA SUB 13, idem dar pentru Y 1 = 2; Y 4 = 1000; Y 5 = 20000. Singurul caz fără sens practic este Y 3 = 100.

SUBRUTINA SUB 14 idem, dar pentru Y 1 = 3; Y 4 = 1000; Y 5 = 20000. Cazul fără sens practic este Y 3 = 100.

SUBRUTINA SUB 15 idem, dar pentru Y 1 = 4; Y 4 = 1000; Y 5 = 20000. Cazul fără sens practic este Y 3 = 100.

3.2.2. Descrierea programului

Programul propriu - zis este scris în limbaj FORTRAN H. Relațiile necesare pentru calculul timpului de laminare și a pierderilor de energie se obțin prin particularizarea relațiilor corespondente fiecărui caz, deduse în Capitolul 2. Pentru deter-

minarea pierderilor maxime ale parabolei optime, $\hat{n}_1, \hat{n}_2, \hat{n}_3$, în cazul acționării diferitelor limitări pe trecere, s-a folosit metoda de iterație expusă tot în Capitolul 2.

Avînd în vedere mărimea programului, în cele ce urmează se prezintă relațiile matematice utilizate în cîteva cazuri simple pentru scrierea programului, restul fiind obținute pe principii asemănătoare.

a). Calculul pierderilor de energie totale, în cazul cînd într-o trecere se utilizează și domeniul de slăbire a cîmpului:

$$Q = \frac{R_a \cdot I_n^2 \cdot \hat{n}_1 \cdot m \cdot g}{1800 \cdot 10^3} \left\{ \frac{2 \cdot \hat{n}_1^2}{n_n^2} \left[\sqrt{1 - \frac{n_n}{\hat{n}_1}} - \frac{1}{3} \sqrt{\left(1 - \frac{n_n}{\hat{n}_1}\right)^3} - \frac{1}{5} \sqrt{\left(1 - \frac{n_n}{\hat{n}_1}\right)^5} + \frac{1}{7} \sqrt{\left(1 - \frac{n_n}{\hat{n}_1}\right)^7} \right] + \sqrt{1 - \frac{n_1}{\hat{n}_1}} - \sqrt{1 - \frac{n_n}{\hat{n}_1}} - \frac{n_1}{\hat{n}_1} + \frac{n_n}{\hat{n}_1} + \frac{1}{3} \sqrt{\left(1 - \frac{n_1}{\hat{n}_1}\right)^3} - \frac{1}{3} \sqrt{\left(1 - \frac{n_n}{\hat{n}_1}\right)^3} + \sqrt{1 - \frac{n_2}{n_1}} - \sqrt{1 - \frac{n_n}{\hat{n}_1}} + \frac{n_2}{\hat{n}_1} - \frac{n_n}{\hat{n}_1} + \frac{1}{3} \sqrt{\left(1 - \frac{n_2}{\hat{n}_1}\right)^3} - \frac{1}{3} \sqrt{\left(1 - \frac{n_n}{\hat{n}_1}\right)^3} \right\} \text{ [KWh]}$$

(3.2)

unde I_n [A], R_a [Ω].

Relația (3.2) s-a utilizat în subrutina SUB 1 pentru cazul $Y_3 = 200$.

b). Calculul pierderilor de energie totale în cazul cînd apare limitare de accelerație în dreapta ($Y_1 = 2$; $Y_2 = 10$; $Y_4 = 1000$; $Y_5 = 10000$) și nu se trece în domeniul de reglaj prin flux ($Y_3 = 100$).

- pierderile de energie pe parabola optimă:

$$q_1 = 2 \hat{n}_1 mg \left[\frac{S_2}{\frac{m}{g}} + \sqrt{1 - \frac{n_1}{\hat{n}_1}} - \frac{S_2^2}{\frac{m}{g}} + \left(1 - \frac{n_1}{\hat{n}_1}\right) + \frac{1}{3} \frac{S_2^3}{\frac{m}{g}} + \dots \right]$$

$$+ \frac{1}{3} \sqrt{\left(1 - \frac{n_1}{\hat{n}_1}\right)^3} \quad (3.3)$$

- pierderile de energie în limitare:

$$q_2 = g^2 \left(\frac{m}{g} - S_2\right)^2 (t_2^! - t_{p2}) = (m - S_2 \cdot g)^2 \left(t_2^! - \frac{2 \hat{n}_1 \cdot S_2}{\frac{m}{g^2}}\right) \quad (3.4)$$

- pierderile totale:

$$Q = \frac{R_a \cdot I_n^2}{3600} (q_1 + q_2) \quad [\text{KWh}] \quad (3.5)$$

unde R_a [mΩ] și I_n [KA].

c). Calculul pierderilor totale de energie în cazul când $Y_1 = 3$; $Y_2 = 10$; $Y_4 = 1000$; $Y_5 = 10000$; $Y_3 = 300$ (limitare de accelerație în stînga în ambele zone de reglaj - tensiune, flux, iar $n_n < n_{pl}$):

- pierderile în limitare, în zona de reglaj prin tensiune:

$$q_1 = (m + g \cdot S_1)^2 \cdot (t_n - t_1) = (m + g \cdot S_1)^2 \frac{n_n - n_1}{S_1} \quad (3.6)$$

- pierderile în limitare, în zona de reglaj prin flux:

$$q_2 = \frac{(m + g \cdot S_1)^2}{3 \cdot S_1 \cdot n_n^2} \left[\hat{n}_2^3 \left(1 - \frac{S_1^2}{\frac{m}{g^2}}\right)^3 - n_n^3 \right] \quad (3.7)$$

- pierderile pe parabola optimă, în domeniul reglării prin flux:

$$q_3 = 2 \cdot \hat{n}_2 \cdot m \cdot g \frac{\hat{n}_2^2}{n_n^2} \left[\sqrt{1 - \frac{n_n}{\hat{n}_2}} + \sqrt{1 - \frac{n_{pl}}{\hat{n}_2}} - \sqrt{\left(1 - \frac{n_n}{\hat{n}_2}\right)^2} + \sqrt{\left(1 - \frac{n_{pl}}{\hat{n}_2}\right)^2} - \frac{1}{3} \sqrt{\left(1 - \frac{n_n}{\hat{n}_2}\right)^3} - \frac{1}{3} \sqrt{\left(1 - \frac{n_{pl}}{\hat{n}_2}\right)^3} + \right]$$

$$\begin{aligned}
 & + \sqrt{\left(1 - \frac{n_n}{\hat{n}_2}\right)^4} - \sqrt{\left(1 - \frac{n_{p1}}{\hat{n}_2}\right)^4} - \frac{1}{5} \sqrt{\left(1 - \frac{n_n}{\hat{n}_2}\right)^5} - \\
 & - \frac{1}{5} \sqrt{\left(1 - \frac{n_{p1}}{\hat{n}_2}\right)^5} + \frac{1}{7} \sqrt{\left(1 - \frac{n_n}{\hat{n}_2}\right)^7} + \frac{1}{7} \sqrt{\left(1 - \frac{n_{p1}}{\hat{n}_2}\right)^7} \quad (3.8)
 \end{aligned}$$

- pierderile pe parabola optimă, în domeniul de reglaj prin tensiune:

$$\begin{aligned}
 q_4 = 2 \cdot \hat{n}_2 \cdot m \cdot g \left[\sqrt{1 - \frac{n_2}{\hat{n}_2}} - \sqrt{1 - \frac{n_n}{\hat{n}_2}} - \sqrt{\left(1 - \frac{n_2}{\hat{n}_2}\right)^2} - \right. \\
 \left. - \sqrt{\left(1 - \frac{n_n}{\hat{n}_2}\right)^2} + \frac{1}{3} \sqrt{\left(1 - \frac{n_2}{\hat{n}_2}\right)^3} - \frac{1}{3} \sqrt{\left(1 - \frac{n_n}{\hat{n}_2}\right)^3} \right] \quad (3.9)
 \end{aligned}$$

- pierderile totale de energie:

$$Q = \frac{R_a \cdot I_n^2}{3600} (q_1 + q_2 + q_3 + q_4) \quad [\text{KWh}] \quad (3.10)$$

unde R_a [mΩ] și I_n [KA] .

Pentru celelalte cazuri, mult mai complicate, nu se mai dau relațiile matematice din considerente de spațiu (în total cca 400 relații complexe). Ele pot fi urmărite în programul sursă, expus în Anexa 1 .

d). Calculul unei noi parabole cu turația maximă n_3 , în cazul existenței unei limitări de curent tip $i = f_0$ în zona de reglaj prin flux ($Y_4 = 3000$). Se utilizează metoda de iterație descrisă în Capitolul 2, calculându-se lungimile laminate pe fiecare porțiune a tahogramei și comparându-se suma lor cu lungimea reală a laminatului după trecere.

Lungimea laminată în limitarea $i = f_0$:

$$\begin{aligned}
 l_{56} = n_6 \cdot t_6 + \frac{g}{a_4} \cdot a_1(a_1 - n_6) \cdot \ln \frac{a_1 - n_5}{a_1 - n_6} + (n_5 - n_6) \cdot \\
 \cdot \left[t_5 + \frac{g}{a_4} \left(a_1 + \frac{n_5 - n_6}{2} \right) \right] \quad (3.11)
 \end{aligned}$$

cu

$$a_1 = \frac{f_0 \cdot n_n}{m} ; \quad a_4 = m ; \quad (3.12)$$

Se calculează:

$$n_a = -\frac{2}{3} \sqrt{2 \hat{n}_1 \frac{n_n}{m} \cdot f_0 \cdot \cos \frac{\pi}{3}}$$

$$n_b = \frac{2}{3} \sqrt{2 \hat{n}_1 \cdot \frac{n_n}{m} \cdot f_0 \cdot \cos (60^\circ - \frac{\pi}{3})} \quad (3.13)$$

$$n_c = \frac{2}{3} \sqrt{2 \hat{n}_1 \cdot \frac{n_n}{m} \cdot f_0 \cdot \cos (60^\circ + \frac{\pi}{3})}$$

cu:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \sqrt{\left| \frac{4}{27} \frac{8 \hat{n}_1^3 (n_n/m)^3 \cdot f_0^3}{\hat{n}_1^2 \cdot (n_n/m)^4 \cdot f_0^4} - 1 \right| =}$$

$$= \operatorname{arctg} \sqrt{\left| \frac{32 \hat{n}_1}{27 f_0 \cdot n_n/m} - 1 \right|} \quad (3.14)$$

Se ordonează n_a, n_b, n_c și presupunînd $n_a < n_b < n_c$, se ia $n_5 = n_b$ și $n_6 = n_c$. Rezultă:

$$t_5 = \frac{2\hat{n}_1}{\frac{m}{g}} \sqrt{1 - \frac{n_5}{\hat{n}_1}} \quad \text{și} \quad t_6 = \frac{2\hat{n}_3}{\frac{m}{g}} \sqrt{1 - \frac{n_6}{\hat{n}_3}} \quad (3.15)$$

Deci:

$$l_{56} = n_6 \cdot \frac{2\hat{n}_3}{\frac{m}{g}} \sqrt{1 - \frac{n_6}{\hat{n}_3}} + \frac{g}{m} \cdot \frac{f_0 \cdot n_n}{m} \left(\frac{f_0 \cdot n_n}{m} - n_6 \right) \cdot$$

$$\cdot \ln \frac{\frac{f_0 \cdot n_n}{m} - n_5}{\frac{f_0 \cdot n_n}{m} - n_6} + (n_5 - n_6) \left[-\frac{2\hat{n}_1}{\frac{m}{g}} \sqrt{1 - \frac{n_5}{\hat{n}_1}} + \right.$$

$$\left. + \frac{g}{m} \left(\frac{f_0 \cdot n_n}{m} + \frac{n_5 - n_6}{2} \right) \right] \quad (3.16)$$

Lungimea laminată pe parabola optimă inițială:

$$l_1 = \hat{n}_1 \left[\frac{2\hat{n}_1}{\frac{m}{g}} \sqrt{1 - \frac{n_1}{\hat{n}_1}} - \frac{2\hat{n}_1}{\frac{m}{g}} \sqrt{1 - \frac{n_5}{\hat{n}_1}} \right] - \frac{1}{12\hat{n}_1} \frac{m^2}{g^2} \left[\frac{8n_1^3}{\frac{m^3}{g^3}} x \right. \\ \left. x \sqrt{\left(1 - \frac{n_1}{\hat{n}_1}\right)^3} - \frac{8\hat{n}_1^3}{\frac{m^3}{g^3}} \sqrt{\left(1 - \frac{n_5}{\hat{n}_1}\right)^3} \right] \quad (3.17)$$

Lungimea laminată pe parabola optimă finală:

$$l_2 = \frac{2\hat{n}_3^2}{\frac{m}{g}} \left[\sqrt{1 - \frac{n_2}{\hat{n}_3}} - \sqrt{1 - \frac{n_6}{\hat{n}_3}} - \frac{2}{3} \frac{\hat{n}_3^2}{\frac{m}{g}} \left[\sqrt{\left(1 - \frac{n_2}{\hat{n}_3}\right)^3} - \right. \right. \\ \left. \left. - \sqrt{\left(1 - \frac{n_6}{\hat{n}_3}\right)^3} \right] \right] \quad (3.18)$$

Deci, iterația se va efectua cu relația:

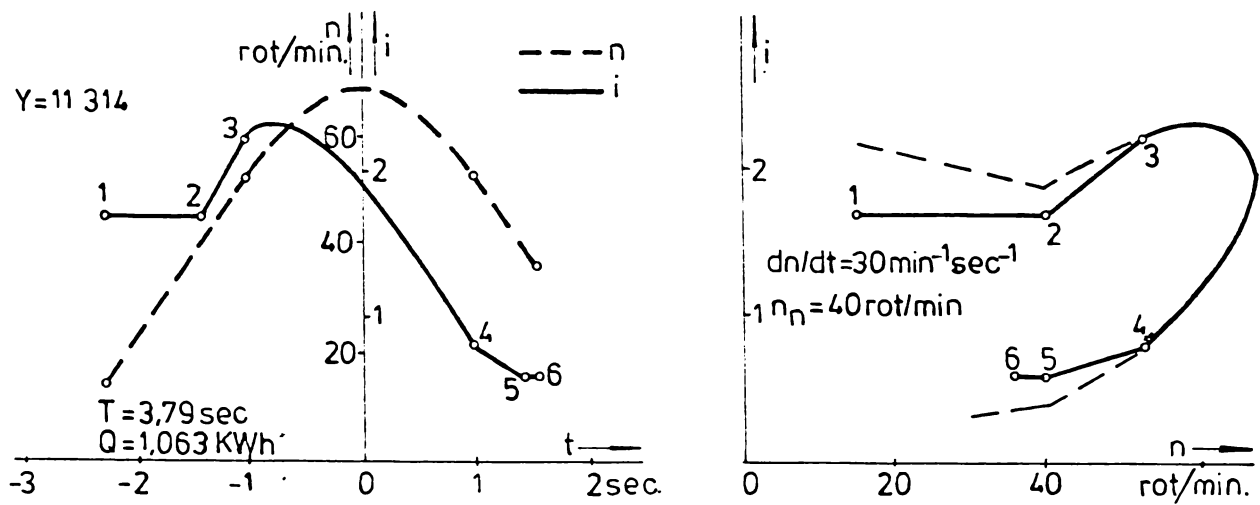
$$a = 1 - (l_1 + l_2 + l_3) \quad (3.19)$$

Pe același principiu se iterează noua parabolă optimă și în alte cazuri când apar limitări, bine-nțelese cu alte relații matematice.

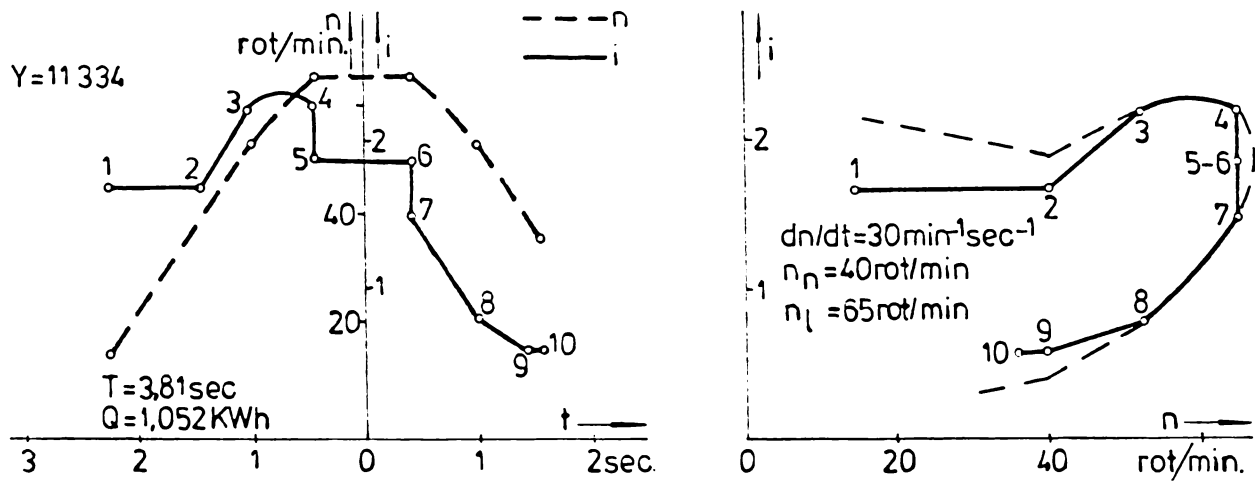
Programul sursă, conținând toate variantele posibile și relațiile matematice adecvate este prezentat în Anexa 1, pag. 1 - 24.

3.3. Descrierea unor cazuri caracteristice

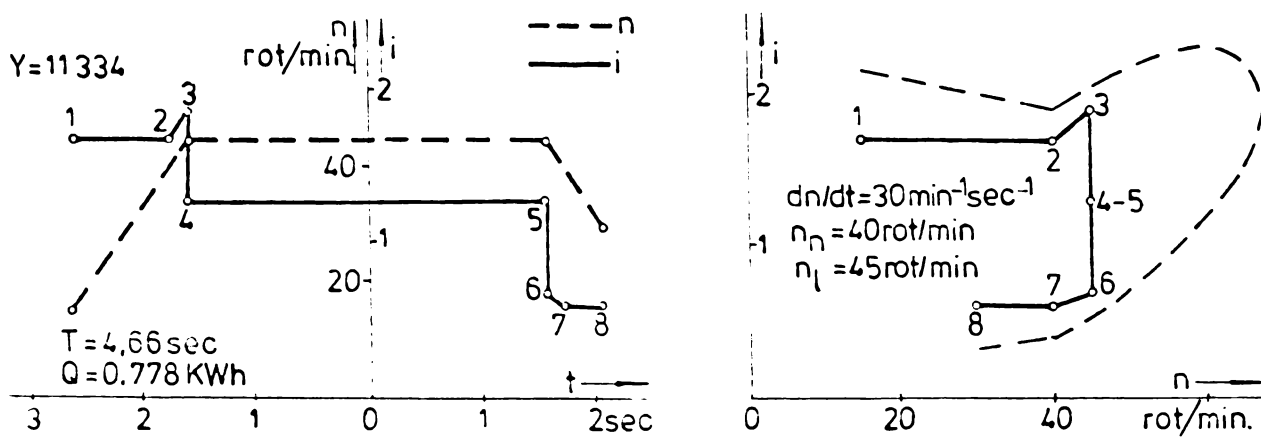
Din combinația posibilă a parametrilor unei laminări, s-au ales în continuare șase cazuri. Pe baza curbelor teoretice calculate $i = f(t)$ și $i = f(n)$ prezentate în figurile 3.5. și 3.6. se poate deduce că și în cazul prezenței unor limitări, rămân în bună măsură valabile concluziile laminării optime. Totodată, ele indică tehnologului care pierderi sau timpi de laminare suplimentari pot apărea dacă o limitare nu a fost corect



a) Laminare cu slăbirea cîmpului și limitare dn/dt

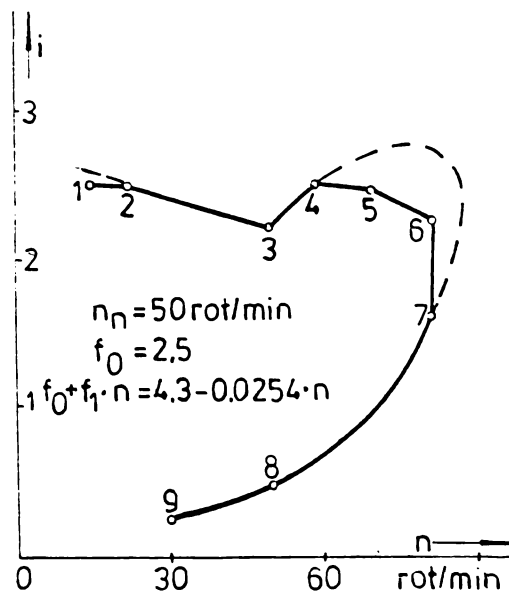
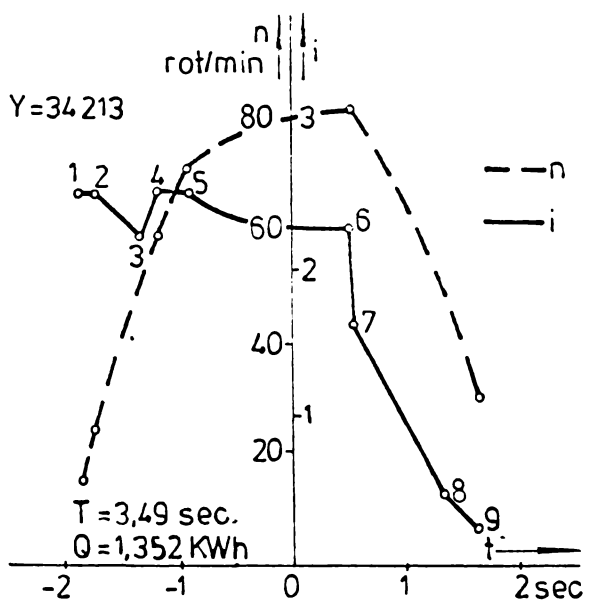


b) Laminare cu slăbirea cîmpului, limitare dn/dt și limitare de turație

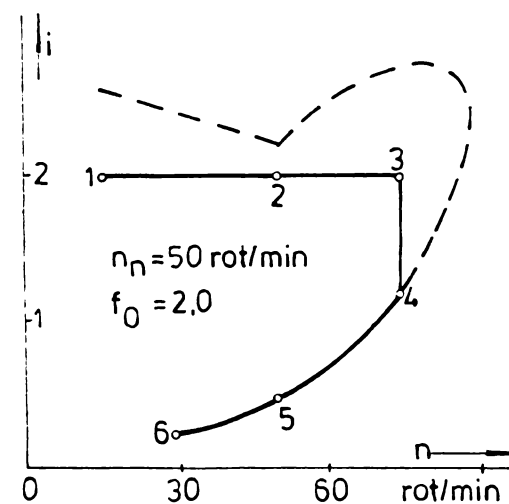
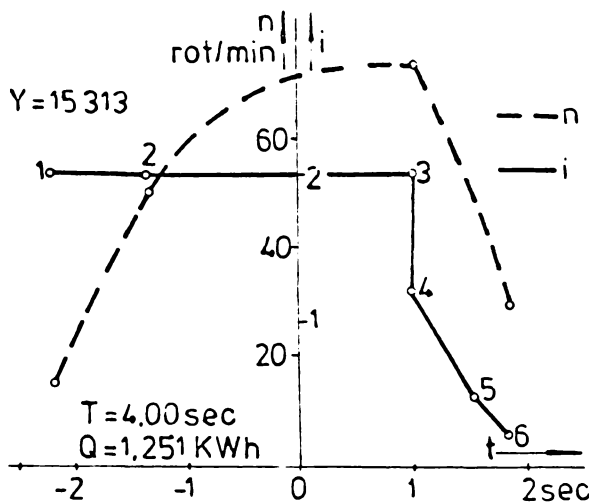


c) Laminare cu slăbirea cîmpului, limitare dn/dt și limitare de turație

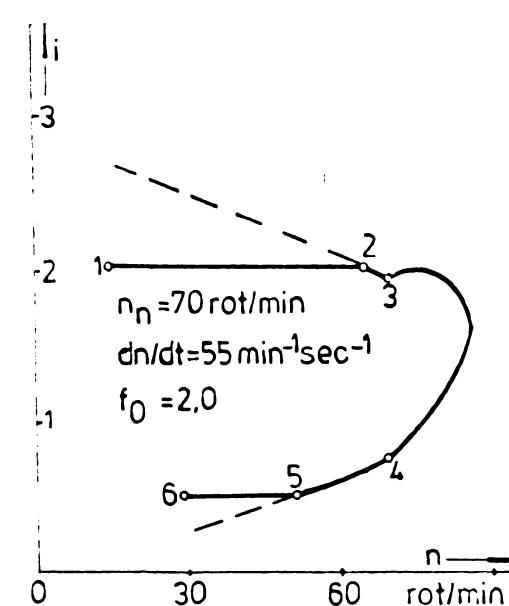
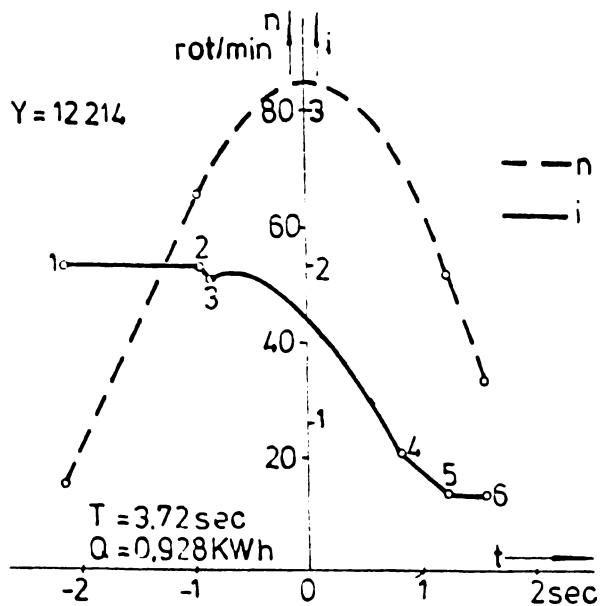
FIG 3.5



a) Laminare cu slăbirea cîmpului și limitare de curent f_0 și $f_0+f_1 \cdot n$



b) Laminare cu slăbirea cîmpului și limitarea curentului f_0



c) Laminare cu slăbirea cîmpului, limitare dn/dt și limitare de curent f_0

FIG 3.6

aleasă. În figurile 3.5. și 3.6., cu linie plină s-a desenat curba curentului, iar cu linie întreruptă, curba turației. În figura 3.5. se consideră laminarea unui blum cu o lungime $l = 191$ [sec.min.⁻¹], la $n_1 = 15$ [rot./min.], $n_2 = 30$ [rot./min.] și $m/g = 64$ [sec.⁻¹. min.⁻¹]. În condiții optime, pierderile de energie sînt $Q = 0,612$ [KWh], iar timpul de laminare $T = 3,56$ [s]. Dacă apare slăbirea cîmpului la $n = 40$ [rot./min.], și o limitare de accelerație $s = 30$ [min.⁻¹. sec.⁻¹], atunci rezultă $Q = 1,063$ [KWh] și $T = 3,79$ [s]. În figura b se introduce o limitare suplimentară de turație la $n_L = 65$ [rot./min.] (turația maximă a parabolei inițiale a fost $69,5$ [rot./min.]). Prin această schimbare, $Q = 1,052$ [KWh] și $T = 3,81$ [s] - deci modificări neesențiale.

În figura c se scade limita de turație la $n_L = 45$ [rot./min.], ceea ce conduce la o tahogramă pur trapezoidală, rezultînd $Q = 0,778$ [KWh] și $T = 4,66$ [s]. Se observă o micșorare a pierderilor de energie, dar o creștere pronunțată a timpului de laminare.

În figura 3.6. sînt prezentate alte trei treceri cu limitări de curent $i = f_0$ și $i = f_0 + f_1 \cdot n$. În figura a, limitarea de curent f_0 intervine de două ori consecutiv (porțiunea 1 - 2 se află în domeniul tensiunii rotorice, iar 4 - 5 în cel de slăbire a fluxului). După aceasta intervine limitarea de curent dependentă de turație (porțiunea 5 - 6). Pierderile de energie sînt $Q = 1,352$ [KWh], iar timpul de laminare $T = 3,49$ [s]. (Pentru cazul din figura 3.6., pierderile sînt $Q = 0,813$ [KWh] și $T = 3,47$ [s] la laminarea pe parabola optimă).

În figura b, limita de curent a fost mult scăzută, deci aproape tot timpul curentul rotorice este constant. Rezultă $Q = 1,251$ [KWh] și $T = 4$ [s].

În figura c are loc atît limitarea de curent f_0 cît și o limitare de accelerație în domeniul tensiunii rotorice, cele două puncte de trecere de la tangentă la parabolă (2, 5) avînd turații diferite. Cauza acestui fenomen îl constituie faptul că valoarea absolută pentru limitarea de acce-

lorație, determinată de limitarea $i = f_0$, este mai mică decît valoarea pentru limitarea de accelerație propriu-zisă (pe partea dreaptă a tahogramei). Rezultă pierderi de energie $Q = 0,928$ [KWh] și timpul de laminare $T = 3,72$ [s]. În general, se observă deci o creștere atît a pierderilor de energie cît și a timpului de laminare, din cauza apariției limitărilor de curenți. Cel mai defavorabil este cazul c.

3.5. Concluzii

Formarea schemei de laminare se efectuează de tehnologi care, ținînd cont de dimensiunile finale ale laminatului, de greutatea lingoului, calibre, temperatura și calitatea oțelului, puterea motoarelor etc., stabilesc numărul necesar de treceri și de aici reducerea pe fiecare trecere. Presupunînd că această schemă de laminare nu poate fi modificată substanțial, este necesar ca în timpul unei treceri, mărimile variabile cum ar fi: forma tahogramei, limitările de accelerație, turație, curenți, etc., să fie astfel alese, încît să conducă la pierderi de energie și timpi de laminare cît mai apropiați de valorile optime. Pînă în prezent nu a existat o metodă unitară și eficace, care să permită obținerea dezideratului menționat, analizînd cum influențează variabilele de mai sus asupra performanțelor de bază ale laminării: pierderile de energie și timpul de laminare.

Pe baza programului întocmit în prezentul capitol, este posibilă alegerea, în timp minim, a regimului optim de laminare, ținînd cont de condițiile și limitările reale. Aplicat tuturor trecerilor, acest studiu permite obținerea unor economii importante de energie, menținînd cel puțin aceeași productivitate a instalației, după cum se va observa în Capitolul 4.

Mai trebuie menționat faptul că, pe lîngă reducerea pierderilor de energie (care în cazul laminării pur optime pot ajunge la numai 25 % din pierderile de la laminarea neoptimizată), se reduc substanțial șocurile mecanice și electrice din instalație, ceea ce are repercursiuni favorabile asupra duratei de viață a instalației.

De asemenea, pe baza considerațiilor din Capitolele 2, 3 , apare posibilă conducerea în timp real a regimului de turație a laminorului astfel încât să fie respectate condițiile laminării optime sub influența limitărilor reale. Cu baza matematică creată aici se va propune, în Capitolul 5, o schemă de conducere on - line a acționării principale.

Aceste cercetări sînt în totalitate originale.

CAPITOLUL 4

INCERCARI SI REZULTATE EXPERIMENTALE PRIVIND LAMINAREA OPTIMIZATA

Aplicarea experimentală a principiilor prezentate în capitolele anterioare, s-a efectuat pe laminorul bluming 1300 mm din cadrul Centralei Industriale Siderurgice Hunedoara. Aceasta dispune de o acționare principală cu două motoare de c.c. independente, sincronizate automat, alimentate prin convertizoare statice cu tiristori. Linia de laminare este complet automatizată, instalația având la bază un calculator de proces SIEMENS 302 P, fiind una dintre cele mai moderne din Europa. Puterea totală a motoarelor de laminare este 14380 [KW], iar producția anuală a blumingului este de aproximativ 3 milioane tone. Consumul anual de energie al celor două motoare este de cca 22 milioane [KWh].

4.1. Considerații preliminare

Implementarea metodei de optimizare descrise s-a făcut ținând cont de posibilitățile oferite de instalația în exploatare, în așa fel ca perturbarea procesului tehnologic să fie minimă.

a). S-a căutat posibilitatea de a prescrie automat, în timp real, valori impuse pentru turația acționării principale, care să respecte în timp tahograma parabolică optimă. Soluția aleasă a fost cea a discretizării parabolei optime, cu pasul:

$$\tau = 0,1 \text{ [s]} \quad (4.1)$$

Având în vedere faptul că durata laminării variază între 1 ÷ 4 secunde, în funcție de numărul trecerii, precum și efectul integrator al maselor mari în mișcare și a regulatorului de accelerație, precizia obținută prin această discreti-

zare este foarte bună, după cum se poate observa și din figura 4.22 (comparându-se turația reală cu cea impusă în trecerea 12).

Instalația oferă posibilitatea prescrierii unui număr de 7 trepte de turație pentru turația de prindere n_1 și 7 trepte pentru turația de trecere n_3 . Pentru a mări numărul de trepte (deci precizia de discretizare), s-a prevăzut posibilitatea însumării analogice a valorilor prescrise n_1 și n_3 , în momentul când laminatul a intrat deja între cilindri, deci când valoarea n_1 nu mai este necesară. În acest mod, n_1 devine acum o parte a turației n_3 , ceea ce conduce la extinderea posibilităților de prescriere a acesteia la 14 trepte.

S-a ales cuanta de turație:

$$\gamma = \frac{n_{\max.}}{14} = \frac{100 \text{ [rot./min.]}}{14} \quad (4.2)$$

Această valoare s-a folosit la normarea valorilor discrete de turație la momentul:

$$t = t_1 + K \cdot \gamma, \quad K \in \{0, 1, 2, \dots, K_T\},$$

$$K_T = \left[\frac{t_2 + |t_1|}{\gamma} \right] + 1 \quad (4.3)$$

unde t_1 este timpul de început ;

t_2 este timpul de sfârșit ;

$[x]$ este valoarea întreagă a lui x .

Sistemul de referință folosit în algoritmul de calcul al parabolei optime (care asigura simetria acesteia față de ordonată) a fost translatat în așa fel ca:

$$t_1 = 0 \quad (4.4)$$

b). S-a ales cazul unui lingou de 8,4 tone, oțel necalmat. Acesta se laminează după schema tehnologică nr. 30, în 13 treceri. În tabelul prezentat la Anexa 1 pagina 28, sînt date mărimile caracteristice ale planului de laminare.

În regim de lucru semiautomat, calculatorul prescrie turația de prindere n_1 la fel ca în regim optimizat. De îndată ce se eliberează prescrierea turației de trecere, aceasta nu mai este o valoare constantă (ca în cazul laminării semiautomate), ci o serie de valori discrete care se succed la $\tau = 0,1$ [s] și care, în ansamblu, reprezintă tahograma optimă discretizată corespunzătoare trecerii respective, calculată off - line și memorată.

Din relațiile (2.15) și (2.21), rezultă că este necesară cunoașterea cât mai exactă a lungimii laminatului după trecere pentru a putea calcula parabola optimă și această lungime să fie constantă la aceeași trecere. Numai în această situație, lista de valori discrete memorate se poate utiliza la mai multe lingouri de același tip. În cele ce urmează, se consideră această condiție îndeplinită pentru tipul de lingou ales.

c). Prin faptul că tahograma optimă asigură la ieșirea materialului dintre cilindri turația impusă n_2 , în regimul optimizat nu mai este necesară devansarea punctului de frînare. În regimul neoptimizat, această devansare se face măsurînd on - line lungimea cozii lingoului. Înainte de terminarea trecerii, se prescrie o valoare impusă de turație nulă. Prezența limitatorului de accelerație precum și masele mari în mișcare integrează această variație treaptă și ca urmare, turația scade liniar de la valoarea n_3 la zero. Momentul începerii frînării (cînd se prescrie $n = 0$), este în așa fel ales, ca în momentul ieșirii lingoului dintre cilindri, valoarea turației să fie n_2 , conform planului de laminare. Aceste calcule și deciziile sînt efectuate de calculatorul de proces.

d). Calculul parabolei optime asigură, la ieșirea lingoului dintre cilindri, turația n_2 . Aceasta poate, însă să nu se realizeze în practică, dacă în timpul laminării apare fenomenul de alunecare lingou - cilindru. Alunecarea duce la mărirea timpului de laminare, deci momentul prescrierii ultimei trepte de turație din lista memorată (care este de fapt n_2), nu coincide cu ieșirea cozii lingoului dintre cilindri, ci apare mai repede. Ar exista deci pericolul blocării laminatului între cilindri.

Prin faptul că o corecție introdusă pentru eliminarea acestui inconvenient ar modifica implicit și tahograma optimă, în acest caz nu se mai caută un optim, ci doar asigurarea ieșirii materialului dintre cilindri, menținând, atât cât este necesar, turația de ieșire n_2 .

e). Pentru a putea efectua experimentările, s-a pregătit în memoria calculatorului de proces SIEMENS P 302 lista valorilor discrete pentru fiecare parabolă corespunzătoare unei treceri. În lista LIST s-au înscris, la adrese succesive, adresele de început și de sfârșit ale fiecărei zone ce conține o parabolă. Valorile treptelor de turație s-au determinat prin rularea programului PARØPT cu datele inițiale furnizate de tehnolog (Anexa 1, pagina 28). De asemenea, s-au întocmit programele și subrutinele PRØSA necesare, precum și modificările celor existente pentru lucrul în regim optimizat și neoptimizat, cu posibilitatea de comutare on - line.

4.2. PARØPT - program de calcul off - line a parabolei optime, turațiilor normate SIEMENS și reprezentare grafică

Programul este scris în limbaj BASIC și rulat pe sistemul HEWLETT - PACKARD 2000 al CC - C.S.H. Acest program oferă, pentru trecerile considerate, valorile discrete ale tahogramei precum și treptele de turație normate:

$$\bar{n}(t) = \gamma \cdot n(t) \quad (4.5)$$

unde $n(t)$ este turația calculată în valoare absolută, la momentul t ;

$\bar{n}(t)$ este turația normată SIEMENS ;

t - din relația (4.3) ;

γ - cuanta de turație (4.2) ;

Prin faptul că nu se pot impune decât trepte întregi de turație, programul dă și aceste valori prin rotunjirea va-

lorii $\bar{n}(t)$ la valoarea întreagă cea mai apropiată.

Pentru observare rapidă calitativă a rezultatelor, s-a trasat graficul $n(t)$ (scara 1:1) și $\bar{n}(t)$ (scara 5:1) (Anexa 2, pagina 1 și următoarele). Programul are la bază algoritmul de calcul iterativ al tahogramei optime, prezentat în paragraful 2.3. Datele de intrare sînt:

- L - lungimea raportată a laminatului ;
- M - momentul de laminare raportat ;
- N 1, N 2 - turațiile de intrare, ieșire .

Programul sursă BASIC, valorile datelor de intrare și tahogramele optime pentru trecerile 3 - 13 sînt date în Anexa 2, pagina 1 și următoarele.

4.3. Descrierea subrutinelor și programelor PRØSA pentru calculatorul de proces SIEMENS 302 P , concepute pentru laminarea optimizată

4.3.1. Prescrierea turației de trecere U 2 H A

Subrutina asigură prescrierea valorii turației de trecere n_3 în regim semiautomat neoptimizat și comută pe optimizat.

Ordinul de apelare a subrutinei are următoarea structură :

U N T U 2 H A (4.6)

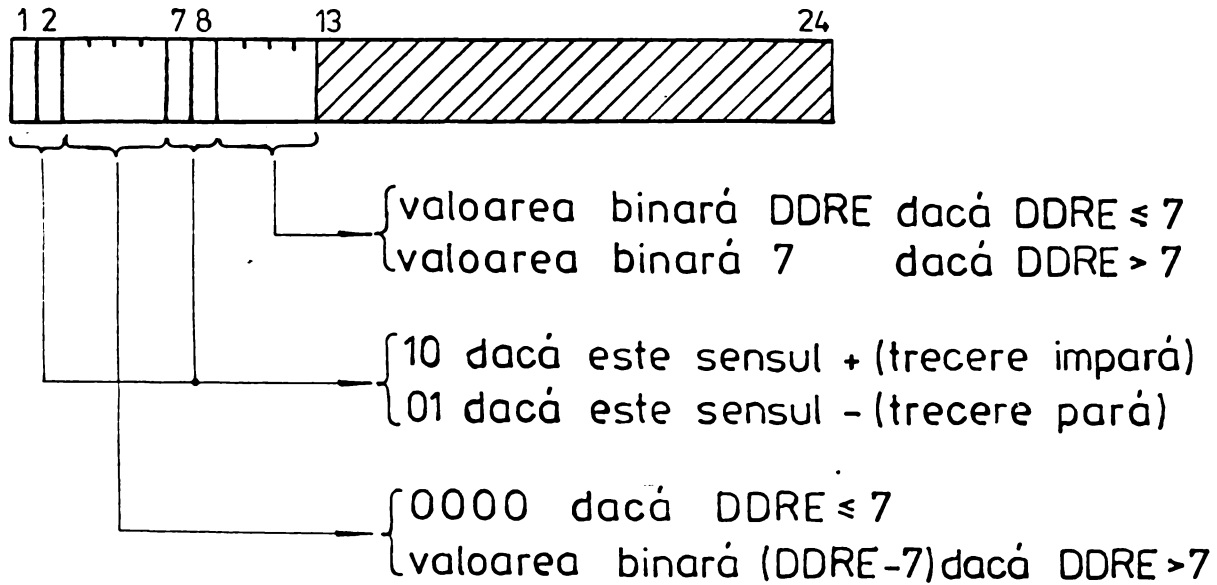
N Ø P a (4.7)

unde :

a = 0 dacă sensul este pozitiv ;
1 dacă sensul este negativ .

La intrare în subrutină în acumulatorul stîng se află valoarea binară absolută a treptei de turație de transmis. În biții 1 - 12 ai celulei de memorie DA 45 se formează configurația binară corespunzătoare sensului și valorii de turație. Structura cuvîntului DA 45 este dată în fig. 4.1.

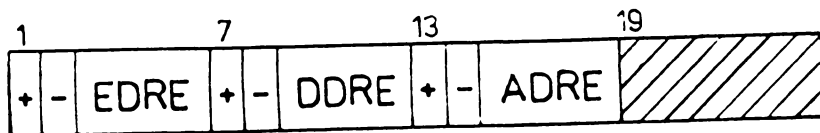
La intrarea în subrutină se testează dacă este în desfășurare programul de laminare 30 și una din trecerile



Structura celulei de memorie DA45
la prescrierea turației de trecere

FIG. 4.1

3 - 13, propuse pentru optimizare. Dacă da, atunci se comu-
tă pe optimizat, după ce în prealabil s-a căutat în lista LIST
adresa de început și de sfârșit a zonei în care este memorată
tahograma discretizată a trecerii respective.

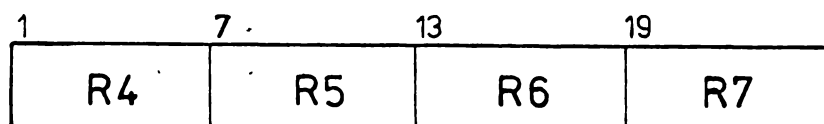


Structura generală a celulei DA45

FIG. 4.2

Dacă nu, se transmite în cuvîntul DAWØ45 al cuplorului de proces P 1 K, valoarea DA 45 care acum conține treapta de turație neoptimizată.

Transmiterea este asigurată de subrutina DGAU45.



Structura celulei DA40 cu valori prescrise de turație pentru rolele din zona cajei

FIG. 4.3

4.3.2. Prescrierea turatiilor pentru rolele R 4, R 5, R 6, R 7 și pentru acționarea principală (n_1, n_2, n_3) -

U 1 A B L

Subrutina se apelează cu ordinul:

U N T U 1 A B L (4.8)

La apelare, în acumulatorul stîng se află:

N Ø P a (4.9)

unde:

a = 0 pentru valoare impusă de turație R 4 ;
 1 - " - " - " - R 5 ;
 2 - " - " - " - R 6 ;
 3 - " - " - " - R 7 ;
 4 pentru H A E D R E ;
 5 pentru H A D D R E ;
 6 pentru H A A D R E ;

iar în celula HLABL în biții 1 ÷ 6 se află valoarea binară de turație impusă.

Subrutina decodifică destinația valorii impuse de turație din HLABL și formează, corespunzător, celulele DA45 sau DA40, conform structurii date în fig. 4.2. și 4.3. În final, transmite prin ieșirile cuplorului de proces PLK DAWØ45 respectiv DAWØ40 valorile DA45 sau după caz, DA40 .

Din motive de memorie ocupată cu lista valorilor impuse pentru role, în regim optimizat nu s-a mai uzat de această subrutină. De asemenea, a fost blocată utilizarea ei la prescrierea n_3 .

4.3.3. Deplasarea punctului de frînare - U 3 H

Subrutina asigură controlul procesului de frînare prin bițul 3 al cuvîntului DA 34 .

4.3.4. Prescrierea turației de ieșire n_2 - U 4 H

Subrutina se apelează cu ordinul:

U N T U 4 H (4.10)
N Ø P a

unde:

a = 0 pentru sensul + ;
1 pentru sensul - .

După ce se pregătește în HLABL₁₊₆ valoarea binară de turație cu semn, se eliberează prescrierea prin subrutina ULABL. Această subrutină se folosește în ambele regimuri, asigurînd, în caz de alunecare, ieșirea materialului dintre cilindri. În caz contrar, ea este anulată.

4.3.5. Eliberarea prescrierii n_3 de presiunea în cază P 4 H

Subrutina eliberează prescrierea turației de trecere numai dacă n_1 a fost deja prescris și numai dacă caza este încărcată. În caz contrar, se impune turația de prindere n_1 cu subrutina ULHA care nu a mai fost descrisă, fiind utilizată nemodificată în ambele regimuri (optimizat și neoptimizat).

P4H apelează U2HA dacă sînt îndeplinite condițiile de laminare (nu a fost o întrerupere falsă).

4.3.6. Eliberarea n_3 la intrarea lingoului în sens +/- P6H și P7H

Prin această subrutină se prescrie n_2 cu U4H după care se prescrie n_3 cu U2HA, la apariția întreruperii ALNR 47/48. P7H asigură în plus comutarea ($H7H = 1$) pentru prescrierea turațiilor n_3 la ultimele treceri. De asemenea, ambele subrutine marchează faptul că s-a transmis valoarea n_3 , blocînd retransmiterea la alarme false. Se asigură astfel ca parabola să nu fie reluată de la început, la mijlocul lingoului.

4.3.7. Inițializare P8H

Subrutina asigură inițializarea switch - urilor care condiționează regimul semiautomat sau optimizat. De asemenea, se prescrie turație nulă la acționarea principală. P8H se apelează la întreruperile ALNR 71/72 de la ieșirea lingoului în sens +/- .

4.3.8. P10H, P10HA, P11H

Subrutinele realizează anularea, anularea deplasării, respectiv devansarea punctului de frînare. Sînt utilizate la apariția alunecării, respectiv pentru asigurarea turației n_2 la comutarea pe neoptimizat în cazul apariției anomaliilor de laminare.

4.3.9. P 12 H

Subrutina este apelată de întreruperea ALNR33 și eliberează impunerea turației de trecere n_3 în ultimele treceri prin P4H. Comutarea se asigură prin $H7H = 1$ în P7H.

4.3.10. D G A U 45

Subrutina asigură, prin DAWØ 45 al P 1 K, transmiterea valorii conținute în DA 45. Aceasta, printr-un convertor N/A este convertită în semnal de curent, apoi în nivel unificat de tensiune TRANSIDIN ± 10 V și în final se aplică limitatorului de accelerație din bucla de reglare a turației acționării principale.

4.3.11. Generarea întreruperii de 0,1 [s]

Întreruperea s-a realizat utilizând zona de prelucrare a impulsului de timp din programul supervisor ØRGI. În această parte de program s-a mai introdus o secțiune ØRGØP care testează dacă este regim optimizat (SW = 1) și dacă da, atunci pornește programul PTØP de prescriere a unei noi trepte de turație din tahograma optimă discretizată și memorată.

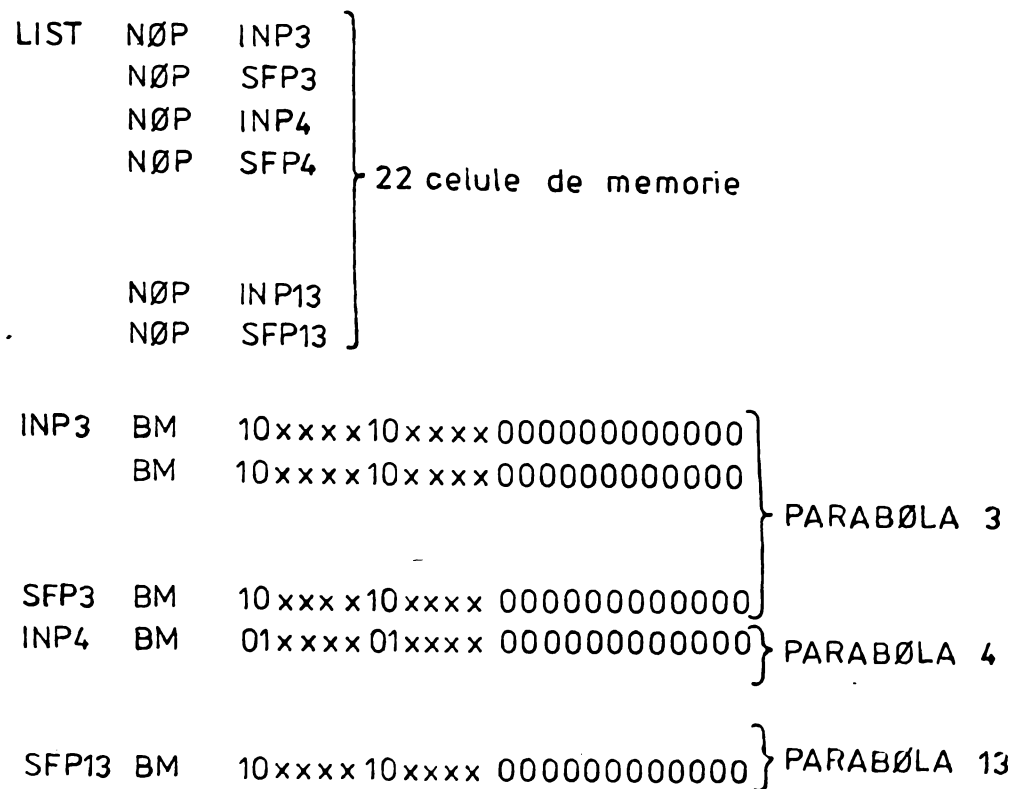
În caz contrar, se revine în programul supervisor.

4.3.12. Descrierea programului PTØP

Programul este pornit de secțiunea ØRGØP din supervisor, la fiecare 0,1 [s] dacă condițiile de eliberare a turației de trecere sînt îndeplinite și dacă este regim optimizat (SW = 1). Comutarea se face în subrutina U2HA. Programul alege din parabola selectată o nouă valoare discretă de turație, formează informația în DA 45 apoi transmite această valoare cu ajutorul subrutinei DGAU 45. În momentul cînd s-a transmis ultima valoare discretă din parabola considerată, programul comută în regim neoptimizat (SW = 0). Aceasta asigură următoarea startare a programului PTØP abia la o nouă trecere, în regim optimizat.

În figurile 4.5. - 4.19. sînt prezentate schemele logice ale subrutinelor și programelor utilizate în laminarea optimizată. Notațiile utilizate în scrierea programelor PRØSA sînt:

LA - acumulatorul stîng; HA - acționarea principală;
H1H - HA așteaptă n_{1+} ; H2H - HA așteaptă n_{1-} ; H3H - cilindrii alunecă; H4H - turație redusă; H5H - valoare impusă redusă;
H6H - punct de frînare apropiat; H7H - marchează ultimele



Structura listei LIST de adrese și structura
zonelor de memorare a parabolelor

FIG. 4.4

treceeri; H 1,2,3 - celulă de lucru; EDRE - turația de prindere n_1 ; DDRE - turația de trecere n_3 ; ADRE - turația de ieșire n_2 ; BP - punct de frînare; MEDRE - flag n_1 impus; MDDRE - flag n_3 impus; MADRE - flag n_2 impus; MSAUT - flag regim semiautomat; HLUØR - intrare (+) interzisă; H1RUECK - intrare (-) interzisă; GEUØR - cajă încărcată sens (+); GERUECK - cajă încărcată sens (-); DRUCK - presiune în cajă; KANT - răsturnare; KANEPL - schimbare calibru; STICH - numărul trecerii; PRØG - numărul programului de laminare; INCEPUTP - adresa de început a parabolei curente; SFIRSITP - adresa de sfîrșit a parabolei curente; LIST - lista de adrese ale parabolelor optime; HZ - adresa curentă a treptei de turație (discretizată); SW - pune pe optimizat; INP_i - adresa de început a zonei ce conține parabola "i"

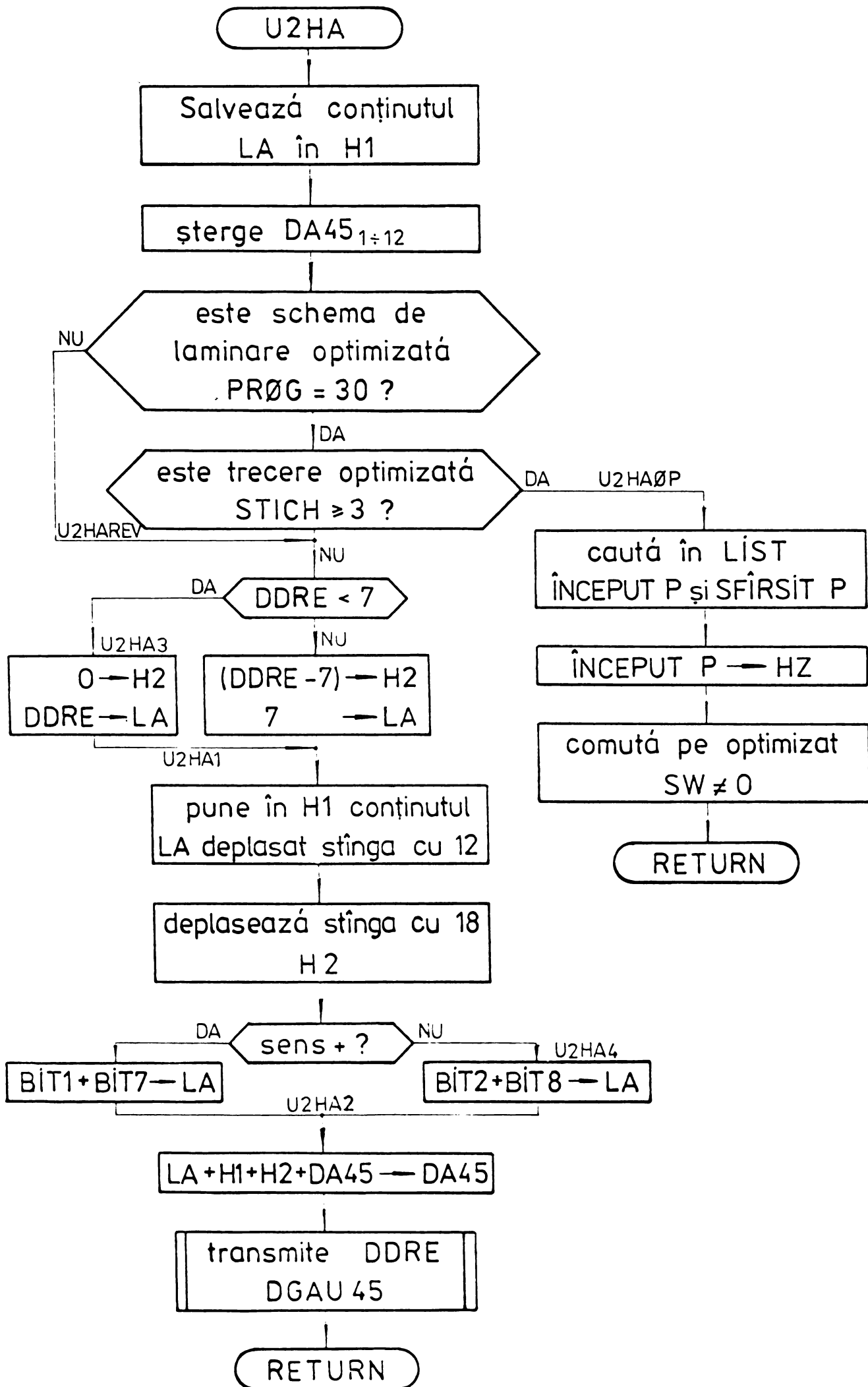


FIG. 4.5

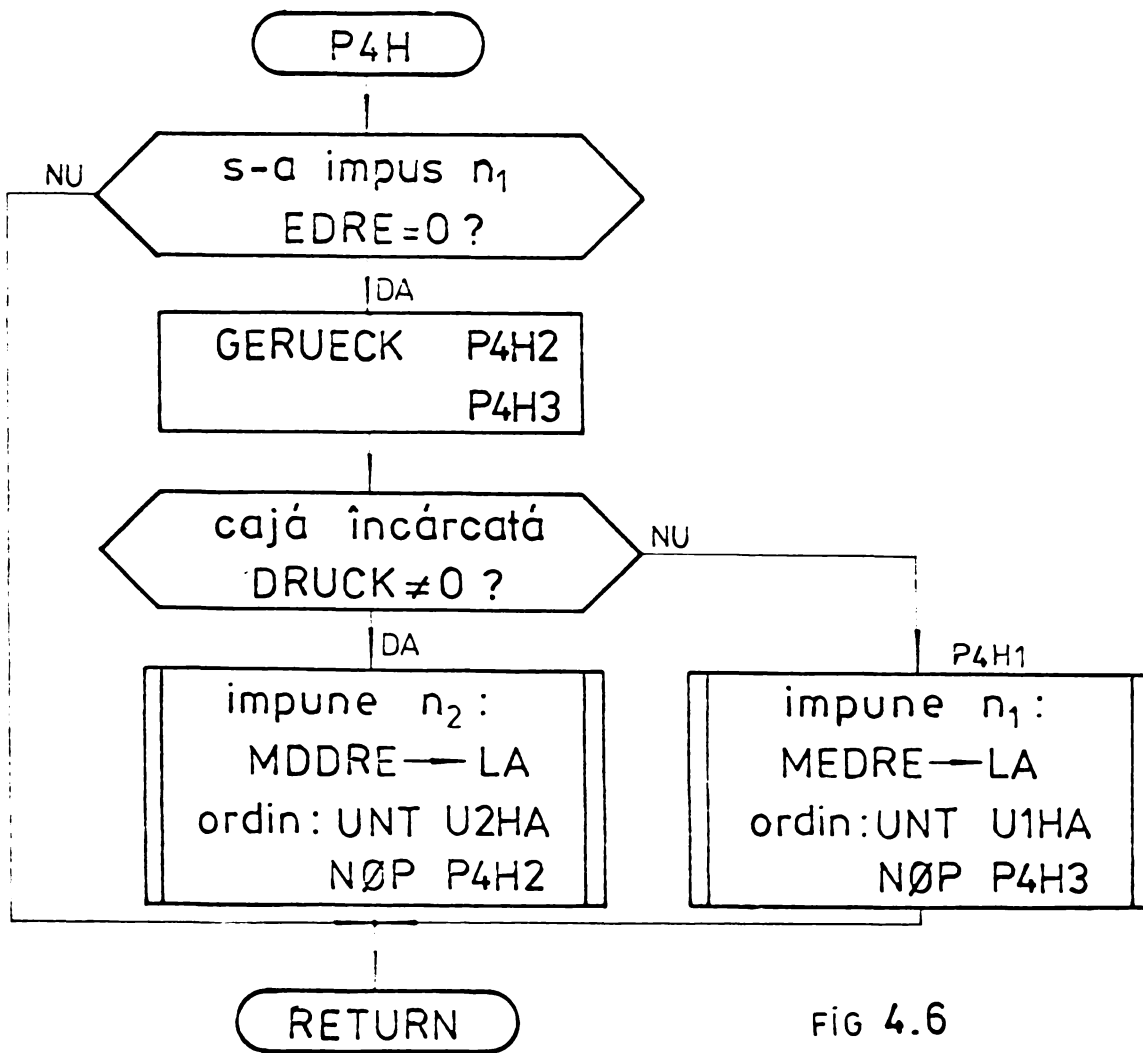
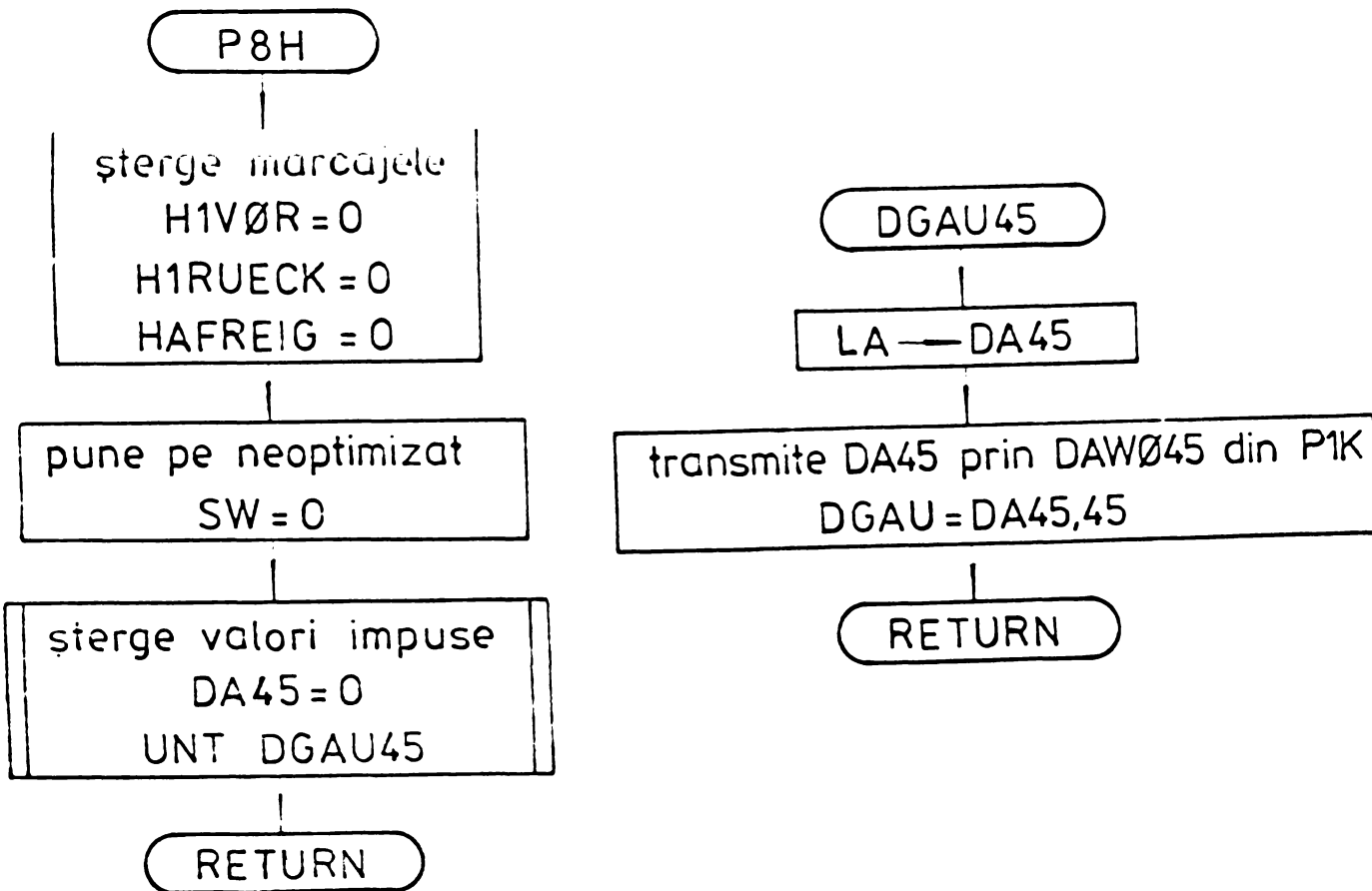


FIG 4.6



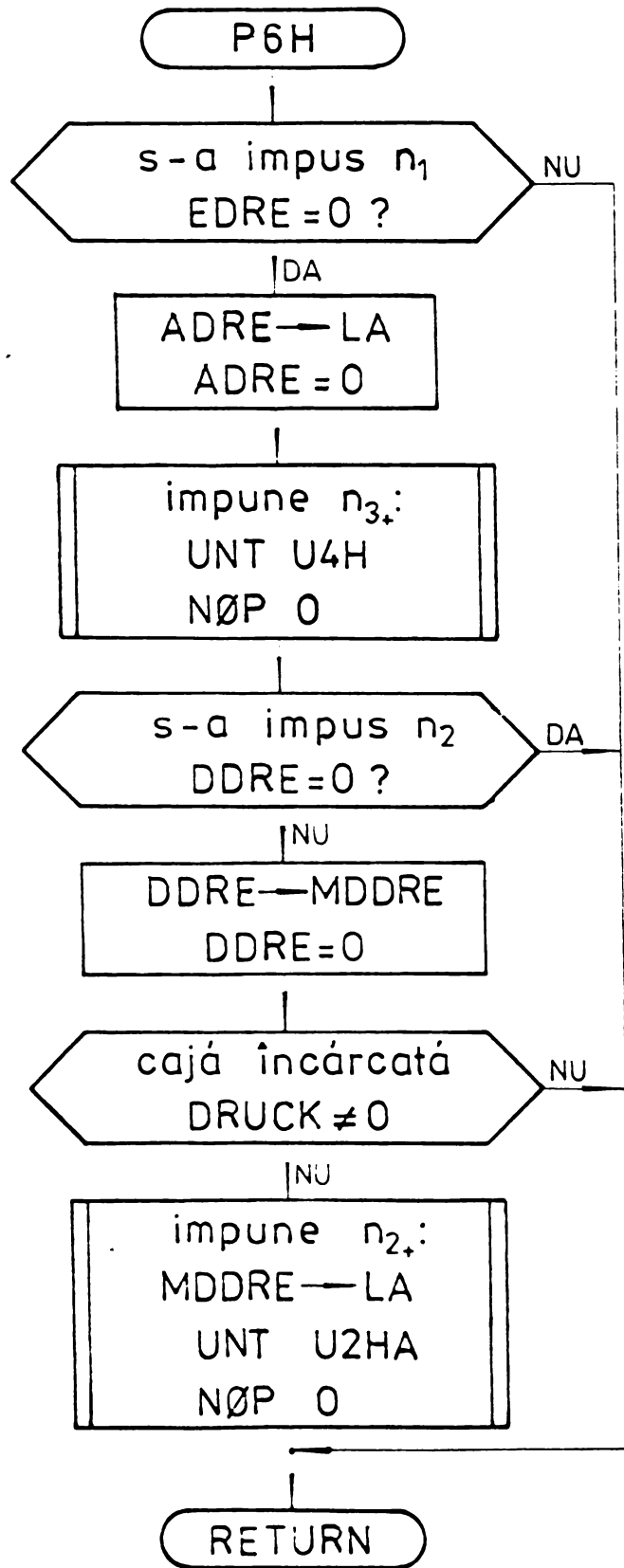


FIG 4.7

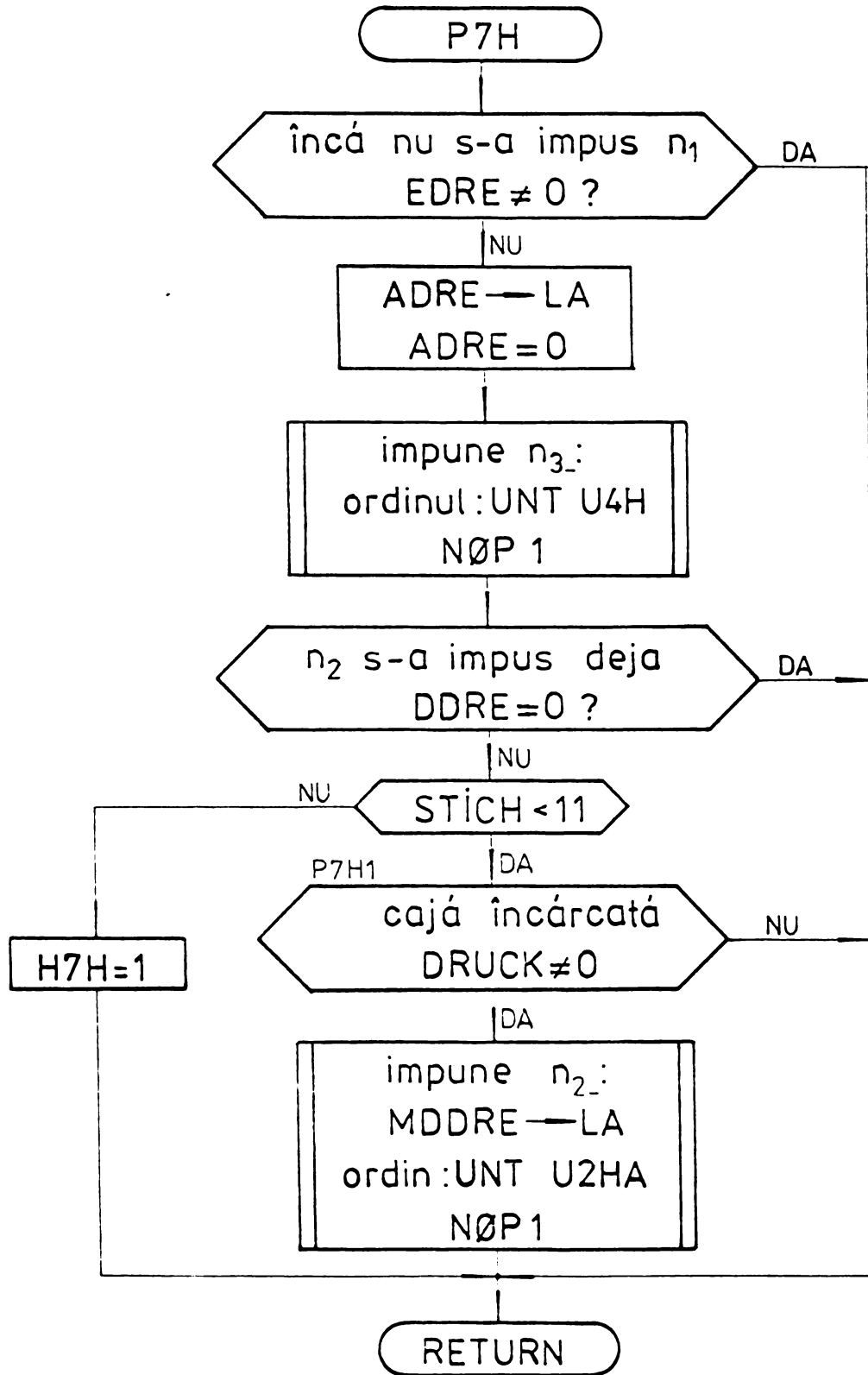


FIG 4.8

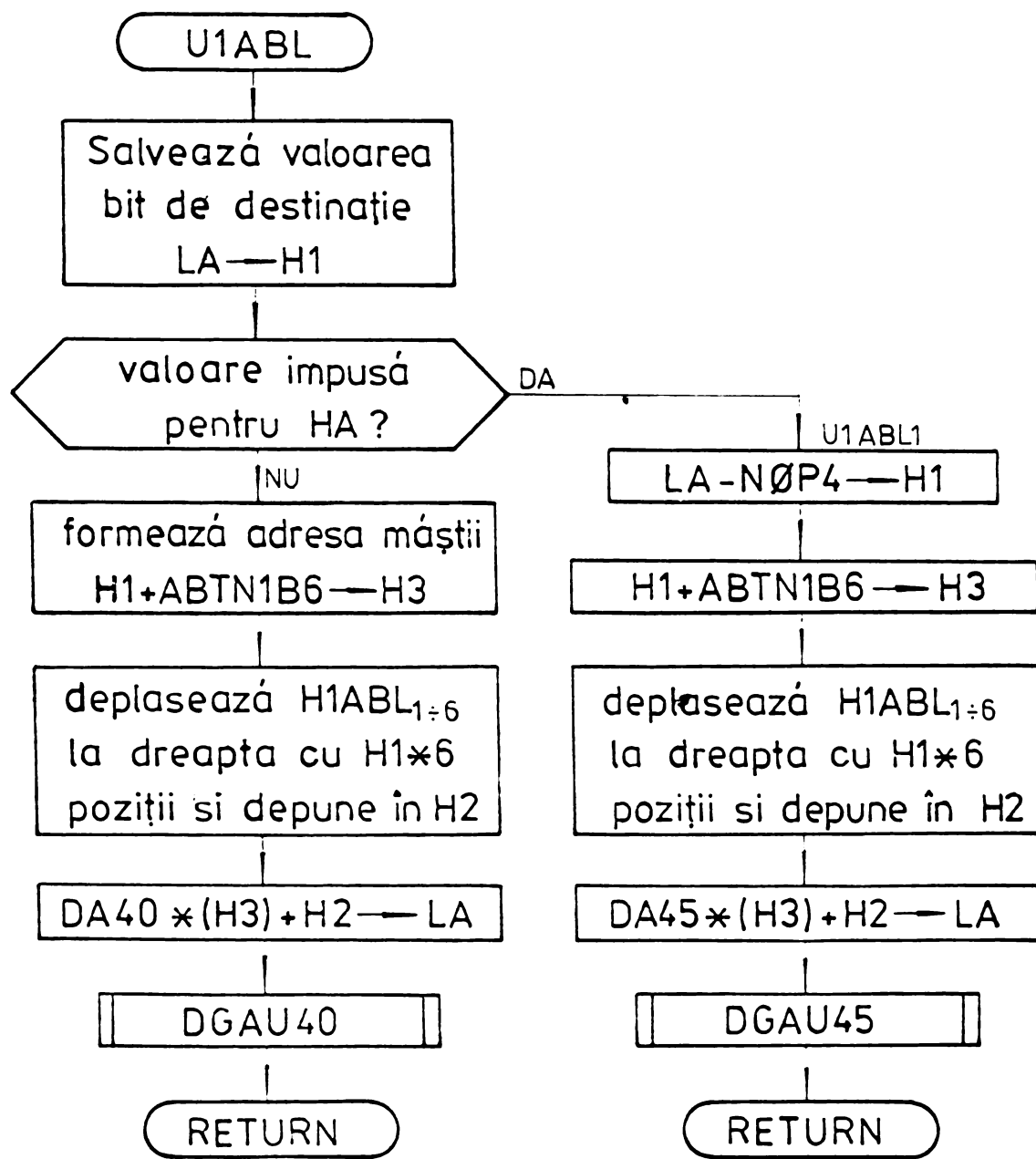


FIG 4.11

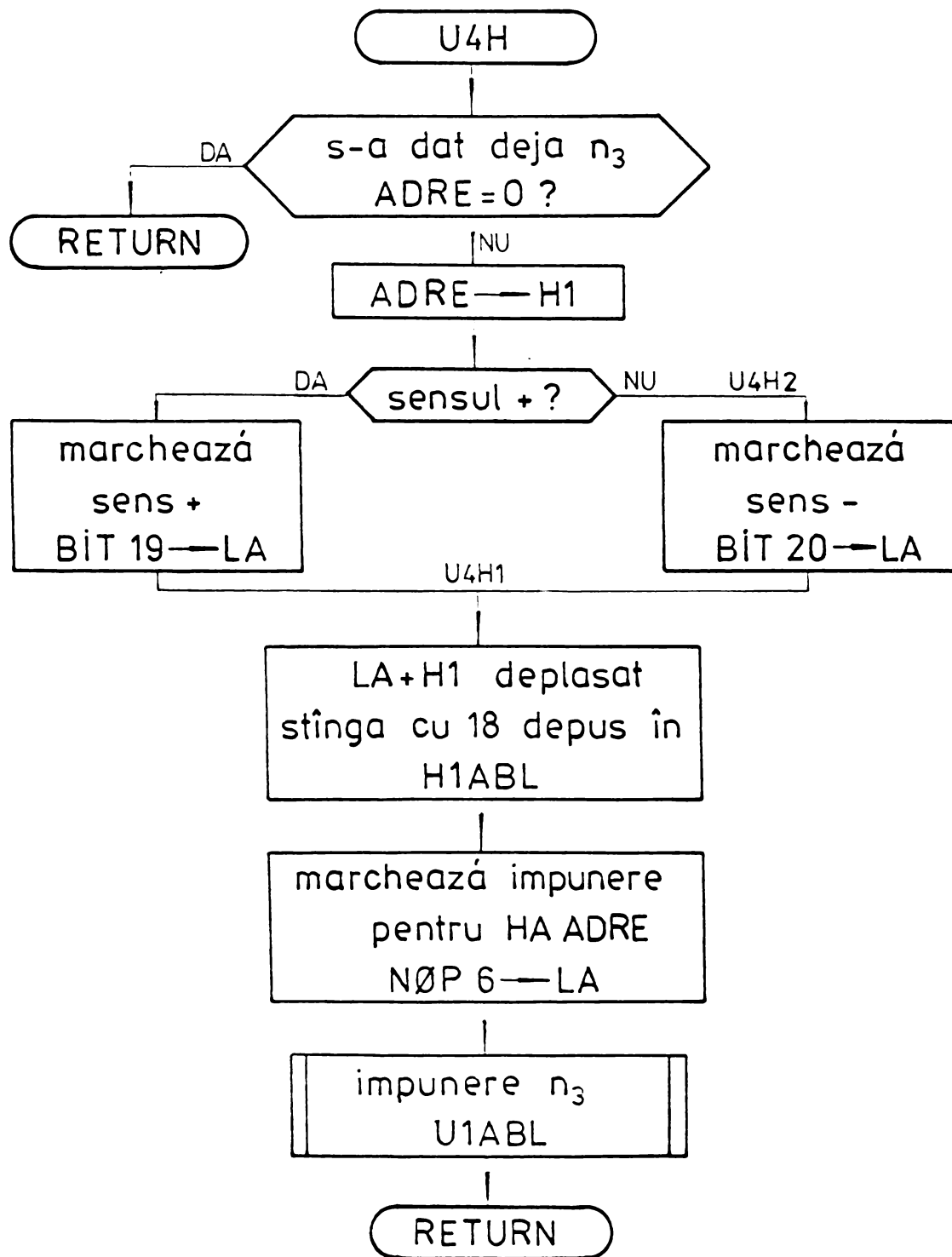


FIG 4.12

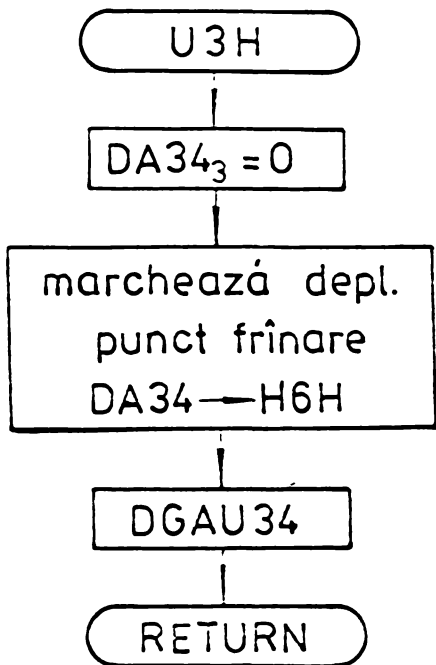


FIG 4.13

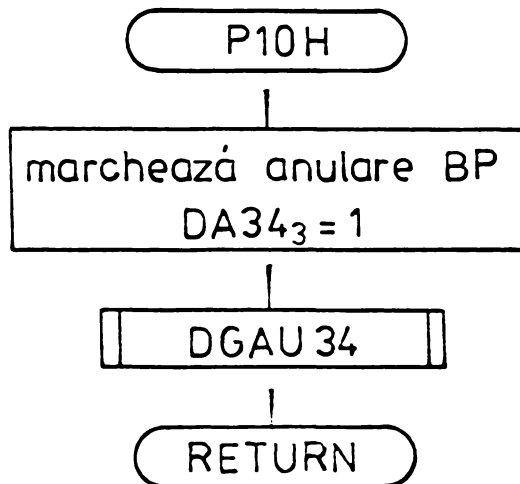
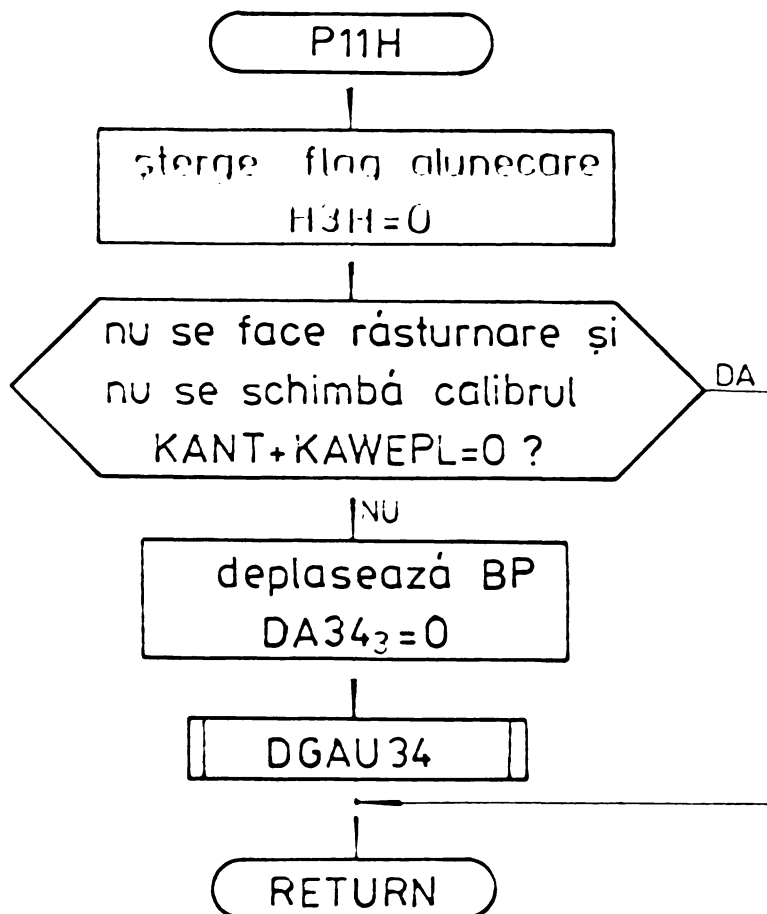
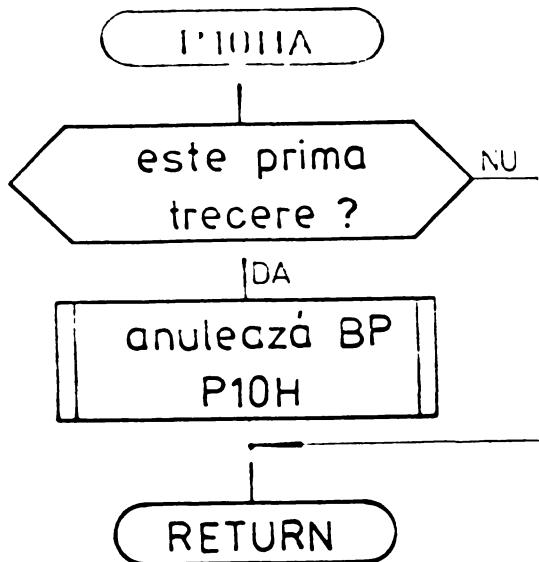


FIG 4.14



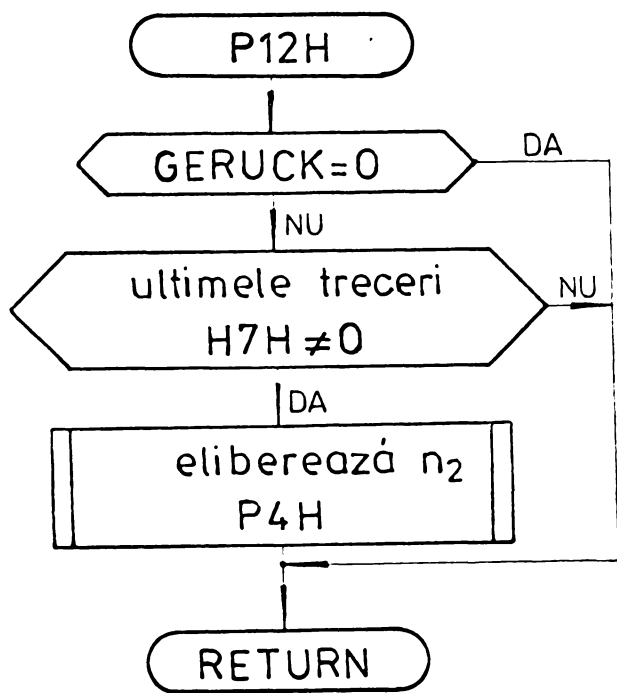


FIG 4.17

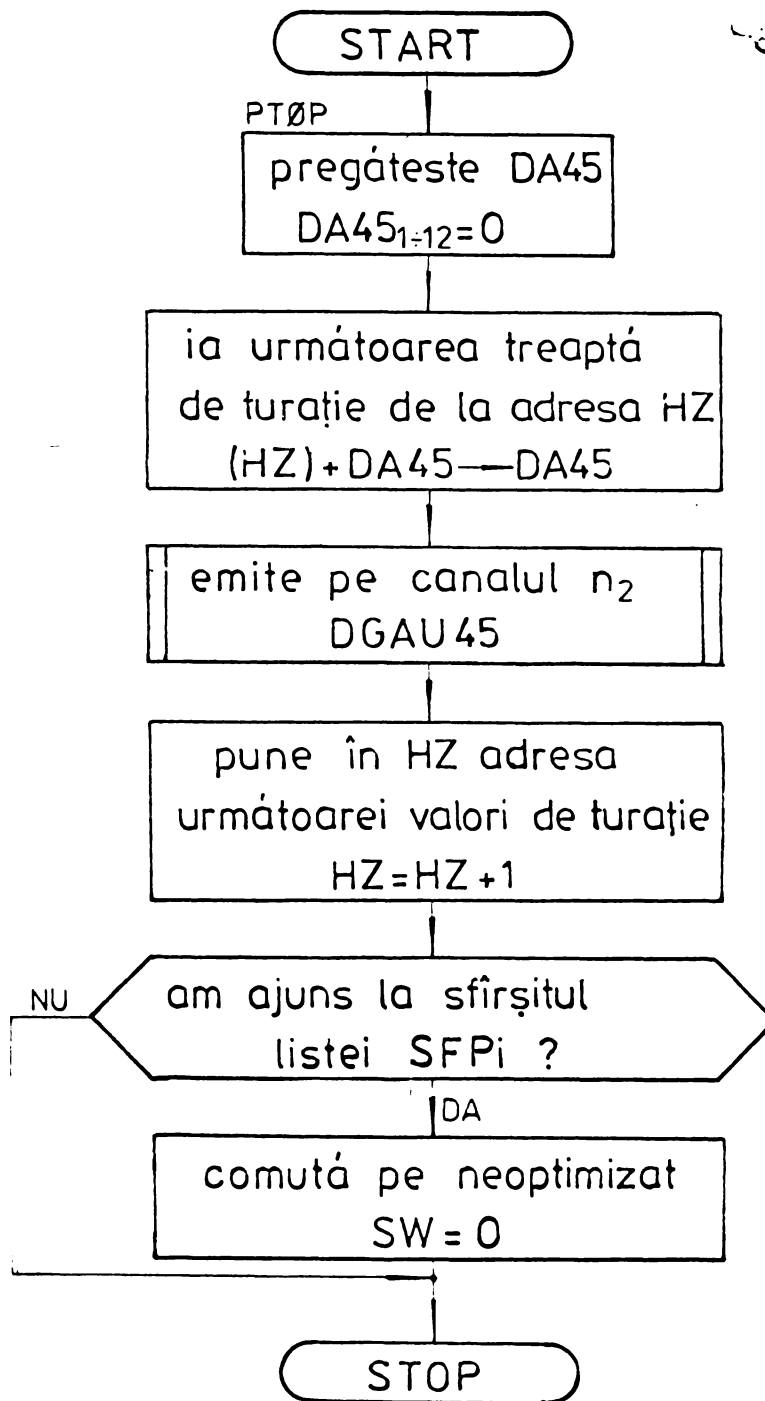
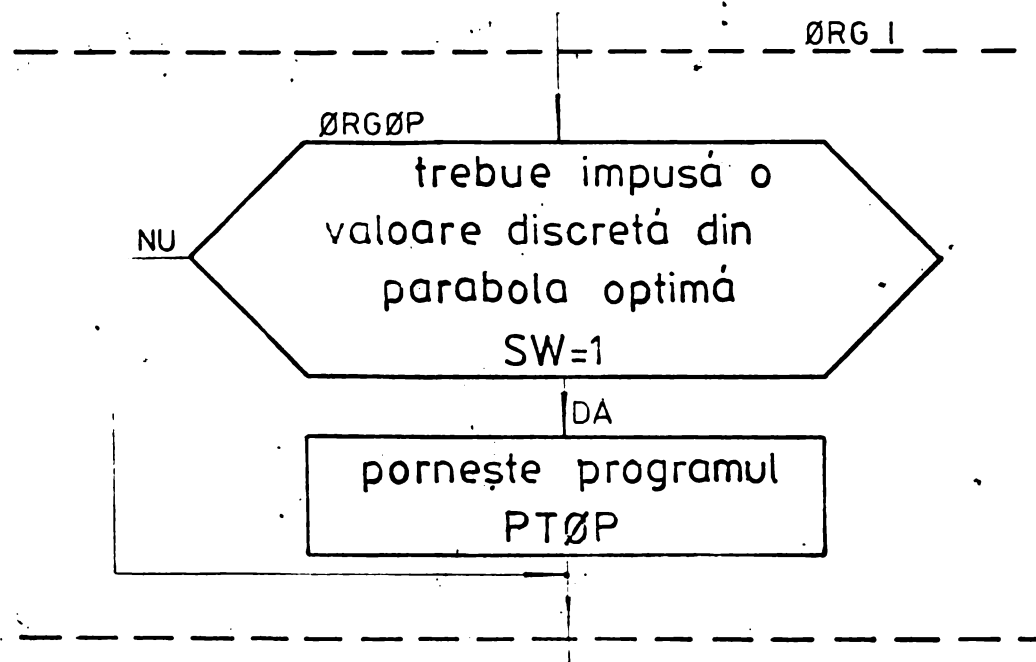


FIG 4.18



Obs: această ramură se
parcurge la fiecare 0,1s

FIG 4.19

discretizată ; SFP₁ - idem, adresa de sfârșit ; ABTNLB6 - adresa de început a măștilor ; DAWØxx - cuvânt digital xx, al PLK ; PLK - cuplorul de proces al calculatorului SIEMENS 3Ø2. P ; DAXx - celulă de memorie ce conține valoarea pentru DAWØxx.

Lista subrutinelor utilizate (în plus față de laminarea neoptimizată):

- U2HA - prescriere turația de trecere n_3 ;
- U1ABL - prescriere turația pentru rolele R 4 - R 7 și IA (n_1, n_2, n_3) ;
- U3H - deplasare punct frînare ;
- U4H - pregătirea prescrierii valorii impuse de turație n_2 ;

- P4H - eliberare n_3 de presiunea în cajă ;
- P6H - eliberare n_3 sens (+) la ALNR 47 = intrare lingou în sens (+) ;
- P7H - eliberare n_3 sens (-) la ALNR 48 = intrare lingou în sens (-) ;
- P8H - inițializare la ALNR 71/72 = ieșire lingou în sens +/- ;
- PloH - anulare punct frînare ;
- PloHA - anulare deplasare punct frînare ;
- P11H - devansare punct frînare ;
- P12H - impune n_3 în ultimele treceri ;
- DGAUxx - emite DAXx prin DAWØxx ;
- ØRGØP - întrerupere de $100[\text{ms}]$; startează PTØP ;

Lista programelor utilizate:

PARØPT - calcul off - line al parabolei optime, turațiilor normate SIEMENS și trasare a graficelor ;

PTØP - program de prescriere on - line a unei trepte de turație din lista cu valori discrete memorată ;

4.4. Rezultate experimentale

Parametrii de bază ai motoarelor principale, avuți în vedere la calculul tahogramelor optime și apoi a pierderilor de energie și consumului total au fost:

- tensiune nominală $U_n = 1050 [\text{V}]$;
- curent nominal $I_n = 6880 [\text{A}]$ (motor superior);
 $I_n = 7700 [\text{A}]$ (motor inferior);
- putere nominală $P_n = 6780[\text{KW}]$ (motor superior);
 $P_n = 7600[\text{KW}]$ (motor inferior);
- cuplu nominal $M_n = 110 \cdot 10^3 [\text{daNm}]$
(motor superior);
 $M_n = 123 \cdot 10^3 [\text{daNm}]$
(motor inferior);

- turație nominală $n_n = 60 (55 \div 75) [\text{rot./min.}]$;
- turație maximă $n_{\text{max.}} = 100 [\text{rot./min.}]$;
- randament nominal $\eta_n = 93,9 \%$;
- curent excitație $I_{\text{ex}} = 90 \div 260 [\text{A}]$;
- rezistență indus + înfășurare comutație:
 $R_a = 6,52 \cdot 10^{-3} [\Omega]$;
- GD^2 rotor + cilindru + bare de cuplare, redus:
 $421 \cdot 10^3 [\text{Kgm}^2]$;
- curent maxim $I_{\text{max.}} = 18750 [\text{A}]$;
- accelerație maximă la sarcina nominală $66,66$
 $[\frac{\text{rot./min.}}{\text{s}}]$
- consum de energie anual (mediu, ambele motoare)
 $22.190.000 [\text{KWh}]$;

4.4.1. Desfășurarea încercărilor

Conform celor expuse anterior, s-au calculat tahografele optime pentru trecerile 3 - 13 ale unui lingou de 8,4 tone oțel necalmat, iar pe baza modificărilor efectuate în programele calculatorului de proces SIEMENS 302 P, aceste tahograme urmau a fi impuse în mod automat. Trecerile 1,2 nu s-au propus pentru optimizare deoarece sînt foarte scurte, cuplul de laminare este foarte mare și de obicei apar alunecări laminat - cilindru. Succesul operațiunii depinde de precizia cu care se respectă datele avute în vedere la calculul parabolilor (cuplul de laminare și lungimea laminatului după trecere fiind parametri care pot introduce erori importante). Cum aceste erori se pot cumula de la trecere la trecere, s-a ajuns la concluzia de a realiza o singură trecere optimizată, luînd mai multe valori pentru $G = m/g$ și L , astfel încît să se ajungă cît mai aproape de situația reală. În acest scop, s-a ales trecerea a 12-a, pentru care datele furnizate de tehnolog au fost mai apropiate de cele reale, iar cuplul de laminare mai mic. Concluziile rezultate pot fi extinse, în medie, tuturor celorlalte treceri.

Realizarea însă, efectivă, a laminării tuturor celorlalte 11 treceri optimizate, impune unele investiții care vor fi analizate ulterior.

În timpul încercărilor s-au înregistrat următoarele mărimi

- valoarea impusă de turație ;
- valoarea reală de turație ;
- diferența valorilor reală și impusă de turație, amplificată și prelucrată de regulatorul de turație ;
- tensiunea de alimentare a motorului inferior ;
- curentul indusului motorului inferior ;

Toate aceste mărimi s-au înregistrat pentru un lingou laminat în regim optimizat și altul în regim neoptimizat. Oscilogramele realizate sînt prezentate în figurile 4.20 - 4.26, după cum urmează:

- 4.20 - parabola optimă discretizată impusă de calculator, respectiv valorile impuse în regim neoptimizat ;
- 4.21 - $n = f(t)$ pentru trecerile 12 - 13, neoptimizate (regim semiautomat) ;
- 4.22 - $n = f(t)$ pentru trecerile 11 - 13, trecerea 12 neoptimizată ;
- 4.23 - $u = f(t)$ pentru trecerile 12 - 13 neoptimizate ;
- 4.24 - $u = f(t)$ pentru trecerile 11 - 13 (trecerea 12 optimizată) ;
- 4.25 - $i = f(t)$ pentru trecerile 12 - 13 neoptimizate ;
- 4.26 - $i = f(t)$ pentru trecerile 11 - 13 (trecerea 12 optimizată) ;

Se menționează că în figurile 4.22 - 4.24; 4.26 , trecera 11 s-a realizat în regim manual, iar trecerea 13 în regim semiautomat, pentru a putea face o comparație mai sugestivă cu trecerea 12, optimizată.

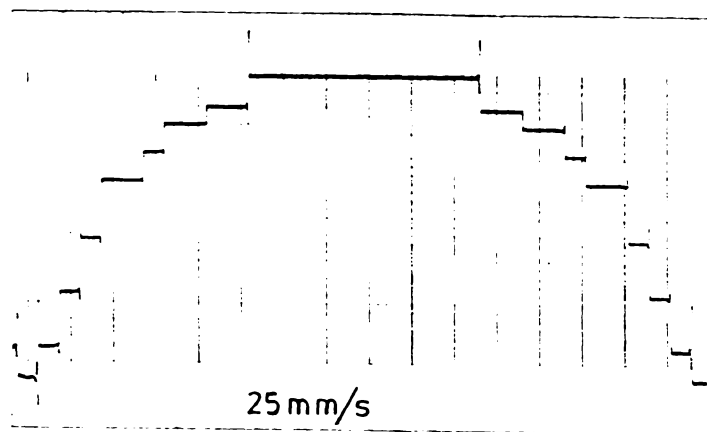
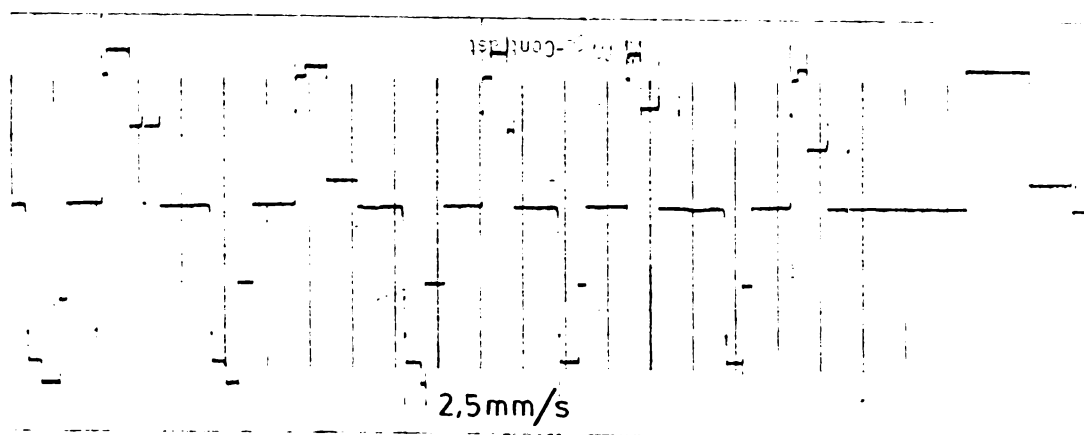
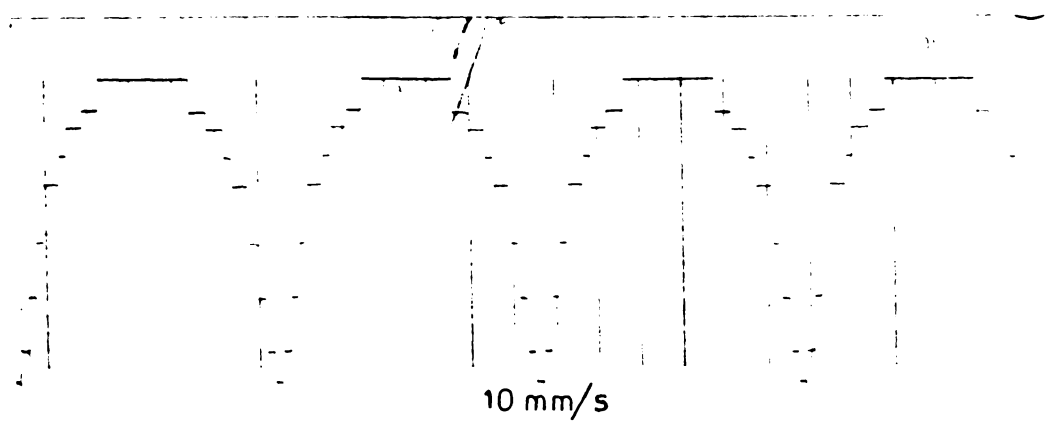


FIG.4.20. Valoarea impusă de turație dată de calculator

a) trecere optimizată



b) trecere neoptimizată, (regim semiautomat)



c) succesiune de parabole optime

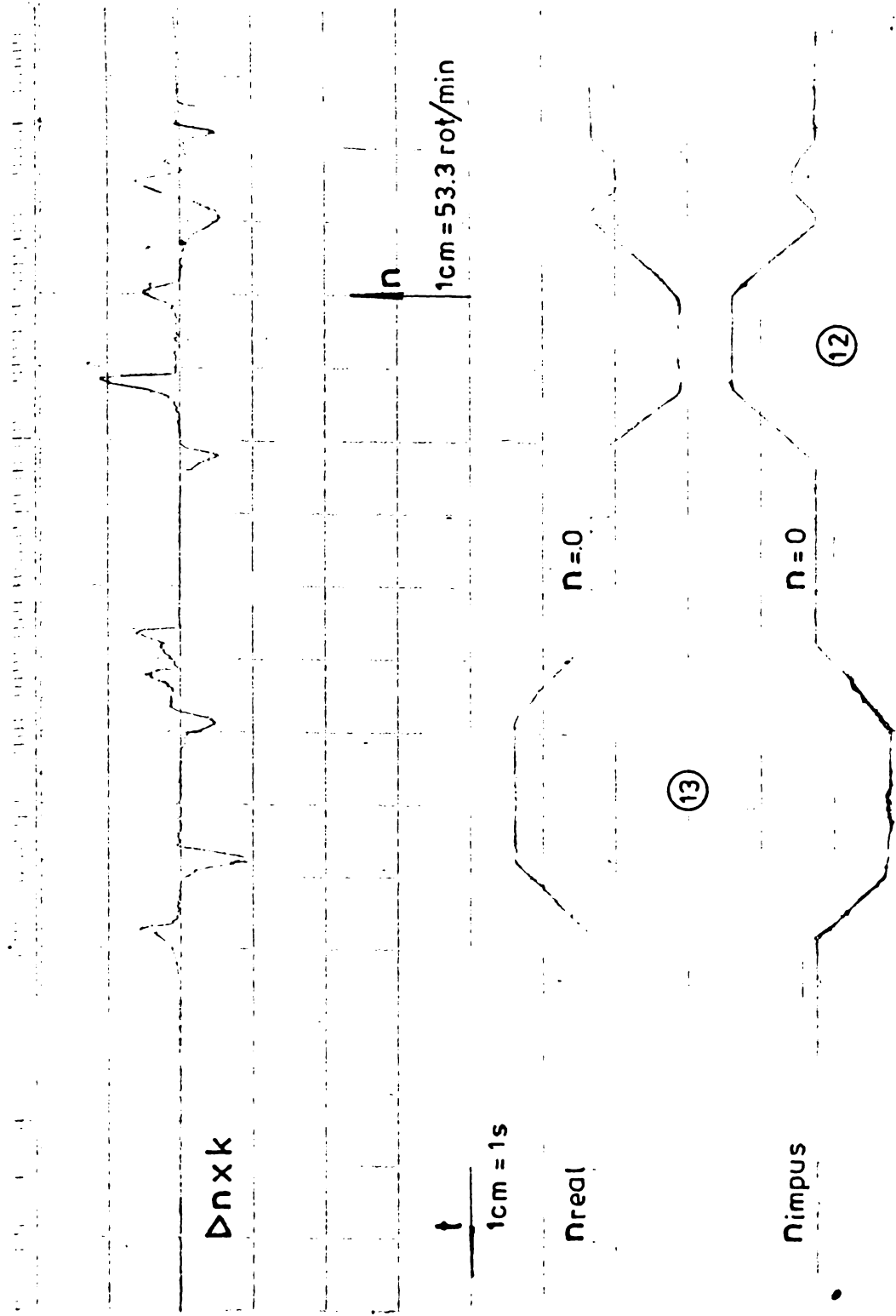


FIG.4.21. $n = f(t)$, (trecerea 12 neoptimizatá)

141

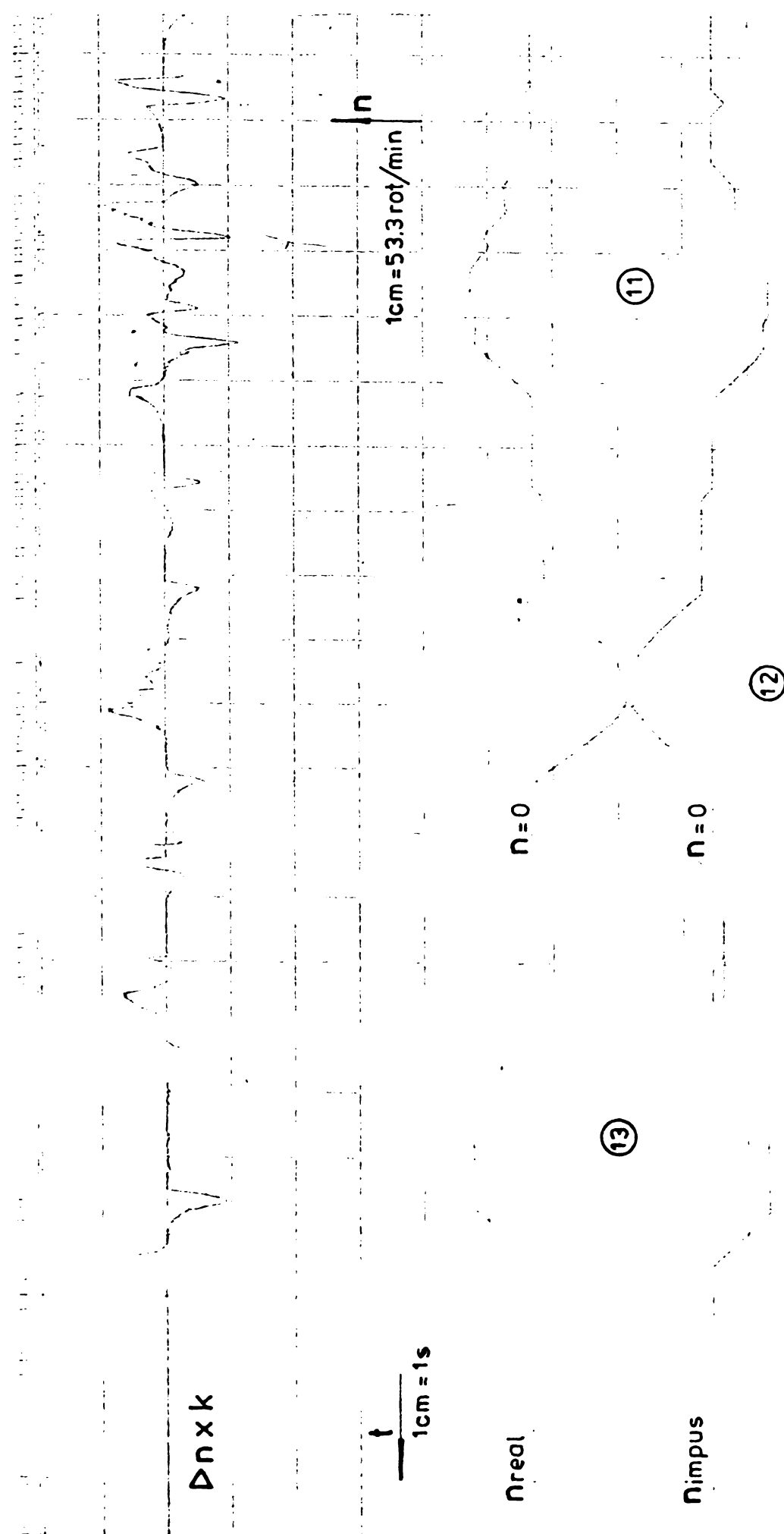


FIG. 4.22. $n = f(t)$, (trecerea 12 optimizată)

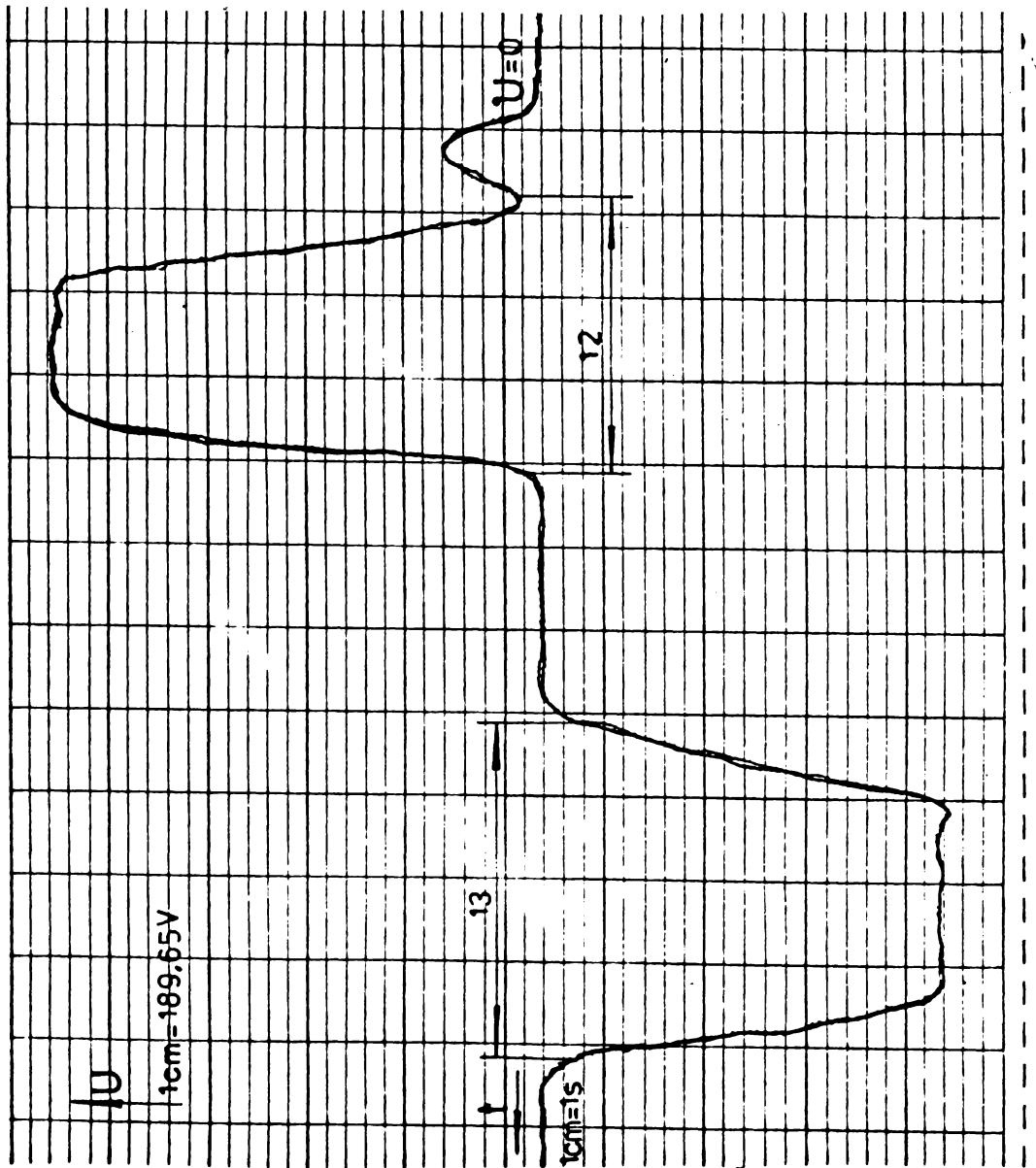


Fig.4.23. $U = f(t)$ la trecerile 12 - 13
(trecerea 12 neoptimizată)

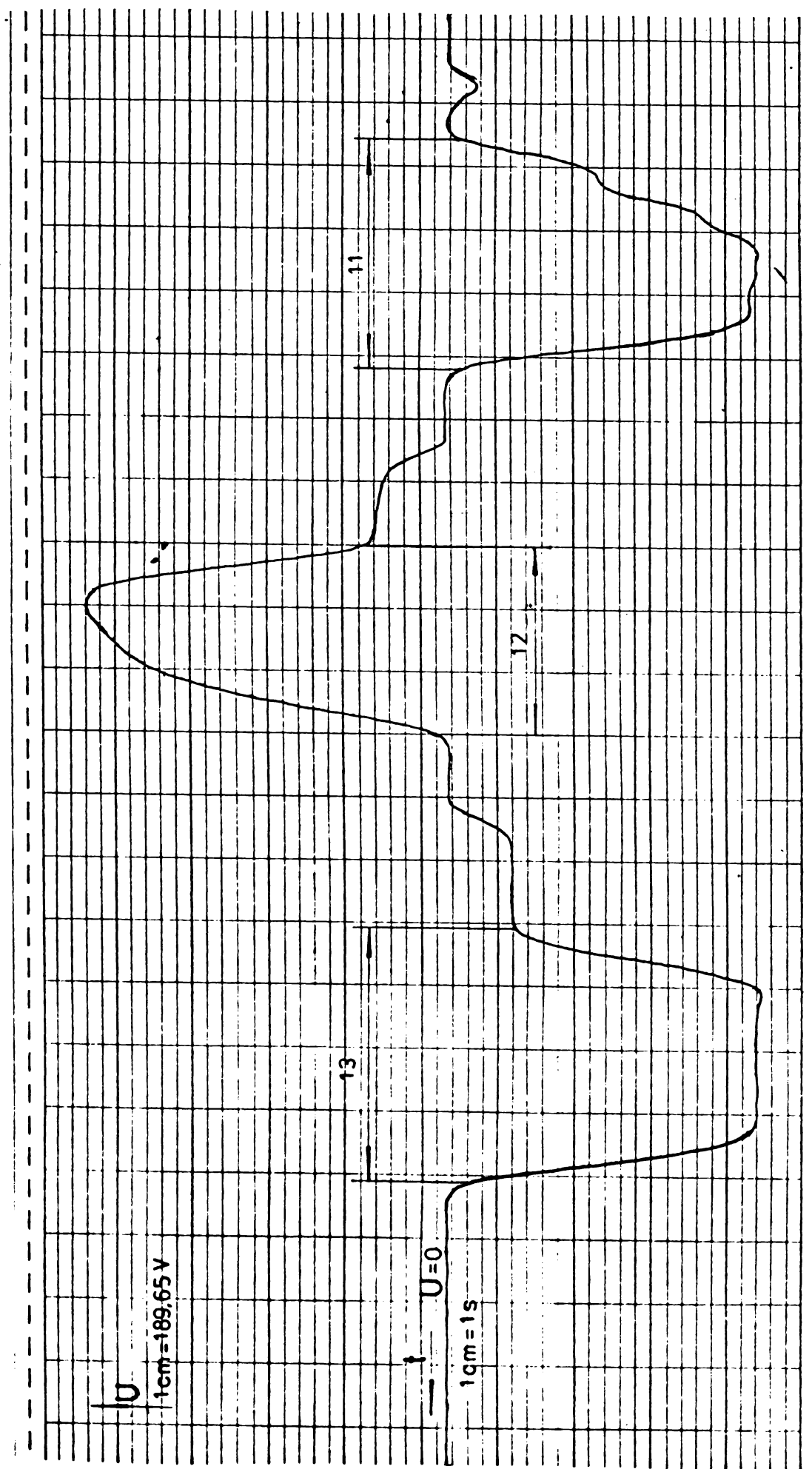


FIG.4.24. $U = f(t)$ la trecerile 11 - 13
(trecerea 12 optimizată)

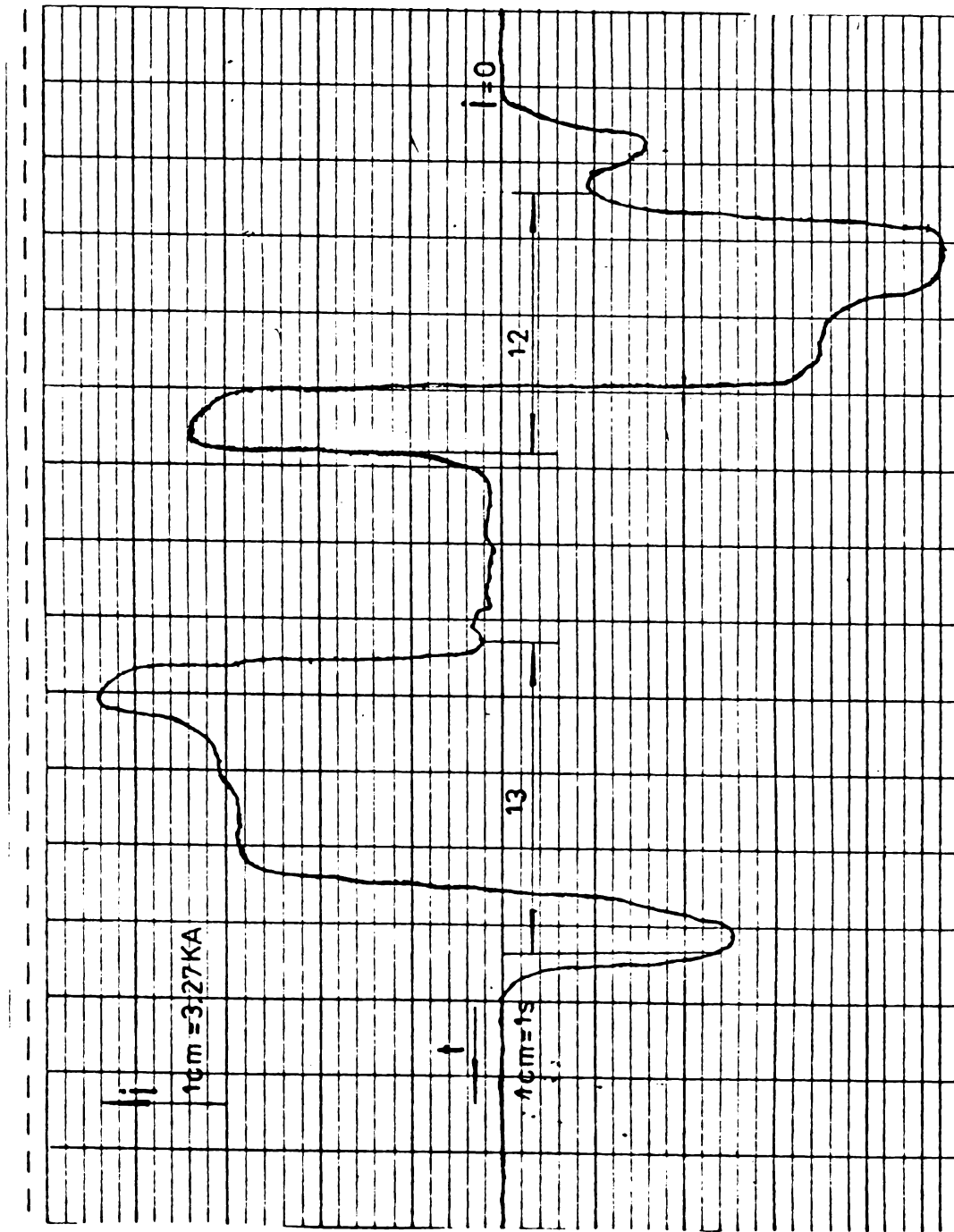


Fig.4.25. $i = f(t)$ la trecerile 12 - 13
(trecerea 12 neoptimizată)

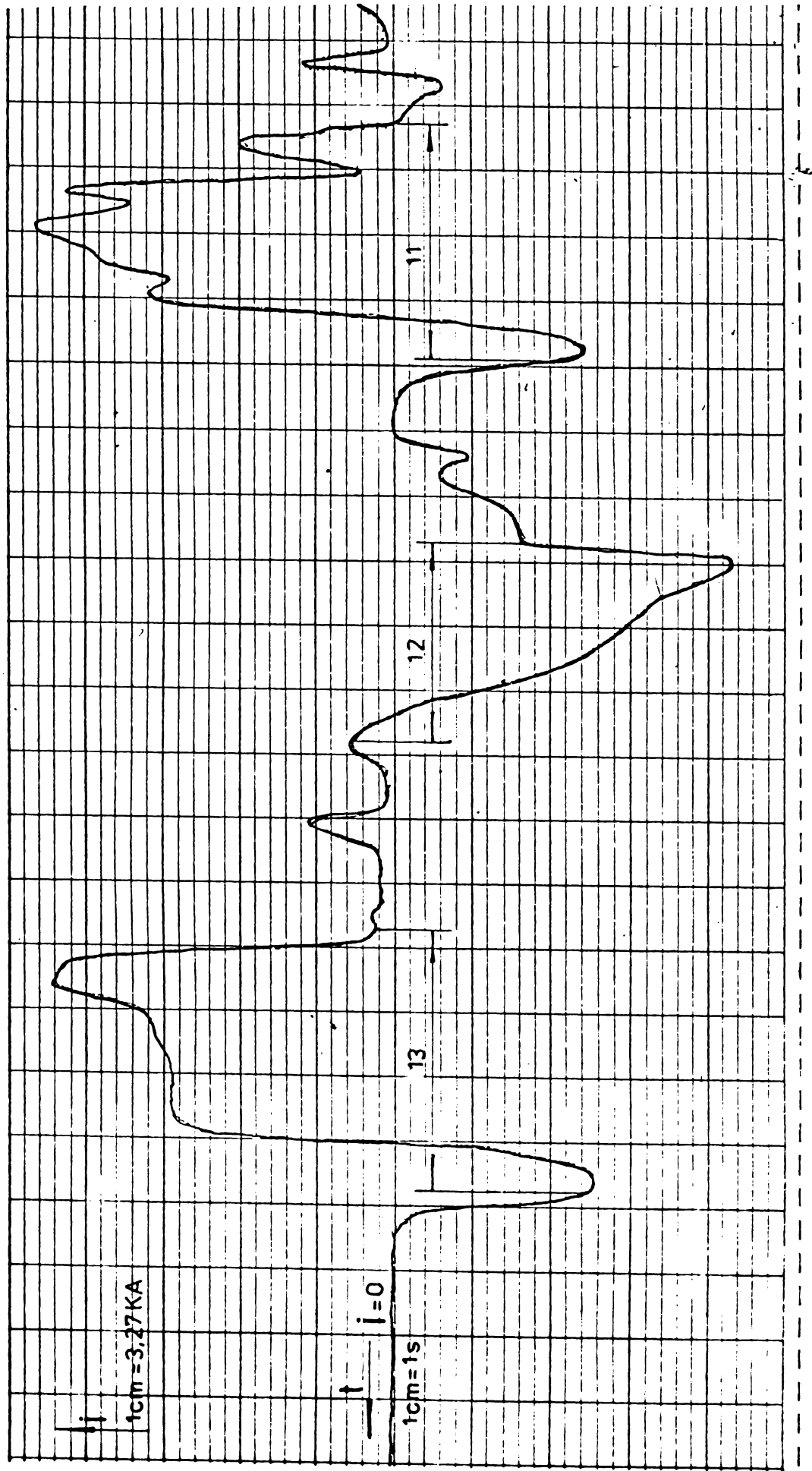


FIG.4.26. $i = f(t)$ la trecerile 11-13
(trecerea 12 optimizată)

$i^2 = f(t)$ Trecerea 12 neoptimizată

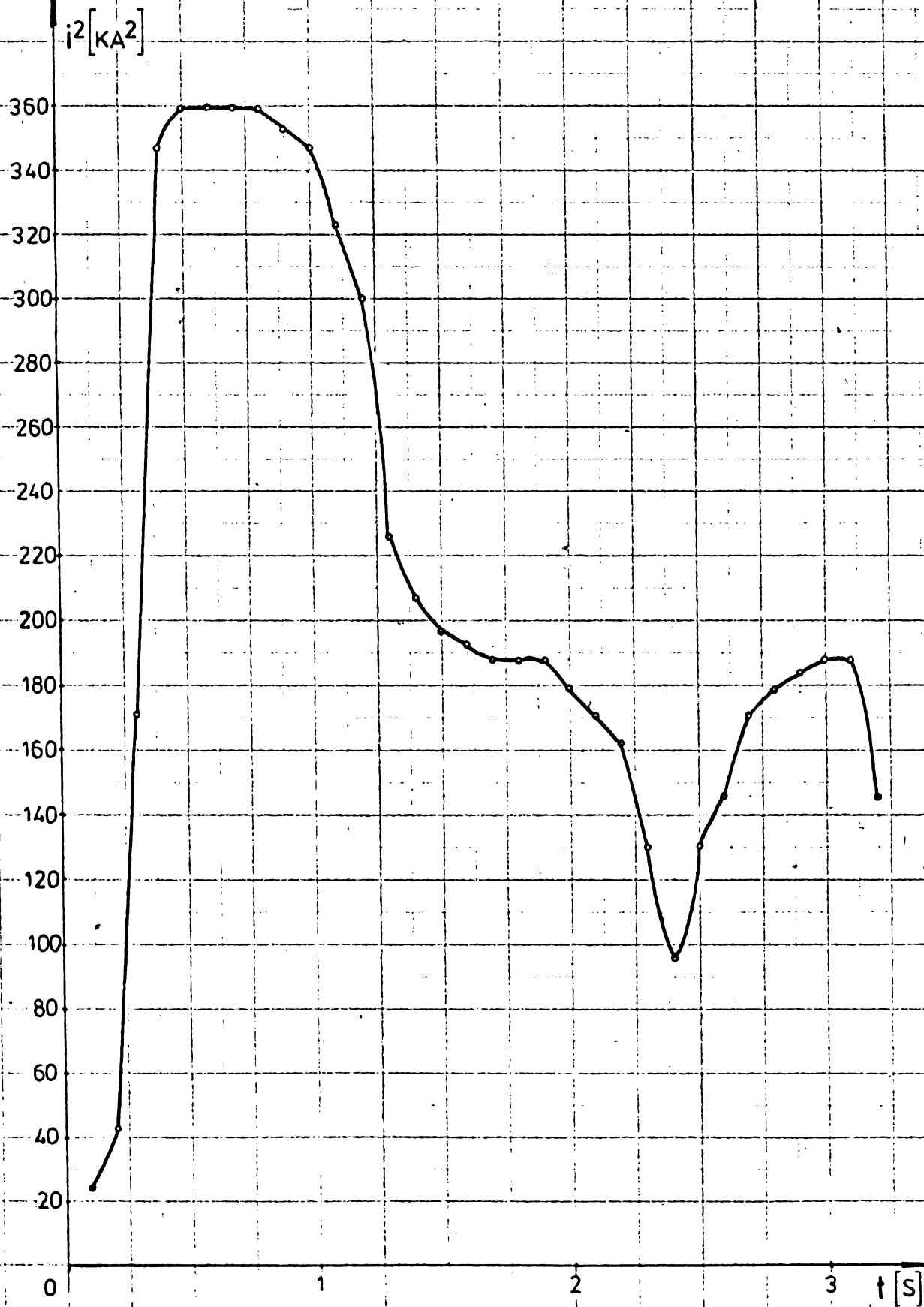


FIG. 4.27.

- 170 -

$i^2 = f(t)$ Trecerea 12 optimizată

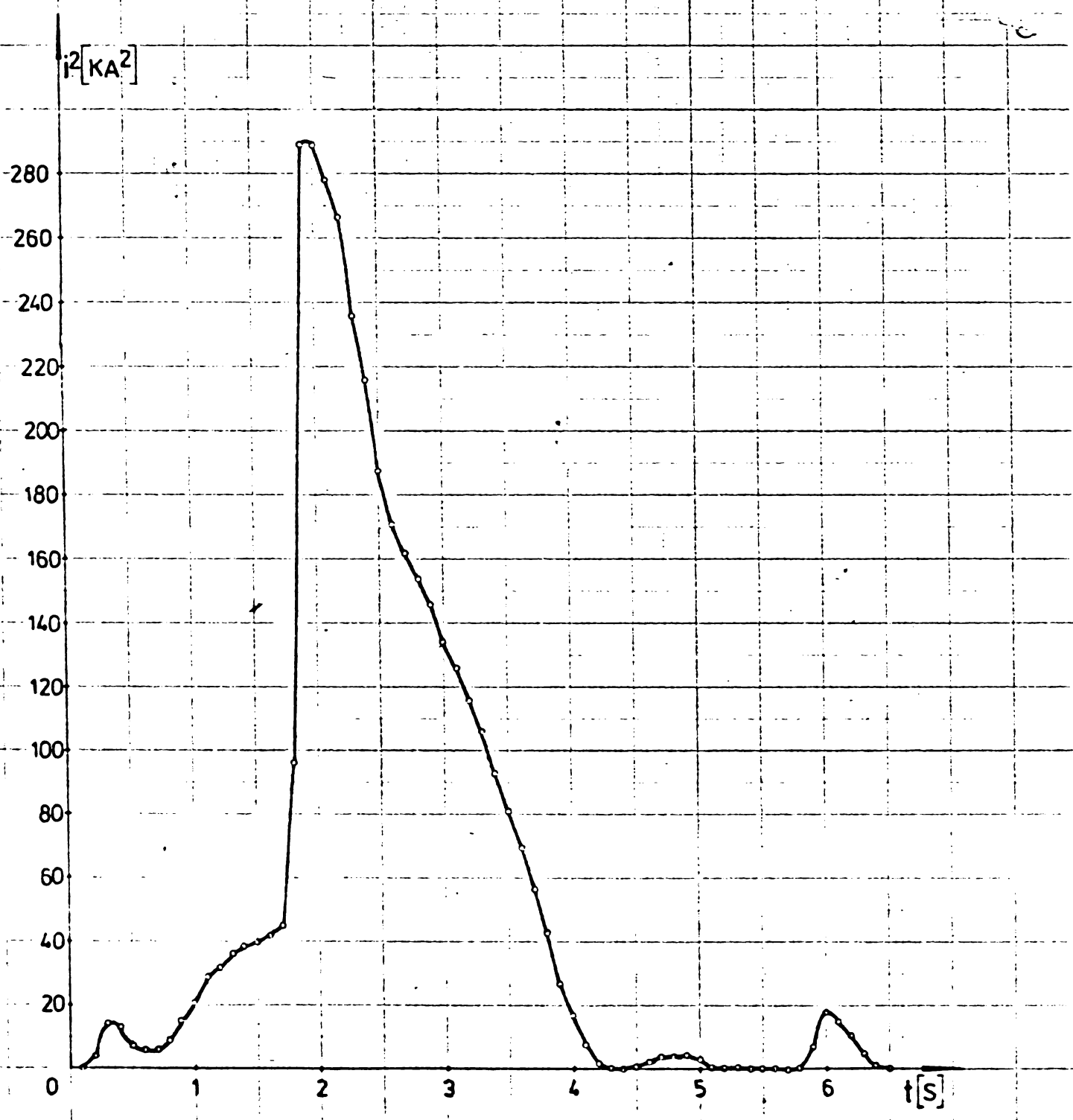


Fig.4.28.

Analizând oscilogramele prezentate, se rețin următoarele aspecte calitative:

a). - la laminarea manuală (trecerea l1), apar frecvente șocuri de curent și turație, ceea ce conduce la suprasolicități dinamice ale elementelor acționării principale și la pierderi suplimentare. La sfârșitul trecerii, regimul de invertor este foarte pronunțat ;

b). - la trecerea l2 neoptimizată, laminată în regim semiautomat, tahograma este trapezoidală, iar în curba curentului apar marcant cele două zone de sarcină sporită : accelerare (regim motor) și frînare (regim generator) ;

c). - la trecerea l2 optimizată, tahograma este parabolică iar curba curentului corespunde celei teoretice (salt la pornire, scădere liniară urmată de o ușoară curbare datorită diminuării fluxului). Regimul de invertor este aproape în totalitate evitat, ceea ce conduce la reducerea pierderilor de energie, după cum se va vedea în continuare ;

d). - la trecerea l3, laminată în regim semiautomat, sînt valabile concluziile de la punctul b).

Pentru o apreciere comparativă cantitativă a performanțelor trecerii l2 optimizate și neoptimizate, s-au planimentat suprafețele curbelor $i = f(t)$ și $U = f(t)$ pentru cele două cazuri și s-au calculat curbele $i^2 = f(t)$ (figura 4.27 - trecerea neoptimizată și figura 4.28 - trecerea optimizată).

Au rezultat următoarele:

a). trecerea l2 neoptimizată

- consum total de energie: $W_{tot.1} = 6,417 [KWh] ;$
- pierderi în rotor: $Q_1 = 1,268 [KWh] ;$
- ponderea pierderilor în rotor: $A_1 = 19,7 \%$ din consumul total în trecerea propriu - zisă ;
- timp efectiv de laminare: $T_1 = 3,3 [s] ;$

b). trecerea l2 optimizată

- consum total de energie: $W_{tot.2} = 5,62 [KWh] ;$

- pierderi în rotor măsurate: $Q_2 = 0,613$ [KWh] ;
- pierderi în rotor calculate pe baza teoriei laminării optime: $Q_2' = 0,584$ [KWh] ;
- ponderea pierderilor reale în rotor: $A_2 = 10,9$ %
din consumul total în trecerea propriu - zisă ;
- timp efectiv de laminare: $T_2 = 3$ [s] ;
- timp de laminare calculat: $T_2' = 3,13$ [s] ;

c). Concluzii

A). - la timp de laminare aproximativ egali, pierderile de energie în rotor se reduc cu:

$$\frac{1,268 - 0,613}{1,268} \cdot 100 = 51,65 \%$$

la laminarea optimizată față de cea neoptimizată .

B). - avînd în vedere ponderea destul de importantă a pierderilor în rotor în consumul total (fapt explicat prin aceea că în timpul laminării curentul rotoric depășește cu mai mult de două ori curentul nominal, iar pierderile depind de patratul curentului), prin aplicarea laminării optimizate în trecerea l2, se obține o reducere de:

$$\frac{1,268 - 0,613}{6,417} = 10,2 \%$$

a consumului total de energie în trecerea propriu - zisă.

C). - aceste concluzii se pot extinde asupra tuturor celor 11 treceri optimizabile, considerînd un coeficient de rezervă 0,8, datorat uniformității proprietăților fizico - mecanice a lingourilor și a dimensiunilor geometrice ale acestora, conform măsurătorilor din /45/. De asemenea, apreciind că 95 % din consumul total de energie este realizat în laminarea propriu - zisă iar 5 % în perioada de accelerare în gol a motoarelor /45/, rezultă o economie anuală de:

$$\frac{11}{13} \cdot 0,8 \cdot 0,95 \cdot 10,2 = 6,56 \%$$

din consumul total al acționării principale, ceea ce echivalează cu:

$$\frac{6,56}{100} \cdot 22.190.000 = 1.455.664 \text{ [KWh/an]}$$

Pentru a realiza în totalitate aceste economii este necesară, însă, completarea actualei scheme de automatizare conform precizărilor din Capitolul 5.

D). - fără a apela la investiții suplimentare, numai prin modificările programelor de conducere a laminării propuse în paragrafele 4.1. - 4.3., se consideră că laminarea optimizată se poate aplica cu succes trecerilor 10 - 13, rezultând astfel o reducere de:

$$\frac{4}{13} \cdot 0,8 \cdot 0,95 \cdot 10,2 = 2,4 \%$$

din consumul total al acționării principale, ceea ce echivalează cu 532.560 [KWh/an]. Ultimele patru treceri sînt mai ușor optimizabile, deoarece aici cuplul de laminare are o valoare mai redusă, conform Tabelului A.2. De altfel, încercările experimentale au confirmat afirmațiile de mai sus, obținîndu-se practic o laminare optimizată chiar și în trecerea 9. Se menționează faptul că și în această situație este absolut necesară cunoașterea cu precizie a momentului de laminare și a lungimii laminatului, fapt ce condiționează obținerea economiilor specificate.

În calculele efectuate în prezenta lucrare s-a neglijat influența inductivității indusului și excitației asupra performanțelor laminării, din următoarele motive esențiale:

- constantele de timp electromagnetice ale indusului T_{ei} și excitației $T_{e\ ex}$ sînt mult mai mici decît constanta electromecanică T_m a acționării, deci comportarea dinamică va fi dictată în principal de ultima (care s-a luat în considerație). Astfel, pentru un motor al acționării principale a blumingului 1300 din Centrala Industrială Siderurgică Hunedoara, ele au valorile $T_m = 0,0274 \text{ [s]}$, $T_{e\ ex} = 0,0031 \text{ [s]}$,

$T_{ei} = 0,0024$ [s] . Încercările experimentale au confirmat justetea acestui raționament, diferențele între timpul de laminare calculat și cel măsurat fiind de numai 0,13 [s] , iar între pierderile de energie calculate și măsurate de 0,029 [KWh] .

- considerarea suplimentară a inductivităților indusului și excitației complică în așa măsură calculele, încât problema devine practic nerezolvabilă, fără un folos real .

CAPITOLUL 5

CONSIDERATIILE ASUPRA IMPLEMENTARII ON - LINE A METODEI DE OPTIMIZARE

5.1. Generalități

Din cele prezentate în capitolele precedente, se observă că metoda de optimizare descrisă se poate aplica numai dacă există o modalitate de cunoaștere precisă a unor parametri în momentul pregătirii intrării lingoului între cilindri. Unii dintre aceștia sînt mărimi constante pentru aceleași condiții de laminare și pot fi precalculate și memorate de calculatorul de proces. Alții nu pot fi cunoscuți exact decît după efectuarea trecerii respective. Aceștia trebuiesc estimați.

Lucrul în timp real limitează posibilitățile de calcul algoritmic (cu pași) cu un calculator numeric. Din acest motiv, o parte din parametri vor fi calculați cu o schemă analogică, care prezintă o viteză mult mai mare de obținere a soluției (practic cîteva milisekunde). De aici rezultă necesitatea de a utiliza un calculator hibrid, subordonat calculatorului numeric de proces, existent de obicei la toate liniile de laminare moderne.

Schema bloc propusă a unei instalații de optimizare on - line după metoda prezentată anterior, grefată pe dotarea actuală a laminorului bluming 1300 din Centrala Industrială Siderurgică Hunedoara, este prezentată în figura 5.1.

În cele ce urmează se tratează principal funcționarea schemei. Se consideră cunoscută instalația actuală de automatizare complexă a laminorului menționat și noțiuni privind calculatoarele analogice și automatele secvențiale.

Atît schema propusă cît și considerațiile efectuate sînt în întregime originale.

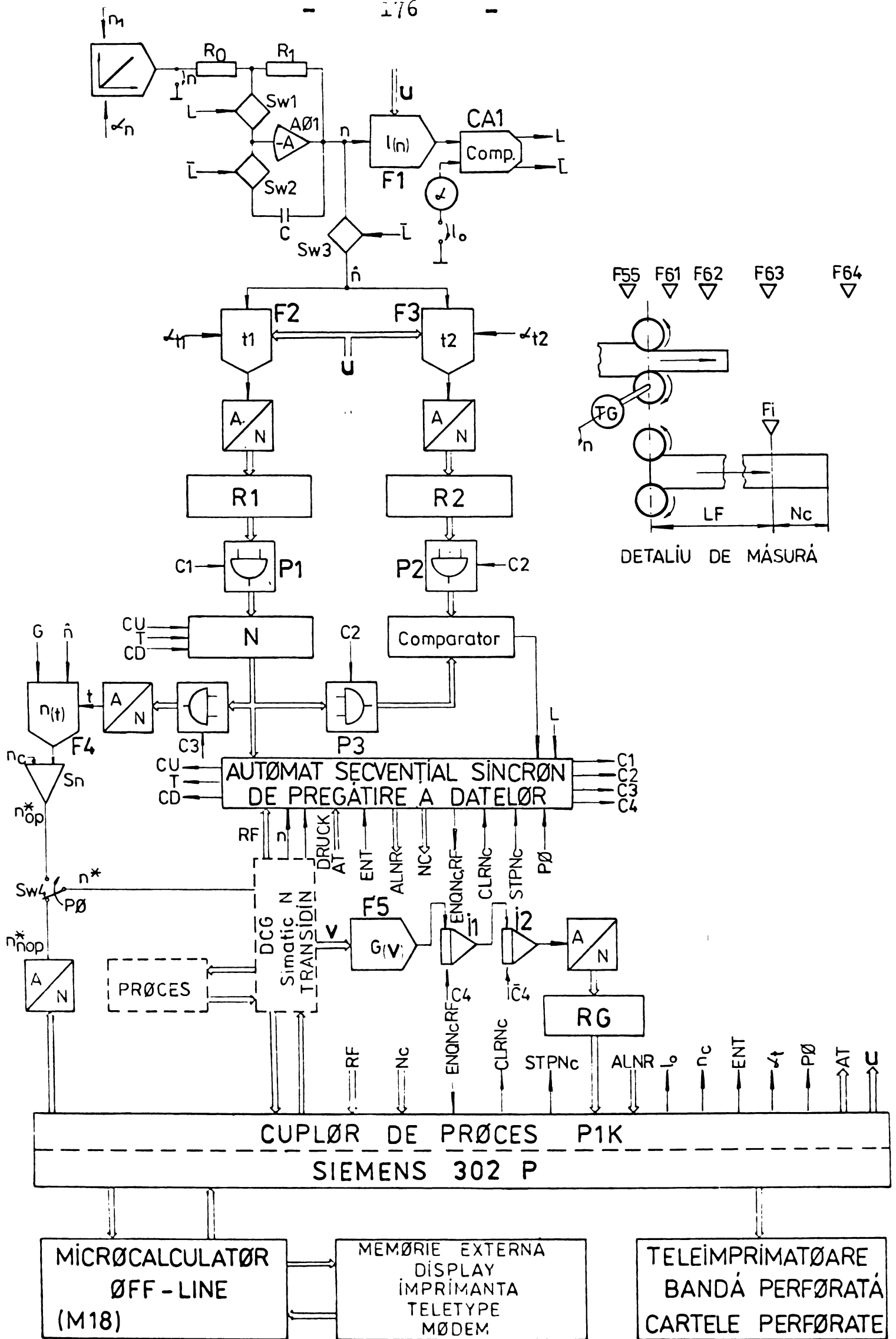


FIG 5.1

5.2. Estimarea lungimii de iesire l_n a laminatului după trecerea "n"

Fie $(n - 1)$ o trecere impară (sensul (+)). Capul lingoului va excita pe rînd fotocelulele F 61 ÷ 65 , din zona din spatele cajei. Calculatorul primește întreruperi de la fiecare fotocelulă excitată. De asemenea, automatul secvențial sincron ASS memorează într-un registru RF numărul fotocelulei excitate ultima dată. De la tahogeneratorul cu sonde HALL (traductor discret de turație) sosesc impulsuri de frecvență proporțională cu turația acționării principale. Aceste impulsuri sînt aplicate intrării de numărare a numărătorului Nc. Integrarea în timp a turației acționării principale este o măsură a lungimii laminatului. Fiecare întrerupere de la excitarea unei fotocelule F 61 ÷ 65 șterge numărătorul Nc și actualizează RF (semnalul CLRNc).

Întreruperea DRUCK = o de la o cajă descărcată blochează impulsurile la intrarea Nc (semnalul STPNc) și formează semnalul ENQNcRF care anunță calculatorul că informația este pregătită de preluare în Nc și RF. Conținutul Nc este o măsură a lungimii capului lingoului. Lungimea laminatului după trecerea $(n - 1)$ este

$$l_{n-1} = L F + \lambda \cdot Nc \quad (5.1)$$

unde L F este lungimea fixă din axa cajei la ultima fotocelulă excitată, iar λ un coeficient de proporționalitate în [mm/impuls] , care poate fi calculat pe baza geometriei cilindrilor și a schemei de laminare, sau poate fi măsurat împărțind distanța fixă L F la numărul de impulsuri numărate cu un alt numărător N_λ pornit la intrarea materialului în cajă și oprit la excitarea ultimei fotocelule:

$$\lambda = \frac{LF}{N_\lambda} \quad (5.2)$$

După ce l_{n-1} este disponibilă, se estimează l_n :

$$l_n = K \cdot l_{n-1} \quad (5.3)$$

unde K este o constantă calculată din schema de laminare.

5.3. Estimarea momentului raportat $G = \frac{m}{g}$ la trecerea "n"

Din relațiile (2.3) - (2.7) , presupunînd motorul nesaturat, rezultă:

$$G = \frac{m}{g} = \frac{K_1 \cdot I \cdot I_e - K_2 \frac{dn}{dt}}{K_2} \quad (5.4)$$

unde: I este curentul rotoric ;

I_e este curentul de excitație ;

n este turația motorului ;

K_1, K_2 sînt constante ale mașinii .

Mărimile I, I_e , n sînt accesibile din instalația de automatizare existentă. Aceste variabile formează vectorul V (fig. 5.1.). Blocul analogic F_5 generează funcția G (V) conform (5.4). Integratoarele I_1 și I_2 sînt legate în montaj de dispozitiv dublu de urmărire - memorare comandat cu variabila de control C_4 , care este un tact de frecvență dorită, așa fel ca la ieșirea I_2 să se obțină valori discrete ale lui G (V) care să urmărească cît mai fidel curba G (V).

Registrul R_G conține între două tacte C_4 valoarea binară a unui eșantion G_i (V). Această valoare este preluată de calculatorul numeric de proces și prelucrată după dorință. De exemplu, se poate face o medie:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n G_i (V)}{n} \quad (5.5)$$

sau se poate prelucra statistic în alt mod.

În felul acesta, se dispune de o valoare memorată pentru G, înainte de trecerea "n" în discuție.

5.4. Calculul valorii maxime de turație \hat{n}

În Capitolul 2 s-a prezentat o metodă de calcul iterativ a turației maxime \hat{n} pe baza relației (2.20). Acest calcul a fost efectuat pe un calculator numeric. Metoda se poate aplica la calculul on - line cu rezerve: timpul de ite-

rație s-ar putea să fie prea lung și astfel să trebuiească să așteptăm cu lingoul în fața cilindrilor pînă obținem soluția și aceasta cu cît algoritmul converge mai greu (la ultimele treceri). Din acest motiv, schema din fig. 5.1. dă o soluție de realizare a iterației analogic, după cum urmează.

Amplificatorul operațional AØ1 este astfel legat încît să formeze un integrator de urmărire - memorare. Comutatoarele SW1 și SW2 sînt comandate de variabila logică L, obținută de la comparatorul analogic CA1.

$$L = \begin{cases} 0 & \text{dacă } l(n) \geq l_0 \\ 1 & \text{dacă } l(n) < l_0 \end{cases} \quad (5.6)$$

unde l_0 este lungimea raportată după trecerea "n":

$$l_0 = \frac{60 l_n}{\pi \cdot D} \quad (2.2')$$

- $l(n)$ este ieșirea din blocul de funcții F1 care simulează ecuația (2.20) .

Vectorul $U = (n_1, n_2, G)$ precum și l_0 sînt constante furnizate de calculatorul numeric de proces (precalculate și memorate), iar n este mărimea variabilă. Aceasta se aplică pe R_0 dela un generator rampă (integrator) cu panta reglabilă α_n (n variază crescător de la $n_1 = ct.$). În acest caz $L = 1$, adică AØ1 este un amplificator proporțional cu coeficientul de transfer:

$$K = \frac{R_1}{R_0} \quad (5.7)$$

(SW1 este închis, iar SW2 este deschis). La ieșirea lui F1 se obține o valoare $l(n) < l_0$, crescătoare. În momentul atingerii valorii:

$$l(n) = l_0 \quad (5.8)$$

$$CA1 \text{ face } L = 0, \bar{L} = 1. \quad (5.9)$$

și deci SW1 se închide, SW2 se deschide, întreprupînd valoarea impusă la intrare și cuplînd reacția cu condensatorul C, deci

obținând un montaj de memorator analogic. În acest moment, valoarea

$$n = \hat{n} \quad (5.10)$$

memorată în A01, se transmite prin SW3 deschis blocurilor generatoare de funcții F_2 și F_3 care simulează ecuațiile (2.19) în valoare absolută.

Registrelor R 1 și R 2 vor conține valoarea numerică a timpului de început t_1 și a timpului de sfârșit t_2 . Scara de timp se poate alege prin α_{t1} și α_{t2} în milisekunde. L generează prin ASS întrerupere de "gata de optimizat" (din vectorul ALNR).

5.5. Prescrierea parabolei optime

În momentul primirii semnalului de "pune pe optimizat" dat de calculatorul de proces, se generează (ASS) semnalul de poartă C_1 care transferă conținutul R 1 în numărătorul N, reversibil. Cu semnalul ENT de eliberare a semnalului de tact, T, se comandă numărarea inversă ($CU = 0$, $CD = 1$ de la ASS). Tactul T se alege funcție de AT (alege tactul) corelat cu α_{t1} , α_{t2} (semnale generate de calculatorul de proces). În cazul de față, tactul propus este $1 [ms]$. Tot acum se eliberează ($C_3 = 1$) poarta P 4 care transferă conținutul numărătorului N, prin convertorul N/A spre P 4 (simulatorul ecuației (2.15)). Se obțin astfel, la intrarea P 4 valori discrete de timp care descresc de la t_1 la zero. La ieșirea blocului P 4 avem ramura stîngă a parabolei optime în valori discrete - trepte de turație. Un circuit de coincidență al ASS sesizează ajungerea în zero a numărătorului N. În acest moment se comută pe numărare directă ($CU = 1$, $CD = 0$) și se deschid porțile P 2 și P 3 care aduc la intrările comparatorului conținuturile N și R 2. În acest moment se blochează impulsul de tact. S-a obținut astfel, în timp real și partea dreaptă a parabolei.

Dacă calculatorul de proces consideră necesară oprirea prescrierii parabolei (de exemplu, s-a sesizat apariția alunecării), prin $ENT = 0$ blochează tactul T, parabola întrerupându-se (se păstrează valoarea momentană din momen-

tul întreruperii).

Prin sumatorul S_n se pot face corecții

$$n(t) \pm n_c \quad (5.11)$$

valoarea n_c fiind prescrisă, după necesități, de calculatorul de proces.

Comutatorul SW4 comandat de calculator ($P\emptyset$) conduce valoarea impusă de turație n_{op}^* ($P\emptyset = 1$) sau n_{neop}^* ($P\emptyset = 0$) spre regulatorul de accelerație al buclei de reglare a turației acționării principale.

5.6. Îmbunătățiri aduse cu un microcalculator

Considerațiile de mai sus rezolvă problema de optim fără a lua în considerație limitările posibile. Pentru a putea lua o decizie optimă din punct de vedere energetic, este necesară estimarea comportării sistemului și în cazul pericolului de a intra în zone de limitare. Aceasta este posibil folosind un microcalculator (bazat pe un microprocesor), cum ar fi de exemplu FELIX M 18, în regim de lucru off - line. Acesta poate rezolva problema limitărilor după algoritmul prezentat în Capitolul 3. Soluția se obține eventual după intrarea lingoului în cajă, dar mult înainte de terminarea trecerii. Pe baza rezultatelor obținute, calculatorul de proces (care s-a presupus că nu mai are capacitatea necesară pentru a prelua funcțiile lui M 18) va lua decizia optimă. Dezideratul se poate realiza prin interconectarea celor două calculatoare numerice, transferul de informație efectuându-se rapid.

De asemenea, perifericele microcalculatorului (în principal memoria externă) pot fi utilizate pentru calculatorul de proces, mărindu-i astfel posibilitățile de lucru. Microcalculatorul va putea fi utilizat și în regim de preconcentrator de date, pentru întreaga zonă a laminoarelor, conectându-l printr-un MODEM pe linie telefonică cu Centrul de Calcul al Centralei Industriale Siderurgice Hunedoara.

Cu acest sistem se pot face observații asupra regimului de laminare, observînd procesul tehnologic un timp mai îndelungat și stocînd informația. O prelucrare ulterioară a acestor date ar putea furniza îmbunătățiri ale schemelor de laminare, pentru protejarea utilajului și mărirea duratei sale de exploatare, economie de energie, etc.

În ipoteza că algoritmul de găsire a turației maxime Ț converge suficient de rapid, problema optimizării poate fi soluționată chiar cu un singur calculator numeric de capacitate medie.

Realizarea proiectului detaliat al instalației propuse poate fi încredințată unui institut de specialitate (de exemplu I.P.A.), ea depășind cadrul acestei lucrări. Investiția necesară se estimează la cca un milion lei. Ea se poate realiza cu echipamente fabricate în țară și se amortizează în cca 1,5 - 2 ani. Studiul de față stabilește structura sa și, mai mult, demonstrează că laminarea optimizată, ținînd cont și de limitările uzuale, poate fi realizată în practică, cu avantajele ce rezultă din aceasta.

CONCLUZII GENERALE

Prezenta lucrare tratează problema optimizării regimului de turație al acționării principale de la laminoarele reversibile de tip bluming, în vederea reducerii pierderilor de energie, menținând totodată constantă productivitatea instalației.

Avînd în vedere complexitatea procesului de laminare pe bluming, se studiază influența limitărilor uzuale ce pot apărea în practică asupra performanțelor laminării optimizate, pe baza unui model matematic al acționării principale. Modelul întocmit și axat pe teoria laminării optimizate permite:

- conducerea în timp real a procesului de laminare în vederea obținerii regimului optim, sub influența limitărilor reale ;

- studiul, prin simulare pe un calculator numeric, a tuturor regimurilor posibile de laminare și a influenței condițiilor reale (limitări de turație, accelerație, curent, etc.) asupra pierderilor de energie și a timpului de laminare, la laminarea optimizată. Este pentru prima dată cînd se stabilește o corelație matematică completă între mărimile menționate. În acest scop, s-a întocmit un program în limbaj FORTRAN H, prin rularea căruia s-au obținut concluzii cu importanță practică în alegerea regimurilor de laminare.

Avînd în vedere puterile mari instalate în acționarea principală a blumingului, pretențiile tehnologice crescînde și pentru a realiza o productivitate cît mai ridicată, nivelul de automatizare al acestuia este împins la maximum, fără însă a se lua prin aceasta măsuri privind optimizarea procesului în vederea reducerii consumului de energie. În lucrare se propune, din acest motiv, o schemă de automatizare complexă, autoadaptivă, care să permită obținerea regimului optim de laminare (din punct de vedere energetic), chiar în situația apariției diferitelor limitări, fiind prima încercare de acest gen

din țară.

Concluziile teoretice obținute prin modelare pe calculator numeric au fost aplicate pe laminorul bluming 1300 din Uzina nr. 4 a Centralei Industriale Siderurgice Hunedoara, cel mai mare laminor de acest gen din țară, complet automatizat și condus de un calculator de proces. Aplicarea s-a efectuat în cadrul Contractului de cercetare nr. 233/1980, încheiat între Institutul de Subingineri Hunedoara și Centrala Industrială Siderurgică Hunedoara, anexându-se procesul - verbal de recepție și aprecierea cantitativă și calitativă a eficienței contractului. De menționat este faptul că, fără a realiza nici o investiție, numai prin modificarea programului de conducere a procesului de către calculator, în conformitate cu metodele propuse în lucrare, s-au obținut economii de energie electrică de 2,4 %. Prin realizarea investițiilor conform precizărilor din Capitolul 5, aceste economii pot ajunge la 6,5 % din consumul total al acționării principale.

În realitate, aceste economii sînt cu cel puțin 50 % mai mari, deoarece odată cu scăderea pierderilor în rotor, scad și pierderile în tiristoare și transformatorul de alimentare (conform repartiției pierderilor, rezultate din Bilanțul energetic efectuat de C.I.S.H.).

Autorul consideră că a reușit să-și aducă contribuția la rezolvarea problemelor menționate mai sus, prin următoarele contribuții originale:

- stabilirea influenței limitării de turație asupra pierderilor de energie și a timpului de laminare, la laminarea optimizată ;
- idem, pentru limitarea de accelerație ;
- idem, pentru limitările de curent (paragraful 2.4.) ;
- analiza parametrilor laminării optime, în cazul prezenței mai multor limitări pe trecere (Capitolul 3) ;
- întocmirea unui program pentru conducerea optimă a regimului de laminare, sub influența limitărilor și

simularea acestor regimuri prin modelare pe calculator
(Capitolul 3, Anexa 1) ;

- modificarea actualului program de conducere a procesului de laminare la laminorul bluming 1300 din C.I.S.H. de către calculatorul de proces SIEMENS 302 P, în vederea obținerii regimului optim de laminare în trecerile 10 - 13, când cuplul de deformare are valori mai reduse și experimentarea sa (Capitolul 4) ;

- conceperea unei instalații complexe de automatizare autoadaptivă în vederea obținerii laminării optime în trecerile 3 - 13, sub influența condițiilor reale de laminare (prezența limitărilor) - (Capitolul 5) ;

Verificarea experimentală a metodelor propuse atestă aplicabilitatea imediată a rezultatelor obținute în lucrare.

Gradul ridicat de complexitate a problemelor tratate în lucrare, atât ca principiu cât și ca volum de calcul, a necesitat utilizarea metodelor moderne de calcul și implementarea lor pe calculator.

Preocupările autorului în domeniul automatizării și optimizării laminoarelor reversibile de tip bluming se încadrează în contextul problemelor practice și teoretice abordate de un colectiv mixt de la Institutul de Subingineri Hunedoara și Centrala Industrială Siderurgică Hunedoara.

PROCES - VERBAL DE RECEPȚIE NR. 2400/738 / 16.III/1980

Încheiat astăzi 16 decembrie cu ocazia predării de către Institutul de Subingineri Hunedoara, Catedra de Electromecanică, în calitate de executant, prin Sef lucrări ing. Rusu Nicolae și primirii de către Centrala Industrială Siderurgică Hunedoara, Uzina Nr. 4 Laminoare, în calitate de beneficiar, reprezentat prin

Am procedat la recepționarea lucrărilor prevăzute în Contractul de cercetare științifică nr. 223/1980, referitor la tema "Cercetări privind posibilitățile de optimizare a tehnologiei acționării principale a laminorului bluring 1300 mm - C.S.H."

Se stabilește de ambele părți că lucrarea de mai sus este executată la termenul prevăzut, în bune condițiuni și corespunde clauzelor prevăzute în contract și ca atare se declară recepționată.

Lucrarea executată este în sumă de 72.000 lei care se plătește de beneficiar în contul 40.15.101.3 deschis la ENRSR filiala Hunedoara, în baza facturii emise de I. S. Hunedoara, în contul nr. 64.51.201.26 deschis la ENRSR filiala Hunedoara.

La prezentul proces - verbal se atașează actul de apreciere cantitativă și calitativă a eficienței aplicării în practică a lucrărilor executate în prezentul contract.

Din partea executantului ,

SEF CATEDRA ELECTROMECHANICA,
Sef lucrări ing. Suciu Ionel

RESPONSABIL TEMA ,

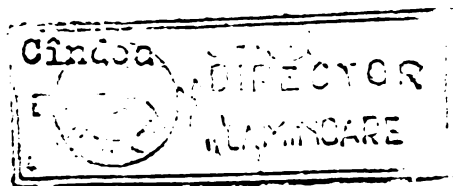
Sef lucrări ing. Rusu Nicolae

Din partea beneficiarului,

DIRECTOR TEHNIC,
Ing. Penescu Mircea

DIRECTOR UZINA NR. 4 ,

Ing. Cîndea



CENTRALA INDUSTRIALA SIDERURGICA

H U N E D O A R A

Nr. 2400/738/16.12.1980

A P R E C I E R E

cantitativă și calitativă a eficienței contractului de
cercetare științifică nr. 233/1980 .

Cercetările efectuate în contractul sus-amintit se încadrează în preocupările generale privind reducerea pierderilor de energie prin optimizarea proceselor de producție, în conformitate cu Directivele Congresului al XII-lea al P. C. R.

Soluțiile și propunerile efectuate de executant pentru reducerea pierderilor de energie la acționarea principală a laminorului bluming 1300 din Centrala Industrială Siderurgică Hunedoara se bazează pe cercetări originale ale executantului.

În urma aplicării contractului, rezultă următoarele :

1. În ipoteza optimizării trecerilor 3 - 13, soluția necesitînd investiții :

- reducerea pierderilor de energie în motoarele de c.c. cu 50 %, ceea ce conduce la

- reducerea consumului total de energie al acționării principale cu 6,5 % , ceea ce echivalează cu aproximativ 1.455.000 kWh/an .

2. Fără a necesita investiții, prin modificarea programului de conducere a procesului de către calculator :

- reducerea consumului total de energie al acționării principale cu 2,4 % , ceea ce echivalează cu aproximativ 532.000 kWh/an .

DIRECTOR GENERAL,
Ing. Popescu Mircea



DIRECTOR UZINA NR. 4,
Ing. Cîndea

BIBLIOGRAFIE

1. Fazan, B. - Optimisation du laminage à chaud sur une cage réversible, în C. I. T nr. 3/1973 ;
2. Saimac A., Rusu N., Andreescu E., Popa I. - Automatizări în metalurgie, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1978;
3. Koltor, S. - Statisticeski analiz i matematicescoe modelirovanie bliuminga, Moskva, 1974, Izd. "Metallurghia" ;
4. Baimov, N. - Optimizația proțessov prokatki na bliuminga, Moskva, 1974, Izd. "Metallurgia";
5. Nürnberg, W. - Vorversuche und Verwirklichung der optimalen Führung der Hauptantriebe von Umkehrstrassen, Stahl und Eisen 18/1970;
6. Fazan, B. - Optimisation du laminage sur un slabbing universel - C I T nr. 3/1973 ;
7. Bading, W., ș.a. - Emploi d'une calculatrice de processus sur un slabbing universel - C I T nr. 2/1971 ;
8. Verein Deutscher Eisenhüttenleute. Betriebsuntersuchungen an neuzeitlichen Block - Brammen - Strassen. Düsseldorf, Verlag Stahleisen, 1979 ;
9. Nürnberg, W. - Entiwicklung zum optimalen Walzen als Automatisierungsaufgabe - Stahl und Eisen 13/1970 ;
10. Heidepriem, J. - Zur Verwendung von Analogrechnenn bei der Optimierung von Arbeitsabläufen - Stahl und Eisen nr. 9/1964 ;

11. Guțu, M., I. - Conducerea optimă a regimului de turație la cajele reversibile, Metalurgia, nr. 2/1975 ;
12. Heidepriem, J., Bading, W., ș.a. - Prozessrechunereinsatz an einer Universal - Brammenstrasse, Vortrag auf der Internationalen Eisenhüttentagung, 1970, Tagungsteil Düsseldorf ;
13. Proske, M., Thon, H., Kaiser, B., Krüger, B. - Modell des Hauptantriebs von Warmwalz - Umkehrstrassen, Teile I - V, Bericht Nr. 101 der Maschinen - stelle des VDEh - Düsseldorf, 1968 - 1970 ;
14. Ludwig, G. - Untersuchungen verscheidener Drehzahl - führungen von Gleichstrom - Umkehrwalz - motoren bei einer speziellen Stuerung des magnetischen Flusses, Dissertation, T.U. Berlin, 1969 ;
15. Krüger, B. - Optimales Walzen auf Umkehr - Walzstrassen, Bisher unveröffentl, T.U. Berlin, 1970 ;
16. Thon, H. - Die Verwirklichung optimaler Drehzahl - verläufe von Warmwalz - Umkehrstrassen an einen Maschinenmodell, Dissertation, T.U. Berlin, 1968 ;
17. Nürnberg, W. - Optimales Walzen auf Block - Brammen - strassen in Ankerspannungsbereich, Stahl und Eisen 25/1966 ;
18. Nürnberg, W. - Optimales Walzen auf Block - Brammen - strassen Unveröffentlicher Bericht, 1960 ;
19. Szeghedyi, A. - Die optimale Ausnutzung von Reversier - strecken, Kohaszáti Lapok nr. 8/1961 ;
20. Proske, M. - Drehzahlverläufe bei kleinsten Ankers - tromverlusten im Feldschwächbereich des Gleichstrom - Nebenschlussmotors, Dr. ing. dissertation, 1965, T.U. Berlin ;

21. Heidepriem, J. - Betrieben von Gleichstrom - Umkehrwalz-
motoren mit erhöhtem Konstantstrom beim
Hochlaufen und Bremsen, Dr. ing. disser-
tation 1965, T.U. Berlin ;
22. Tiagunov, V.,A., - Prokatka na bliuminghe, Metallurgizdat,
ș.a. Moskva, 1963 ;
23. Eriklințev, V.V., - Primenenie metoda dinamiceskogo programi-
Tumașev, V.,I. rovania dlia rasceta optimalnîh rejimov
prokatka Sverdlovsk, 1969 ;
24. Rusu, N. - Contribuții la optimizarea laminoarelor
reversibile, lucrare prezentată la Sesi-
unea de comunicări tehnico - științifice
a I.P.T.V.T. Timișoara, 27 - 28 octom-
brie, 1979 ;
25. Rusu, N. - Simularea pe calculator numeric a condu-
cerii optimale a regimului de viteză la
laminoarele reversibile de tip bluming,
în vederea reducerii pierderilor de e-
nergie, lucrare prezentată la Sesiunea
de comunicări științifice de la A.S.E.
București, 7 - 8 noiembrie 1979 ;
26. Angot, A. - Elemente de matematici pentru ingine-
rii din electrotehnică și telecomunica-
ții, Editura Tehnică, București, 1970 ;
27. Krüger, B. - Untersuchungsbericht über Walzzeiten und
Ankerstromverlustarbeiten am Hauptantri-
eh einer Block - Umkehrstrasse, T. U.
Berlin, 1974 ;
28. Nürnberg, W. - Führung einer Warmwalz - Umkehrstrasse
mit einem Analogrechner Forschungsa -
Sonderheft Verlag Stahleisen m b H
Düsseldorf, 1974 ;
29. Folgmann, G. - Der Einsatz von Optimalwertrechnerer für
Blockwalzwerksregelungen, BBC Nachrich-
ten 45, 1973 ;

30. - Primenenie vîcislitelniîh mašin v avtomaticheskom upravlenii prokatnîmi stannami za rubejom - Informelektro, 1970 ;
31. Kelly, G. - Kompleksnoe upravlenie proizvodstvom na metallurghiceskom zavode c primeneniem sredstv vîcislitelnoi tehniki - OXT Pribor, 1974 ;
32. Tarnovski, I. - Prokatka na bliuminghe, Metallurgizdat, Moskva, 1963 ;
33. Logovatovski, A. - Normirovanie protessov na bliuminghe, Metallurghia, Moskva, 1966 ;
34. Smirnov, B. - Teoria prokatki, Metallurghia, Moskva, 1967 ;
35. Feldbaum, A. - Osnovî teorii optimalniîh avtomaticheskikh sistem, Nauka, Moskva, 1966 ;
36. Slejanovski, O. - Reversivniî elektroprivod postoiannogo toka, Metallurghia, Moskva, 1967 ;
37. Patrunov, F. - Algoritm rasceta maksimalnoi proizvoditelnosti bliuminga 1300 na electronnoi vîcislitelnoi maşine, Izd. GOSINTI, Moskva, 1975 ;
38. Cijikov, I. - Modelirovanie protessa prokatki, Metallurg - izdat, 1973 ;
39. Kojevnikov, S. - Avtomatizaţia metallurgicescogo proizvodstva, Kiev, 1973 ;
40. Glinkov, G. - Proektirovanie sistem controlia avtomaticescogo regulirovanie metallurgiceskih protessov, Moskva, izd. Metallurghia, 1970 ;
41. Horvath, Z. şi Braisch, D. - Îmbunătăţiri aduse instalaţiei de automatizare complexă de la blumingul 1300 din Combinatul Siderurgic Hunedoara, Metalurgia, nr. 4, 1974 ;

42. - Automatizarea procesului de laminare la cald a oțelului, București, I.D.T., 1965;
43. Damsker, D. - Automatizarea procesului de laminare la cajele laminorului de tablă groasă de la Combinatul Siderurgic Galați - A.T.M. nr. 8/1966 ;
44. - Utilizarea calculatoarelor electronice în sectorul laminoare, C.D.P.T. - M.I.M. București, 1970 ;
45. - Cercetări privind optimizarea tahogra-meii acționării principale a laminorului bluming 1300 C.I.S.H. - Contract de cer-cetare științifică nr. 233/1980 între Institutul de Subingineri Hunedoara și Centrala Industrială Siderurgică Hune-doara ;
46. Brașovan, M. - Acționări electromecanice, E.D.P. Bu-curești, 1967 ;
47. Dancea, I. - Programarea calculatoarelor numerice, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1975 ;
48. Kelemen, A., ș.a. - Mutatoare - aplicații, E.D.P., București, 1980 ;
49. Seracin, A. - Utilajul electromecanic al întreprinde-rilor industriale, E.D.P., București, 1973 ;
50. Kelemen, A. - Acționări electrice, E.D.P., București, 1979 ;
51. Călin, S., ș.a. - Optimizări în automatizări industriale, Editura Tehnică, București, 1979 ;
52. Brașovan, M., ș.a. - Acționări electrice. Aplicații industria-le, Editura Tehnică, București, 1977 .

C U P R I N S

	Pag.
Introducere.....	2 ;
Cap. 1. <u>Stadiul actual privind optimizarea funcționării laminoarelor reversibile</u>	
1.1. Generalități.....	5 ;
1.2. Cercetări românești asupra optimizării tahogramei laminoarelor reversibile.....	9 ;
1.3. Studiile lui W. Nürnberg.....	13 ;
1.4. Alte cercetări în domeniu.....	29 ;
Cap. 2. <u>Influența condițiilor reale asupra performanțelor laminării optime</u>	
2.1. Generalități.....	31 ;
2.2. Stabilirea mărimilor de bază.....	32 ;
2.3. Calculul parabolei optime, a pierderilor de energie și a timpului de laminare optim	35 ;
2.4. Influența condițiilor reale asupra tahogramei optime..	
2.4.1. Diminuarea fluxului.....	47 ;
2.4.2. Limitarea turației.....	53 ;
2.4.3. Limitarea dn/dt	59 ;
2.4.4. Limitări de curent.....	72 ;
Cap. 3. <u>Analiza parametrilor laminării optime, în cazul pre- zentei mai multor limitări de trecere</u>	
3.1. Generalități.....	95 ;
3.2. Programul pentru determinarea timpului de laminare T și a pierderilor de energie Q.....	96 ;
3.2.1. Descrierea schemei logice.....	96 ;
3.2.2. Descrierea programului.....	128 ;
3.3. Analiza unor cazuri caracteristice.....	133 ;
3.4. Concluzii.....	137 ;

Cap. 4. Încercări și rezultate experimentale privind laminarea optimizată

4.1. Considerații preliminare.....	139 ;
4.2. PAROPT - program de calcul off - line a parabolei optime, turațiilor normate SIEMENS și reprezentare grafică.....	142 ;
4.3. Descrierea subrutinelor și programelor PRØSA pentru calculatorul de proces SIEMENS 302 P, concepute pentru laminarea optimizată.....	143 ;
4.4. Rezultate experimentale.....	159 ;

Cap. 5. Considerații asupra implementării on - line a metodei de optimizare

5.1. Generalități.....	175 ;
5.2. Estimarea lungimii de ieșire.....	177 ;
5.3. Estimarea momentului raportat G.....	178 ;
5.4. Calculul valorii maxime de turație \dot{n}	178 ;
5.5. Prescrierea parabolei optime.....	180 ;
5.6. Îmbunătățiri aduse cu un microcalculator.....	181 ;
Concluzii generale.....	183 ;
Bibliografie.....	186 ;
C u p r i n s	191 ;
A n e x e	193 ;

oooooooo000oooooooo

A N E X A I

COMPILER OPTIONS

NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=90,SIZE=0000K,
SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

REAL NM1,NM2,NM3,IL,IUMAX,IFMAX,NN,NL,NP1,NP2
REAL NA,NB,NC,N5,N5,N7,NP0
REAL M2,N2,N1,NM,NP,NN,L,IN,M,IG
COMMON N1,N2,NM1,NM2,NM3,NP1,NP0,NP2,NN,IN,M,N5,N6,N7,G,G1,RA
COMMON S1,S2,NL,F0,F1,Q67,T2L,Y1,Y2,Y3,Y4,Y5,QL,QN6,Q56
NL=45.
I=J
T=0.
V=1.
T1=J.
T2=0.
L=191.
A=0.
B=0.
G=64.
N1=18.
N2=30.
Q=0.
RA=21.5
M=2.427
G1=0.037
IN=4.
P=0.
P1=0.
P2=0.
P3=0.
P4=0.
S1=30.
S2=30.
NN=40.
F0=6.
F1=0.
IL=6.
NM=NM
NP=NM

18 WRITE(6,18)
1094 FORMAT('1', 'CALCULUL TURATIEI OPTIME', /1X, 24('-'**
100 FORMAT(1X, 'CAZ FARA SENS PRACTIC')
P=2.*NM**2./G

P1=SQRT(1-N2/NM*
P2=SQRT(1-N1/NM)
P3=SQRT((1-N2/NM)**3)
P4=SQRT((1-N1/NM)**3*
M2=P*(P1+P2-1./3.*P3-1./3.*P4)
A=L-M2

1 IF(A* 2,200,1
IF(A.LE.0.01) GO TO 200
WRITE(6,10) NM,A
IF(I) 991,102,991

991 NP=NM
NM=NM+N2/V
GO TO 100

102 NP=NM
NM=NM*2.
I=I+1
GO TO 100

2 B=-A
IF(B.LE.0.01)* GO TO 200
WRITE(6,10) NM,A
NM=NP+T*N2
T=T/1.
V=V*1J.
GO TO 100

10) FORMAT(1X, 'TURATIA MAXIMA LA ACEST PAS ESTE = ',F9.3, ' IAR ABATERE
CA ESTE = ',F9.3)
20) WRITE(6,20) NM,A
20) FORMAT(1X, 'TURATIA MAXIMA LA ULTIMUL PAS ESTE = ',F9.3, ' IAR ABATE
CREA ESTE = ',F9.3)
WRITE(6,21)

21) FORMAT('1', 'CALCULUL PARABOLEI OPTIME', /1X, 25('-'**
T1=2*NM/G*SQRT(1-N1/NM)
T2=2*NM/G*SQRT(1-N2/NM)
WRITE(6,11) T1

11) FORMAT(1X, 'TIMPUL DE INCEPUT ESTE = ',F6.2)
WRITE(6,12) T2

12) FORMAT(1X, 'TIMPUL DE SFIRSIT ESTE = ',F6.2)

10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200

```

WRITE(6,13*
13 FORMAT(IX,'VALORILE PARABOLEI OPTIME IN INTERVALUL CALCULAT')
T=T1
105 M2=NM-1/(4*NM)*G**2*T**2
WRITE(6,17) M2
17 FORMAT(BX,'N(T) = ',F9.3)
T=T+0.1
IF(T.LT.T2) GO TO 105
M2=NM-1/(4*NM)*G**2*T2**2
WRITE(6,17* M2
T=2.*NM/G*(P1+P2)
WRITE(6,57) T
57 FORMAT('1', 'TIMPUL DE LAMINARE OPTIM = ',F6.2*
Q=RA*IN**2.*NM*M*G1/1800.*(P1+P2+N2/NM-N1/NM+1./3.*P3+1./3.*P4)
WRITE(6,58) Q
58 FORMAT(IX,'PIERDERILE DE ENERGIE SINT DE ',F7.3,' KWH'*
Q=.
NP=NM/2.
NP1=NM*(1.-S1**2/G**2*
NP2=NM*(1.-S2**2/G**2)
IF(NP1.GT.N1) GO TO 900
IF(NP2.GT.N2) GO TO 901
Y1=2.
NM1=NM
GO TO 101
901 NM1=NM
Y1=1.
GO TO 101
900 NM1=NM/2.
500 P1=(1.+S1**2/G**2)
P2=-2.*NM1*S1/G**2+(NM1*(1+S1**2/G**2)-NM*/S1
P3=4.*NM1**2*S1**2/G**4*(NM1*(1+S1**2/G**2)-NM)**2/S1**2
P4=2.*NM1/G*SQRT(1.-N2/NM1)+2.*NM1*S1/G**2
P5=8.*NM1**3/G**3*SQRT((1.-N2/NM1)**3**3**3+8.*NM1**3*S1**3/G**6
A=L*NM1*P1*P2-S1/2.*P3-NM1*P4+1./((12.*NM1)*G**2*P5)
IF(A.GT.0.) GO TO 903
B=A
IF(B.LE.0.01) GO TO 501
NM1=NP+T*NM
T=T/10.
V=V*10.
GO TO 500
903 IF(A.LE.0.01) GO TO 501
NP=NM1
NM1=NM1+NM/V
GO TO 500
501 WRITE(6,100) NM1
1000 FORMAT(IX,'TURATIA MAXIMA LA LIMITAREA DE ACCELERATIE = ',F6.2)
NP2=NM1*(1.-S2**2/G**2)
IF(NP2.LE.N2) GO TO 904
Y1=3.
GO TO 101
904 Y1=3.
101 IUMAX=M*(1.+SQRT(1.-N1/NM))
IFMAX=32./27.*NM1**4/NM
IF(IL.LE.IUMAX) GO TO 110
IF(IL.LE.IFMAX) GO TO 111
Y4=100.
B1=NM1*NM/M*F1*(NM/M*F1-2.)
C1=2.*NM1*NM/M*FC*(NM/M*F1-1.)
D1=NM1*NM**2/M**2*FD**2
DELTA=1./108.*(4.*C1**3-B1**2*C1**2+27.*D1**2+4.*B1**3*D1-18.*B1*C
11*D1)
IF(NN.LE.NM1) GO TO 905
Y3=100.
GO TO 990
905 IF(NN.LE.NP1) GO TO 906
Y3=200.
GO TO 990
906 IF(NN.LE.N1) GO TO 970
Y3=300.
GO TO 990
970 IF(NN.LE.N2) GO TO 980
Y3=300.
GO TO 990
980 Y3=400.
990 IF(DELTA.GT.0.) GO TO 985
Y4=20000.

```

```

GO TO 800
985 Y5=10000.
IF(NL.LT.NM1) GO TO 705
Y2=1.
IF(Y1.EQ.2.) GO TO 220
IF(Y1.EQ.3.) GO TO 211
IF(Y1.EQ.4.) GO TO 211
205 T=2.*NM1/G*(SQRT(1.-N2/NM1)+SQRT(1.-N1/NM1))
GO TO 340
220 P1=2.*NM/G*SQRT(1.-N1/NM)
P2=NM/S2*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM*S2/G**2
P3=((NM*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM*S2**2/G**2**2)/S2**2
P4=(2.*NM*(1.-S2**2/G**2))/S2+2.*NM*S2/G**2
P5=2.*NM**2/G*SQRT(1.-N2/NM)-2.*NM**2*S2/G**2
P6=3.*NM**3/G*SQRT((1.-N2/NM)**3-8.*NM**3*S2**3/G**4)
T=P1+P2-SQRT(P3-2.*NM*S2/G**2*P4-2./S2*P5+1./(6.*NM*S2)*P6)
GO TO 341
210 T=2.*NM1/G+SQRT(1.-N2/NM1)+(NM1*(1.+S1**2/G**2)-N1/S1)
GO TO 3420
211 P1=(NM1*(1.+S1**2/G**2)-N1)/S1
P2=NM1/S2*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM1*S2/G**2
P3=((NM1*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM1*S2**2/G**2**2)/S2**2
P4=2.*NM1*(1.-S2**2/G**2)/S2**2+2.*NM1*S2/G**2
P5=2.*NM1**2/G*SQRT(1.-N2/NM1)-2.*NM1**2*S2/G**2
P6=8.*NM1**3/G*SQRT((1.-N2/NM1)**3)-8.*NM1**3*S2**3/G**4
T=P1+P2-SQRT(P3-2.*NM1*S2/G**2*P4-2./S2*P5+1./(6.*NM1*S2)*P6)
GO TO 3430
705 IF(NL.GT.NN) GO TO 790
Y2=2.
GO TO 791
790 Y2=3.
791 IF(NP1.GE.NL) GO TO 216
IF(Y1.EQ.2.) GO TO 213
IF(Y1.EQ.3.) GO TO 214
IF(Y1.EQ.4.) GO TO 215
212 P1=2.*NM/G*(SQRT(1.-N2/NM)+SQRT(1.-N1/NM)-2.*SQRT(1.-NL/NM))
P2=2.*NM/NL*(SQRT(1.-NL/NM**3)-1./3.*SQRT((1.-NL/NM)**3))
T=P1+2.*NM/G*P2
GO TO 344
213 P1=2.*NM/G*(SQRT(1.-N1/NM**2)*SQRT(1.-NL/NM**2)
P2=SQRT(1.-NL/NM)-1./3.*SQRT((1.-NL/NM)**3)
P3=NM/S2*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM*S2/G**2
P4=(NM*(1.-S2**2/G**2**2)+2.*NM*S2**2/G**2**2)/S2**2
P5=2.*NM*(1.-S2**2/G**2)/S2+2.*NM*S2/G**2
P6=4.*NM**2/S2*(1./G*SQRT(1.-N2/NM1)-S2/G**2)
P7=8.*NM**3/G*SQRT((1.-N2/NM)**3-8.*NM**3*S2**3/G**4)
T=P1+4.*NM**2/(NL*G)*P2+P3-SQRT(P4-2.*NM*S2/G**2*P5-P6+1./(6.*NM*S
12)*P7)
GO TO 345
214 P1=(NM1*(1.+S1**2/G**2)-N1)/S1+2.*NM1/G*SQRT(1.-N2/NM1)
P2=4.*NM1/G*SQRT(1.-NL/NM1)
P3=SQRT(1.-NL/NM1**3)-1./3.*SQRT((1.-NL/NM1)**3)
T=P1-P2+4.*NM1**2/(NL*G)*P3
GO TO 346
215 P1=SQRT(1.-NL/NM1**3)-1./3.*SQRT((1.-NL/NM1)**3)
P2=4.*NM1/G*SQRT(1.-NL/NM1)
P3=NM1*(1.+S1**2/G**2)/S1-N1/S1
P4=NM1/S2*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM1*S2/G**2
P5=1./S2**2*(NM1*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM1*S2**2/G**2)**2
P6=4.*NM1**2*S2/G**2*((1.-S2**2/G**2)/S2+S2/G**2)
P7=4.*NM1**2/S2*(1./G*SQRT(1.-N2/NM1)-S2/G**2)
P8=4.*NM1**3/(3.*S2*NM1)*(1./G*SQRT((1.-N2/NM1)**3)-S2**3/G**4)
T=4.*NM1**2/(NL*G)*P1-P2+P3+P4-SQRT(P5-P6-P7+P8)
GO TO 347
216 P1=NM1*(1.+S1**2/G**2)/S1-N1/S1
P2=2.*NM1*(1.+S1**2/G**2)-NL/S1
P3=4.*NM1**2/(G*NL*(SQRT(1.-NL/NM1**3)-1./3.*SQRT((1.-NL/NM1)**3)
P4=NM1/S2*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM1*S2/G**2
P5=(NM1*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM1*S2**2/G**2)**2/S2**2
P6=4.*NM1**2*S2/G**2*((1.-S2**2/G**2)/S2+S2/G**2)
P7=4.*NM1**2/S2*(1./G*SQRT(1.-N2/NM1)-S2/G**2)
P8=4.*NM1**2/(3.*S2)*(1./G*SQRT((1.-N2/NM1)**3)-S2**3/G**4)
T=P1+P3-P2+P4-SQRT(P5-P6-P7+P8)
GO TO 3480
111 Y4=3000.
GO TO 472
110 IF(IL.LE.IFMAX) GO TO 55
Y4=2000.

```

```

GO TO 471
55 ID=M*(1.+SQRT(1.-NN/NM))
IF(IL.GT.ID* GO TO 51
Y4=5000.
GO TO 472
51 Y4=4000.
GO TO 472
471 V=1.
T=.01
NM2=NM1/2.
NP=NM2
P1=NM2*(1.+(F0/M-1.)**2*
P2=-2.*NM2*(F0/M-1.)/G+(NM2*(1.+(F0/M-1.)**2)-N1)/(F0/G1-M/G1
P3=4.*NM2**2*(F0/M-1.)**2/G**2-((NM2*(1.+(F0/M-1.)**2)-N1)/(F0/G1-M/G1
11-M/G1)**2
L1=P1*P2+(F0-M)/(2.*G1)*P3
P1=SQRT(1.-N2/NM2)+F0/M-1.
P2=SQRT((1.-N2/NM2)**3+(F0/M-1.)**3
L2=2.*NM2**2/G*(P1-1./3.*P2)
A=L-L1-L2
GO TO 1500
472 FI=ATAN(SQRT(ABS(32.*NM/(27.*F0*NN/M)-1.)))
NA=-2./3.*SQRT(2.*NM*NN/M*F0)*COS(FI/3.)
NB=2./3.*SQRT(2.*NM*NN/M*F0)*(1./2.*COS(FI/3.)*SQRT(3./2.*SIN(FI/
13.))
IF(NA.LE.NB) GO TO 7000
NC=2./3.*SQRT(2.*NM*NN/M*F0)*(1./2.*COS(FI/3.)*SQRT(3./2.*SIN(FI/
13.))
IF(NB.LE.NC) GO TO 7001
N6=NA
N5=NB
GO TO 1400
7001 IF(NA.LE.NC) GO TO 7002
N6=NA
N5=NC
GO TO 1400
7002 NC=NC
N5=NA
GO TO 1400
7003 IF(NB.LE.NC) GO TO 7005
IF(NA.LE.NC) GO TO 7007
N5=NA
N6=NB
GO TO 1400
7007 N5=NC
N6=NB
GO TO 1400
7005 N5=NB
N6=NC
1400 V=1.
T=.01
NM2=NM1/2.
NP=NM2
IF(Y4.EQ.5000.) GO TO 474
1401 P1=N6*2.*NM2/G*SQRT(1.-N5/NM2)
P2=1./G*(F0*NN/N6*(F0*NN/M-N6)
P3=ALOG((F0*NN/M-N5)/(F0*NN/M-N6))
P4=2.*NM1/G*SQRT(1.-N5/NM1)
P5=1./G*(F0*NN/M+(N5-N6)/2.)
L56=P1+P2*P3+(N5-N6)*(P4+P5)
IF(Y4.NE.3000.) GO TO 473
480 P1=2.*NM1**2/G*(SQRT(1.-N1/NM1)-SQRT(1.-N5/NM1))
P2=SQRT((1.-N1/NM1)**3)-SQRT((1.-N5/NM1)**3)
L1=P1-2.*NM1**2/(3.*G)*P2
P1=2.*NM2**2/G*(SQRT(1.-N2/NM2)-SQRT(1.-N6/NM2))
P2=SQRT((1.-N2/NM2)**3)-SQRT((1.-N6/NM2)**3)
L2=P1-2.*NM2**2/(3.*G)*P2
A=L-L56-L2 L1
GO TO 1500
473 P1=NM2*(1.+(F0/M-1.)**2)
P2=-2.*NM2*(F0/M-1.)/G+(NM2*(1.+(F0/M-1.)**2)-N1)/(F0/M/G1
P3=4.*NM2**2*(F0/M-1.)**2/G**2-((NM2*(1.+(F0/M-1.)**2)-N1)/(F0/M/G1
11-M/G1)**2
L1=P1*P2+(F0-M)/(2.*G1)*P3
P1=2.*NM2*(F0/M-1.)/G-2.*NM2/G*SQRT(1.-N5/NM2)
P2=2./3.*NM2**2/G*(F0/M-1.)**3-SQRT((1.-N5/NM2)**3)
L3=NM2*P1-P2
P1=2.*NM2**2/G*(SQRT(1.-N2/NM2)-SQRT(1.-N6/NM2))

```


33
34
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200

```

P2=SQRT((1.-N2/NM2)**3)-SQRT((1.-N6/NM2)**3)
L4=P1-2./3.*NM2**2/G*P2
A=L-L56-L1-L3-L4
GO TO 1555
474 P1=NM2*(1.+(F/M-1.))**2)
P2=G1*(N1-N1)/(F-M)
P3=(1.+(F-M)/M)**2)/(N1-NN)
P4=G1/(2.*(F-M))
L1=P1*P2+P3*(2.*NM2*P3+NN**2-N1**2)
P1=N6*2.*NM2/G*SQRT(1.-N6/NM2)
P2=F.*NN/M-2.*NM2/G*SQRT(1.-N6/NM2)
P3=ALOG((F.*NN/M-NN)/(F.*NN/M)-2.*NM2/G*SQRT(1.-N6/NM2))
P4=F.*NN/M+(NN-N6)/2.
P5=(NN-NM2*(1.+(F/M-1.))**2))*G1/(F-M)
L56=P1+G1*F.*NN/M**2*P2*P3+(NN-N6)*(P5+1./G*P4)
P1=2.*NM2**2/G*(SQRT(1.-N2/NM2)-SQRT(1.-N6/NM2))
P2=SQRT((1.-N2/NM2)**3)-SQRT((1.-N6/NM2)**3)
L3=P1-2./3.*NM2**2/G*P2
A=L-L1-L56-L3
1500 IF(A.LE.0.) GO TO 7050
IF(A.LE.0.01) GO TO 1100
NP=NM2
NM2=NM2+NM1/V
GO TO 1111
1100 WRITE(6,1001) NM2
1001 FORMAT(1X,'TURATIA MAXIMA LA LIMITAREA F0 = ',F6.2)
GO TO 1020
7050 B=A
IF(B.LE.0.01) GO TO 1100
NM2=NP+NM1*T
T=T/10.
V=V*10.
1111 IF(Y4.EQ.2000.) GO TO 471
GO TO 1490
1020 B1=NM2*NN/M*F1*(NN/M*F1-2.)
C1=2.*NM2*NN/M*F1*(NN/M*F1-1.)
D1=NM2*NN**2/M**2*F1**2
DELTA=1./100.*(4.*C1**3-B1**2*C1**2+27.*D1**2+4.*B1**3*D1-18.*B1*C1**2)
IF(DELTA.LE.0.) GO TO 555
Y5=1000.
GO TO 2501
555 Y5=2000.
IF(Y4.EQ.2000.) GO TO 3001
IF(Y4.EQ.3000.) GO TO 3001
IF(Y4.NE.4000.) GO TO 3001
WRITE(6,1005)*
1005 FORMAT(1X,'SITUATIE DE EXCEPTIE')
GO TO 1010
3001 WRITE(6,1007)*
1007 FORMAT(1X,'SITUATIE IMPOSIBILA')
GO TO 1010
2001 IF((Y1.EQ.1.) .OR. (Y1.EQ.2.)) GO TO 3490
T1=(NM2*(1.+S1-2/G**2)*N1)/S1
GO TO 3492
3490 T1=2.*NM/G*SQRT(1.-N1/NM2)
3492 IF((Y1.EQ.2.) .OR. (Y1.EQ.4.)) GO TO 3494
T2=2.*NM2/G*SQRT(1.-N2/NM2)
GO TO 3495
3494 P1=NM2/S2*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM2*S2/G**2
P2=(NM2/S2*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM2*S2/G**2)**2
P3=4.*NM2**2*S2/G**2*(1.-S2**2/G**2)/S2+S2/G**2)
P4=4.*NM2**2/(S2+G)*(SQRT(1.-N2/NM2)-S2/G)
P5=4.*NM2**2/(3.*S2*G)*(SQRT((1.-N2/NM2)**3)-S2**3/G**3)
T2=P1-SQRT(P2-P3-P4+P5)
3495 T=T1+T2
GO TO 351
000 B2=NM1*NN/M*F1*(NN/M*F1-2.)
C2=2.*NM1*NN/M*F1*(NN/M*F1-1.)
D2=NM1*NN**2/M**2*F1**2
P1=ABS(1.-C2**3-109.*C2**2*B2**2+72.*C2*B2**4-8.*B2**6-108.*B2**7-13.*D2+435.*B2-C2-729.*D2**2)
P2=SQRT(P1)
F1=ATAN(1./(2.*B2**3-3.*D2/C2+27.*D2)*P2)
P1=0.5*NM1*NN/M*F1*(NN/M*F1-1.)
P2=(NM1*NN/M*F1*(NN/M*F1-2.))**2
P3=SQRT(ABS(P1-P2)**2)
P4=NM1*NN/M*F1*(NN/M*F1-2.)

```

24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

```

NA=-2./3.*P3*(COS(FI/3.))-P4
NB=2./3.*P3*(1./2.*COS(FI/3.)+SURT(3.)/2.*SIN(FI/3.))-P4
NC=2./3.*P3*(1./2.*COS(FI/3.)-SURT(3.)/2.*SIN(FI/3.))-P4
IF (NA.LF.NP) GO TO 4008
IF (NB.LE.NC) GO TO 4007
N6=NA
N7=NA
GO TO 5555
4007 IF (NA.LE.NC) GO TO 4010
N6=NC
N7=NA
4010 N6=NA
N7=NC
GO TO 5555
4008 IF (NB.GT.NC) GO TO 4012
N6=NI
N7=NC
GO TO 5555
4012 IF (NC.GT.NA) GO TO 4018
N6=NA
N7=NB
GO TO 5555
4018 N6=NC
N7=NB
5555 IF ((Y1.EQ.3.)OR.(Y1.EQ.4.)) GO TO 5558
5557 NM3=NM/2.
NP=NM3
V=1.
T=0.01
5600 P1=2.*NM**2/G*(SURT(1.-N1/NM)-SURT(1.-N6/NM))
P2=2./3.*NM**2/G*(SURT((1.-N1/NM)**3)-SURT((1.-N6/NM)**3))
L1=P1-P2
P1=2.*NM3**2/G*(SURT(1.-N2/NM3)-SURT(1.-N7/NM3))
P2=SURT((1.-N2/NM3)**3)-SURT((1.-N7/NM3)**3)
L2=P1-2./3.*NM3**2/G**P2
P1=N7*2./G*SURT(NM3*(NM3-N6))
P2=G1+E*NM/(M-F1*NM)**2*(F1*NM/(M-F1*NM)-N7)
P3=ALOG(ABS((F1*NM/(M-F1*NM)-N6)/(F1*NM/(M-F1*NM)-N7)))
P4=2./G*SURT(NM*(NM-N1))
P5=G1/(M-F1*NM)*(F1*NM/(M-F1*NM)+(N6-N7)/2.)
L3=P1+P2+P3+(N6-N7)*(P4+P5)
A=L1-L2-L3
5605 IF (A.LT.0.) GO TO 5610
IF (A.LT.0.01) GO TO 5601
NP=NM3
NM3=NM3+NP/V
GO TO 5600
5610 R=A
IF (R.LE.0.01) GO TO 5601
NM3=NP+T*NM
T=T/1.
V=V-1.
GO TO 5600
5601 WRITE(5,1) NM3
1025 FORMAT(1X,'TU AT A MAXIMA LA LIMITAREA F0+FIN = ',F6.2)
P1=(1.-NM**2/(M-F1*NM)**2)*(N7**2-N6**2)
P2=(F1*NM/(M-F1*NM)-(N7/NM3))*(N7**3-N6**3)
P3=ABS((F1*NM/(M-F1*NM)-N7/NM3)/(F1*NM/(M-F1*NM)-N6/NM))
P4=F1*NM/(M-F1*NM)*ALOG(P3)
P5=G1*NM**2/T**2/(M-F1*NM)**3
O67=G1+E*NP1/(2.*NM)+G1*P2/(3.*NM)-P5*(N7-N6+P4)
IF (NM.LT.N6) GO TO 3693
WRITE(4,1) SA)
GO TO 101.
3600 IF (Y1.EQ.1.) GO TO 56.2
IF (Y1.EQ.2.) GO TO 9999
IF (Y1.EQ.3.) GO TO 9998
GO TO 9997
9602 T=2.*NM/G*SURT(1.-N1/NM)+2.*NM3/G*SURT(1.-N2/NM3)
GO TO 36.
9999 P1=2.*NM/G*SURT(1.-N1/NM)
P2=NM3*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM3**2/G**2
P3=(NM3**3*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM3**2/G**2)/S2**2
P4=2.*NM3*(1.-S2**2/G**2)/S2**2+NM3**2/G**2
P5=NM3*(1.-S2**2/G**2)/S2**2+NM3**2/G**2
P6=2./3.*NM3**2/G*SURT((1.-N2/NM3)**3)-S2**3/G**3
TOP1=1./S2**2*(P3-2.*NM3**2/G**2+P4-2./S2**2+P5+2./S2**2*P6)
GO TO 362.

```

515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
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

```

9998 P1=(NM1*(1.+S1**2/G**2)-N1)/S1
P2=2.*NM3/G*SQRT(1.-N1/NM1)
T=P1+P2
GO TO 3640
9997 P1=NM3/S2*(1.+S2**2/G**2)
P2=4.*NM3**2+S2/G**2*(1.-S2**2/G**2/S2+S2/G**2)
P3=4.*NM3**2/(S2/G)*(SQRT(1.-N2/NM3)-S2/G)
P4=4.*NM3**2/(3.*S2/G)*(SQRT(1.-N2/NM3)**3)-S2**3/G**3)
T2L=P1-SQRT(P1**2-P2-P3+P4)
T=(NM1*(1.+S1**2/G**2)-N1)/S1+T2L
GO TO 3660
5558 NM3=NM/2.
NP=NM3
V=1.
T=1.
P1=NM1*(1.+S1**2/G**2)
P2=-2.*NM1*S1/G**2+(NM1*(1.+S1**2/G**2)-N1)/S1
P3=4.*(NM1*S1**2/G**4-(NM1*(1.+S1**2/G**2)-N1)**2/(S1**2)
L=P1*P2+S1/2.*P3
P1=NM1*(2./G*SQRT(NM1*(NM1-N6))+2.*NM1*S1/G**2)
P2=3./G**3*SQRT(NM1**3*(NM1-N6)**3)
P3=3.-NM1-3.*S1**3/G**6
L2=P1-1./(12.*NM1)*G**2*(P2+P3)
P1=N7**2./G*SQRT(NM3*(NM3-N6)**3)
P2=G1**2./M*(M-F1*NN)**2*(F1*NN/(M-F1*NN)-N7)
P3=ALOG(ABS((F1*NN/(M-F1*NN)-N6)/(F1*NN/(M-F1*NN)-N7)))
P4=2./G*SQRT(NM1*(NM1-N6)**3)
P5=F1*NN/(M-F1*NN)+(N6-N7)/2.
L67=P1+P2+P3+(N6-N7)*(P4+G1/(M-F1*NN)*P5)
P1=2.*NM3**2/G*(SQRT(1.-N2/NM3)-SQRT(1.-N7/NM3)**3)
P2=SQRT(1.-N2/NM3)**3) SQRT(1.-N7/NM3)**3)
L3=P1-2./3.*NM3**2/G*P2
A=L-L1-L2-L3-L67
GO TO 5615
3400 CALL SUB1 (N1,N2,NM,PA,IN,M,G1,NN,Y3,0)
GO TO 1010
3410 CALL SUB2 (NM,S2,G,N2,N1,M,G1,NN,NP2,Y3,0)
GO TO 1010
3420 CALL SUB3 (NM1,S1,N1,G,M,G1,N2,NP1,RA,IN,NN,NP2,Y3,0)
GO TO 1010
3430 CALL SUB4 (NM1,S2,G,N2,S1,N1,G1,M,NP1,NP2,PA,IN,NN,Y3,0)
GO TO 1010
3440 CALL SUB5 (Y2,Y3,N1,NP,N2,NL,M,G1,G,RA,IN,NN,0)
GO TO 1010
3450 CALL SUB6 (NM,S2,G,N2,Y2,Y3,N1,NL,NP2,M,G1,RA,IN,NN,0)
GO TO 1010
3460 CALL SUB7 (Y2,Y3,NP1,NM1,NL,N2,M,G1,S1,G,N1,RA,IN,NN,0)
GO TO 1010
3470 CALL SUB8 (NM1,S2,G,N2,Y2,Y3,NP1,NP2,NL,S1,N1,M,G1,NN,0)
GO TO 1010
3480 CALL SUB9 (NM1,S2,G,N2,M,G1,S1,NL,N1,N6,RA,IN,NN,Y1,Y2,Y3,0)
GO TO 1010
3500 CALL SUB10 (NM,I2,Y4,NM2,Y3,Y2,Y1,N5,N6,N7,NL,NP1,NP2,NP0,0)
GO TO 1010
3600 CALL SUB12 (Y3,N1,NM3,NN,N6,N7,N2,M,G1,RA,IN,067,G)
GO TO 1010
3620 CALL SUB13 (NM3,S2,G,N2,Y3,N1,NN,N6,N7,NP2,M,G1,RA,IN,0)
GO TO 1010
3640 CALL SUB14 (Y3,NP1,NP3,NN,N6,N7,N2,S1,G,N1,M,G1,RA,IN,0)
GO TO 1010
3660 CALL SUB15 (NM3,S2,G,Y3,NP1,N4,N6,N7,NP2,M,G1,RA,IN,S1,N1,0)
101 WRITE(5,100) T
1090 FORMAT(IX,'IMPUL DE LAMINARE CU LIMITARI T = ',F6.3)
WRITE(6,105) Q
1095 FORMAT(IX,'PIE DERILE DE ENERGIE CU LIMITARI = ',F7.3,' KWH')
Y=Y1+Y2+Y3+YA+Y3
WRITE(6,106) Y
1097 FORMAT(IX,'INDICELE CARACTERISTIC AL LAMINARII Y = ',F6.3)
STOP
END

```

```

IN EFFECT* NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=0,SIZE=J000K,
IN EFFECT* SOURCE,EXECIO,NOLIST,NOCHECK,LOAD,NOAPP,NOEDIT,NOID,NOXREF
TICS- SOURCE STATEMENTS = 583 ,PROGRAM SIZE = 26334
TICS- NO DIAGNOSTICS GENERATED
END OF COMPILATION *****

```

1.8 (JUN 74)

OS/360 FORTRAN H

```

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=J,LINECNT=80,SIZE=3000K,
SOURCE,EPDCIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NO MAP,NOEDIT,NOID,NOXREF
SUBROUTINE SUB1 (N1,N2,NM,RA,IN,M,G1,NN,Y3,Q*)
REAL M2,N2,N1,NM,NP,NH,L,IN,M,IO
REAL NM1,NM2,NM3,IL,IUMAX,IFMAX,NN,NL,NP1,NP2
REAL NA,NB,NC,N5,N6,N7,NP)
1004 FORMAT(IX,1CAZ FARA SENS PRACTIC*)
IF(Y3.EQ.1.0) GO TO 3401
IF(Y3.EQ.2.0) GO TO 3402
IF(Y3.EQ.3.0) GO TO 3403
GO TO 3404
3401 P1=SQRT(1.-N2/NM)+SQRT(1.-N1/NM)
P2=N2/NM+M1/M+1./3.*SQRT((1.-N2/NM)**3)+1./3.*SQRT((1.-N1/NM)**3)
Q=FA*IN**2*NM**M*G1/1800.*(P1+P2)
GO TO 5.52
3402 P1=SQRT(1.-NM/NM)
P2=SQRT(1.-N1/NM)
P3=SQRT(1.-N2/NM)
Q=FA*IN**2*NM**M*G1/1800.*(P1+P2+P3)+1./3.*SQRT((1.-N2/NM)**3)+1./3.*SQRT((1.-N1/NM)**3)+1./3.*SQRT((1.-NM/NM)**3)
GO TO 5.52
3403 WRITE(0,150)
GO TO 5.52
3404 P1=SQRT(1.-N1/NM)
P2=SQRT(1.-N2/NM)
P3=P1+P2-P2**2+P1**2-1./3.*P2**3-1./3.*P1**3+P2**4-P1**4
P4=-P1**5/5.-P2**5/5.-P2**6/3.+P1**6/3.+P2**7/7.+P1**7/7.
Q=FA*IN**2*NM**M*G1/(1800.*NN**2)+(P3+P4)
3405 CONTINUE
RETURN
END

```

IN EFFECT* NAME= MAIN,OPT=J,LINECNT=80,SIZE=3000K,

IN EFFECT* SOURCE,EPDCIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NO MAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

OS- SOURCE STATEMENTS = 31 ,PROGRAM SIZE = 1924

OS- NO DIAGNOSTICS GENERATED

OS- OF COMPILATION ****

123K BYTES OF COPI

.R (JUN 74)

OS/360 FORTRAN H

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=0,LINECNT=30,SIZE=0000K,
SOURCE,EBODIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

```

2  SUBROUTINE SUB2 (NM,S2,G,N2,N1,M,G1,NN,NP2,Y3,Q)
3  REAL M2,N2,N1,NM,ND,NI,L,IN,M,I
4  REAL NM1,NM2,NM3,IL,IUMAX,IFMAX,AN,NL,NP1,NP2
5  REAL NA,NB,NC,N5,N6,N7,NP3
6  1094 FORMAT(1X,10A2 FARA SEAS PRACTIC4)
7  P1=NM/S2*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM*S2/G**2
8  P2=(NM/S2*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM*S2/G**2)**2
9  P3=1.*NM**2*S2/G**2*((1.-S2**2/G**2)/S2+S2/G**2)
10 P4=0.*NM**2/(S2/G)-(SQRT(1.-N2/NM)-S2/G)
11 P5=4./3.*NM**2/(G*S2)*(SQRT((1.-N2/NM)**3)-S2**3/G**3)
12 T2L=P1-SQRT(P2-P3-P4+P5)
13 IF(Y3.EQ.10.) GO TO 3411
14 IF(Y3.EQ.20.) GO TO 3412
15 IF(Y3.EQ.30.) GO TO 3413
16 GO TO 3414
17
18 3411 P1=S2/G+SQRT(1.-N1/NM)-S2**2/G**2
19 P2=1.-N1/NM+1./3.*S2**3/G**3+1./3.*SQRT((1.-N1/NM)**3)
20 Q1=2.*NM**2*G1*(P1+P2)
21 Q2=(M-S2*G1)**2*(T2L-2.*NM*S2/G**2)
22 Q=FA*IN**2/3600.*(Q1+Q2)
23 GO TO 55
24
25 3412 Q2=(M-G1*S2)**2*(T2L-2.*NM*S2/G**2)
26 P1=SQRT(1.-N1/NM)-2.*SQRT(1.-NM/NM)-N1/NM+1./3.*SQRT((1.-N1/NM)**3)
27 P2=2./3.*SQRT((1.-NM/NM)**3)+SQRT(1.-NP2/NM)+NP2/NM+1./3.*SQRT((1.-NP2/NM)**3)
28 Q1=2.*NM**2*G1*(P1+P2)
29 P3=5)*RT(1.-NM/NM)
30 Q2=4.*NM**3*M*G1/NM**2*(P3-P3**3/3.-P3**5/5.+P3**7/7.*
31 Q=FA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q3)
32 GO TO 55
33
34 3413 P1=SQRT(1.-N1/NM)
35 P2=SQRT(1.-NP2/NM)
36 Q1=2.*NM**2*G1*(P1+P2-P2**2+P1**2+1./3.*P1**3-1./3.*P2**3)
37 P3=SQRT(1.-NP2/NM)
38 Q2=2.*NM**3/NM**2*(P3+P2-P2**3/3.-P3**2+P2**2-P3**3/3.+P3**4-
39 P2**4-P3**5/5.-P2**5/5.-P3**6/3.+P2**6/3.+P3**7/7.+P2**7/7.)
40 Q3=(M-S2*G1)**2/(2.*S2*NM**2*(NM**3*(1.-S2**2/G**2)**3-NM**3)
41 Q4=(M-S2*G1)**2*(T2L-(NP2+2.*NM*S2**2/G**2-NM)/S2)
42 Q=FA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q3+Q4)
43 GO TO 55
44
45 3414 P1=SQRT(1.-N1/NM)
46 P2=SQRT(1.-NP2/NM)
47 Q1=2.*NM**2*G1*(P2+P1-P2**2+P1**2-P2**3/3.-P1**3/3.+P2**4-
48 P1**4-P2**5/5.-P1**5/5.-P2**6/3.+P1**6/3.+P2**7/7.+P1**7/7.)
49 P3=(NP2+2.*NM*S2**2/G**2-S2*T2L)**3
50 Q2=(M-G1*S2**2/(3.*S2*NM**2*(NP2**3-P3**3)
51 Q=FA*IN**2/3600.*(Q1+Q2)
52
53 5050 CONTINUE
54 RETURN
55 END

```

IS IN EFFECT* NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=30,SIZE=0000K,
IS IN EFFECT* SOURCE,EBODIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF
STICS* SOURCE STATEMENTS = 50 ,PROGRAM SIZE = 4112
STICS* NO DIAGNOSTICS GENERATED
END OF COMPILATION ***** 115K BYTES OF C

8 (JUN 74)

OS/360 FORTRAN H

```

COMPILER OPTIONS = NAME= MAIN,OPT=0,LINECNT=8,SIZE=0000K,
SOURCE,ERCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF
2 SUBROUTINE SUB3 (NM1,S1,N1,G,M,G1,N2,NP1,RA,IN,NN,NP2,Y3,Q)
3 REAL M2,N2,N1,NM,NP,NN,L,IN,M,I
4 REAL NM1,NM2,NM3,IL,TUMAX,IFMAX,NN,NL,NP1,NP2
5 REAL NA,NB,NC,N5,N6,N7,NP1
6 1094 FORMAT(IX,1CAZ FARA SENS PRACTIC*)
7 IF(Y3.EQ.1) GO TO 3421
8 IF(Y3.EQ.2) GO TO 3422
9 IF(Y3.EQ.3) GO TO 3423
10 GO TO 3424
11 3421 P1=(NM1*(1.+S1**2/G**2)-N1)/S1
12 Q1=(M+S1*G1)**2*(P1-2.*NM1*S1/G**2)
13 P2=SQRT(1.-N2/NM1)
14 P3=SQRT(1.-NP1/NM1)
15 Q2=2.*NM1*M*G1*(P2+P3-P2**2+P1**2+P2**3/3.+P1**3/3.*
16 Q=RA*IN**2/360.*(Q1+Q2)
17 GO TO 5151
18 3422 P1=(NM1*(1.+S1**2/G**2)-N1)/S1
19 Q1=(M+G1*S1)**2*(P1-2.*NM1*S1/G**2)
20 P2=SQRT(1.-NN/NM1)
21 P3=SQRT(1.-NP1/NM1)
22 P4=SQRT(1.-N2/NM1)
23 Q2=2.*NM1*M*G1*(P3-2.*P2+P3**2+P3**3/3.-2.*P2**3/3.+P4-P4**2+P4**3
24 1/3.)
25 Q3=2.*NM1*M*G1*NM1**2/NN**2*(P2-P2**3/3.-P2**5/5.+P2**7/7.)
26 Q=RA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3)
27 GO TO 5151
28 3423 Q1=(M+G1*S1)**2*(NN/S1-N1/S1)
29 Q2=(M+G1*S1)**2/(3.*S1*NN**2)*(NM1**3*(1.-S1**2/G**2)**3-IN**3)
30 P1=SQRT(1.-NN/NM1)
31 P2=SQRT(1.-NP1/NM1)
32 P3=SQRT(1.-N2/NM1)
33 Q3=2.*NM1-M*G1*NM1**2/IN**2*(P1+P2-P1**2+P2**2-P1**3/3.-P2**3/3.+P
34 11**4-P2**4-P1**5/5.-P2**5/5.+P1**7/7.+P2**7/7.)
35 Q4=2.*NM1*M*G1*(P3-P1-P3**2+P1**2+P3**3/3.-P1**3/3.)
36 Q=RA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4)
37 GO TO 5151
38 3424 Q1=(M+G1*S1)**2/(3.*S1*NN**2)*(NM1**3*(1.-S1**2/G**2)-N1**3)
39 P1=SQRT(1.-NP1/NM1)
40 P2=SQRT(1.-N2/NM1)
41 Q2=2.*NM1*M*G1*NM1**2/NN**2*(P2+P1-P2**2+P1**2-P2**3/3.-P1**3/3.+P
42 12**4-P1**4-P2**5/5.-P1**5/5.-P2**6/3.+P1**6/3.+P1**7/7.+P2**7/7.*
43 Q=RA*IN**2/360.*(Q1+Q2)
44 5051 CONTINUE
45 RETURN
46 END

```

IN EFFECT* NAME= MAIN,OPT=0,LINECNT=8,SIZE=0000K,

IN EFFECT* SOURCE,ERCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

CS* SOURCE STATEMENTS = 45 , PROGRAM SIZE = 3140

CS* NO DIAGNOSTICS GENERATED

D OF COMPILATION *****

119K BYTES OF CORE

8 (JUN 74)

OS/360 FORTRAN H

COMPILER OPTIONS

NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=80,SIZE=000K,
SOURCE,EBODIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXPEF

2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57

```

SUBROUTINE SUBA (NM1,S2,G,N2,S1,N1,G1,M,NP1,NP2,PA,IN,NN,Y3,Q)
REAL M2,N2,M1,NM,ND,NN,L,IN,M,IL
REAL NM1,N2,NM3,IL,IUMAX,IFMAX,NN,ML,NP1,NP2
REAL NA,N8,NC,ND,N3,N7,NPO
1094 FORMAT(IX,10A7,FAPA,SENS,PRACTIC*)
P1=NM1/S2*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM1*S2/G**2
P2=(NM1/S2*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM1*S2/G**2)**2
P3=4.*NM1**2/G**2
P4=4.*NM1**2/(S2**2)*(SQRT(1.-N2/NM1)-S2/G)
P5=1.*NM1/(3.*S2**2)*(SQRT((1.-N2/NM1)**3)-S2**3/G**3)
T2L=P1-SQRT(P2-P3-P4+P5)
IF(Y3.EQ.1) GO TO 3431
IF(Y3.EQ.2) GO TO 3432
IF(Y3.EQ.3) GO TO 3433
GO TO 3434
3431 P1=(NM1*(1.+S1**2/G**2)-N1)/S1
O1=(M+S1**2/G1)**2*(P1-2.*NM1*S1/G**2)
O2=(M-S1**2/G1)**2*(T2L-2.*NM1*S2/G**2)
P2=SQRT(1.-NP1/NM1)
P3=SQRT(1.-NP2/NM1)
Q2=2.*NM1*M*G1*(P2+P1-P3**2+P2**2+P2**3/3.+P3**3/3.)
Q=PA*IN**2/360.*(O1+O2+Q2)
GO TO 555
3432 P1=(NM1*(1.+S1**2/G**2)-N1)/S1
O1=(M+S1**2/G1)**2*(P1-2.*NM1*S1/G**2)
O2=(M-S1**2/G1)**2*(T2L-2.*NM1*S2/G**2)
P2=SQRT(1.-NP1/NM1)
P3=SQRT(1.-NP2/NM1)
P4=SQRT(1.-NP3/NM1)
Q2=2.*NM1*M*G1*(P2+P1-P3**2+P2**2+P2**3/3.-P3**3/3.)
Q4=2.*NM1*M*G1*(P4+P3-P4**2+P3**2+P4**3/3.-P3**3/3.)
Q5=4.*NM1*M*G1*NM1**2/NN**2*(P2-P3**3/3.-P3**5/5.+P3**7/7.*
GO TO 555
3433 P1=SQRT(1.-NP1/NM1)
P2=SQRT(1.-NP2/NM1)
Q3=2.*NM1*M*G1*NM1**2/NN**2*(P2+P1-P2**2+P1**2-P2**3/3.-P1**3/3.+P
12**4-P1**4-P2**5/5.-P1**5/5.-P2**6/3.+P1**6/3.+P1**7/7.+P2**7/7.*
O1=(M+S1**2/G1)**2*(M/S1-N1/S1)
O2=(M-S1**2/G1)**2/(3.*S1*NN**2)*(NM1**3*(1.-S1**2/G**2)**3-NN**3)
O4=(M-S2**2/G1)**2/(3.*S2*NN**2)*(NM1**3*(1.-S2**2/G**2)**3-NN**3)
O5=(M-S2**2/G1)**2*(T2L-(NM1*(1.+S2**2/G**2)-NN)/S1)
Q=PA*IN**2/360.*(O1+O2+Q3+O4+O5)
GO TO 555
3434 P1=SQRT(1.-NP1/NM1)
P2=SQRT(1.-NP2/NM1)
Q2=2.*NM1*M*G1*NM1**2/NN**2*(P2+P1-P2**2+P1**2+P2**3/3.-P1**3/3.+P
12**4-P1**4-P2**5/5.-P1**5/5.-P2**6/3.+P1**6/3.+P1**7/7.+P2**7/7.)
O1=(M+S1**2/G1)**2/(3.*S1*NN**2)*(NM1**3*(1.-S1**2/G**2)**3-N1**3)
P3=(NM1*(1.+S2**2/G**2)-S2**2*T2L)**3
Q3=(M-S2**2/G1)**2/(3.*S2*NN**2)*(M**3*(1.-S2**2/G**2)**3-P3)
Q=PA*IN**2/360.*(O1+O2+Q3)
5055 CONTINUE
RETURN
END

```

IN EFFECT# NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=80,SIZE=000K,
IN EFFECT* SOURCE,EBODIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXPEF

ICS* SOURCE STATEMENTS = 56 ,PROGRAM SIZE = 4394

ICS* NO DIAGNOSTICS GENERATED

NO OF COMPILATION *****

111K BYTES OF COPI

.3 (JUN 74)

QS/360 FORTRAN H

```

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=80,SIZE=1000K,
SOURCE,EPDCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NCEDIT,NOID,NOXREF
SUBROUTINE SUP5 (Y2,Y3,N1,NN,N2,NL,M,G1,G,RA,IN,NN,Q)
REAL M2,N2,N1,NM,ND,NN,L,IN,M,IL
REAL NM1,NM2,NM3,IL,TUMAX,IFMAX,NN,NL,NP1,NP2
REAL NA,NO,NC,N5,N6,N7,NPU
1094 FOFMAT(IX,CAZ FARA SENS PRACTIC)
IF(Y2.NE.20.) GO TO 3442
IF((Y3.EQ.10.) .OR. (Y3.EQ.200.)) GO TO 3443
WRITE(6,1094)
GO TO 5055
3443 P1=SQRT(1.-N1/NN)
P2=SQRT(1.-N2/NN)
P3=SQRT(1.-NL/NN)
Q1=2.*NM-M*G1*(P1-P3-P3**2+P1**2+P1**3/3.-P3**3/3.)
Q2=M**2*4.*NM**2/(G*NL)*(P3-P3**3/3.)
Q3=2.*NM*M*G1*(P2-P3-P2**2+P3**2+P2**3/3.-P3**3/3.)
Q=RA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3)
GO TO 5056
3442 IF(Y3.EQ.20.) GO TO 3445
IF(Y3.EQ.40.) GO TO 3446
WRITE(6,1094)
GO TO 5055
3445 P1=SQRT(1.-N1/NN)
P2=SQRT(1.-N2/NN)
P3=SQRT(1.-NL/NN)
P4=SQRT(1.-NL/NN)
Q3=M*G1*4.*NL*NM**2/NN**2*(P4-P4**3/3.)
Q2=M*4.*NM*M*G1*NM**2/NN**2*(P3-P4-P3**3/3.+P4**3/3.-P3**5/5.+P4**5
1/5.+P3**7/7.-P4**7/7.)
Q13=2.*NM*M*G1*(P1-2.*P3+P1**2+P1**3/3.-2./3.*P3**3+P2-P2**2+P2**3
1/3.)
Q=RA*IN**2/360.*(Q3+Q2+Q13)
GO TO 5055
3446 P1=SQRT(1.-N1/NN)
P2=SQRT(1.-N2/NN)
P3=SQRT(1.-NL/NN)
Q2=M*G1*NL*4.*NM**2/NN**2*(P3-P3**3/3.)
P4=P1-2.*P3+P1**2-1./3.*P1**3+2./3.*P3**3-P1**4-1./5.*P1**5+2./5.*
1P3**5-1./7.*P1**7
P5=1./7.*P1**7-2./7.*P3**7+P2-P2**2-1./3.*P2**3+P2**4-1./5.*P2**5+
11./7.*P2**7
Q13=2.*NM*M*G1*NM**2/NN**2*(P4+P5)
Q=RA*IN**2/360.*(Q13+Q2)
5056 CONTINUE
RETURN
END

```

```

IN EFFECT*      NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=80,SIZE=1000K,
IN EFFECT*      SOURCE,EPDCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NCEDIT,NOID,NOXREF
LINES*          SOURCE STATEMENTS =          45 ,PROGRAM SIZE =          2822
LINES*          NO DIAGNOSTICS GENERATED
END OF COMPILATION *****

```

119K BYTES OF COB

6 (JUN 74)

OS/360 FORTRAN H

```

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=0,LINCCNT=9,SIZE=0000K,
SOURCE, FBCDIC, NOLIST, NNOECK, LOAD, NOMAP, NOEDIT, NOID, NOXREF
SUBROUTINE SUBS (NM,S2,G,N2,Y2,Y3,N1,NL,NP2,N,GI,PA,IN,NN,Q)
REAL M2,N2,N1,AM,AP,AN,L,IN,M,1#
REAL NP1,NM2,NM3,TL,IUMAX,IFMAX,AN,NL,NP1,NP2
REAL HA,NB,NC,N5,N6,N7,NP#
109# FORMAT(IX,10A2 FARA SENS PRACTIC#)
P1=NM/S2*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM*S2/G**2
P2=(NM/S2*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM*S2/G**2)**2
P3=4.*NM**2*S2/G**2*(1.-S2**2/G**2)/S2+S2/G**2)
PA=4.*NM**2/(S2-G)*(SQRT(1.-N2/NM)-S2/G)
P5=4./3.*NM**2/(S2-G)*(SQRT((1.-N2/NM)**3)-S2**3/G**3)
T2L=P1-SQRT(P2-P3-P4+P5#)
IF(Y2.EQ.2#) GO TO 3452
IF((Y3.EQ.1#).OR.(Y3.EQ.20#)) GO TO 3454
WRITE(6,109#)
GO TO 3457
3454 P1=SQRT(1.-N1/NM)
P2=SQRT(1.-NL/NM#)
P3=SQRT(1.-NP2/NM)
Q1=2.*NM#M*GI*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.)
Q3=2.*NM#M*GI*(P3-P2-P3**2+P2**2+P3**3/3.-P2**3/3.)
Q2=4.*M*GI*NM**2/NL*(P2-P2**3/3.)
Q4=(M-G1*S2)**2*(T2L-2.*NM*S2/G**2)
Q=PA*IN**2/36#*(Q1+Q2+Q3+Q4)
GO TO 3457
3452 IF(Y3.EQ.1#) GO TO 3455
IF(Y3.EQ.20#) GO TO 3455
IF(Y3.EQ.3#) GO TO 3457
GO TO 3458
3455 WRITE(6,109#)
GO TO 3457
3456 P1=SQRT(1.-N1/NM)
P2=SQRT(1.-NP2/NM#)
P3=SQRT(1.-NL/NM)
P4=SQRT(1.-NP2/NM)
Q1=2.*NM#M*GI*(P1-P2-P3**2+P1**2+P1**3/3.-P3**3/3.)
Q3=4.*NM#M*GI*NM**2/NL*(P2-P3-P3**2+P2**2+P3**3/3.)
Q5=2.*NM#M*GI*(P2-P3-P2**2+P3**2+1./3.*P2**3-1./3.*P3**3)
Q24=4.*NM#M*GI*NM**2/NM**2*(P3-P4-P3**3/3.+P4**3/3.-P3**5/5.+P4**5)
1/5.*P3**7/7.-P4**7/7.)
Q6=(M-S2*G1)**2*(T2L-2.*NM*S2/G**2)
Q=PA*IN**2/36#*(Q1+Q3+Q5+Q24+Q6)
GO TO 3457
3457 P1=SQRT(1.-N1/NM)
P2=SQRT(1.-NP2/NM#)
P3=SQRT(1.-NL/NM)
P4=SQRT(1.-NP2/NM)
Q1=2.*NM#M*GI*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.)
Q2=2.*NM#M*GI*NM**2/NM**2*(P2-P3-P3**2-P2**2-P2**3/3.+P3**3/3.+P3**
1**4-P2**4-P2**5/5.+P3**5/5.-P3**6/3.+P2**6/3.+P2**7/7.-P3**7/7.)
Q4=2.*NM#M*GI*NM**2/NM**2*(P4-P3-P4**2+P3**2-P4**3/3.+P2**3/3.+P4**
1**4-P3**4-P4**5/5.+P3**5/5.-P4**6/3.+P3**6/3.+P4**7/7.-P3**7/7.)
Q3=4.*M*GI*NM**2/NL*(P3-P3**3/3.)
Q5=(M-S2*G1)**2*(2.*S2*NM**2)*(NM**3*(1.-S2**2/G**2)**3-NM**3)
Q6=(M-S2*G1)**2*(T2L-2.*NM*S2/G**2)
Q=PA*IN**2/36#*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6)
GO TO 3457
3458 P1=SQRT(1.-N1/NM)
P2=SQRT(1.-NP2/NM#)
P3=SQRT(1.-NL/NM#)
Q1=2.*M#M*GI*NM**2/NM**2*(P1-P3-P3**2+P1**2-P1**3/3.+P3**3/3.+P3**
1**4-P1**4-P1**5/5.+P3**5/5.+P1**6/3.-P3**6/3.+P1**7/7.-P3**7/7.)
Q3=2.*NM#M*GI*NM**2/NM**2*(P2-P3-P2**2+P3**2-P2**3/3.+P2**3/3.+P2**
1**4-P3**4-P2**5/5.+P3**5/5.-P2**6/3.+P3**6/3.+P2**7/7.-P3**7/7.)
Q2=4.*M*GI*NM**2/NM**2*(P3-P3**3/3.)
PA=(NM*(1.-S2**2/G**2)-S2*T2L)**2
Q5=(M-S2*G1)**2*(1.-S2*NM*(NM**3*(1.-S2**2/G**2)**3-P4)
Q=PA*IN**2/36#*(Q1+Q2+Q3+Q4)
3457 CONTINUE
RETURN
END

```

NAME= MAIN,OPT=0,LINCCNT=9,SIZE=0000K,
SOURCE, FBCDIC, NOLIST, NNOECK, LOAD, NOMAP, NOEDIT, NOID, NOXREF
SOURCE STATEMENTS = 71, PROGRAM SIZE = 5616

```

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=00,SIZE=JUNK,
SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NOOLOCK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF
SUBROUTINE SUB7 (Y2,Y3,NP1,NM1,NL,N2,M,G1,S1,G,N1,RA,IN,NN,Q)
REAL M2,N2,N1,NM,NP,NN,L,IN,M,I
REAL NM1,NM2,NM3,IL,IUMAX,IFMAX,NN,NL,NP1,NP2
REAL NA,NB,NC,N5,N6,N7,NP3
1.94 FORMAT(1X,'CAZ FARA SENS PRACTIC')
IF(Y2.EQ.2) * GO TO 3462
IF((Y3.EQ.1) .OR. (Y3.EQ.200)) GO TO 3463
WRITE(6,1.94)
GO TO 5058
3463 P1=SQRT(1.-NP1/NM1)
P2=SQRT(1.-NL/NM1)
P3=SQRT(1.-N2/NM1)
Q2=2.*NM1*M*G1*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.)
Q3=4.*M*G1*NM1**2/NL*(P2-P2**3/3.)
Q4=2.*NM1*M*G1*(P3-P2-P3**2+P2**2+P3**3/3.-P2**3/3.*
P4=(NM1*(1.+S1**2/G**2)-N1)/S1-2.*NM1*S1/G**2
Q1=(M+G1*S1)**2*P4
Q=RA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q3+Q4)
GO TO 5058
3462 IF(Y3.EQ.100) GO TO 3465
IF(Y3.EQ.200) * GO TO 3466
IF(Y3.EQ.300) GO TO 3467
GO TO 3468
3465 WRITE(6,1.94)
GO TO 5058
3466 P1=SQRT(1.-NP1/NM1)
P2=SQRT(1.-NL/NM1)
P3=SQRT(1.-N2/NM1)
P4=SQRT(1.-N2/NM1)
Q2=2.*NM1*M*G1*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.*
Q5=2.*NM1*M*G1*(P4-P2-P4**2+P2**2+P4**3/3.-P2**3/3.)
Q35=4.*NM1*M*G1*NM1**2/NN**2*(P2-P3-P2**3/3.+P3**3/3.-P2**5/5.+P3**
1*5/5.+P2**7/7.-P3**7/7.*
Q4=4.*NM1*M*G1*NL/NN**2*(P3-P3**3/3.)
P5=(NM1*(1.+S1**2/G**2)-N1)/S1-2.*NM1*S1/G**2
Q1=(M+G1*S1)**2*P5
Q=RA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q35+Q4+Q5)
GO TO 5058
3467 P1=SQRT(1.-NP1/NM1)
P2=SQRT(1.-NL/NM1)
P3=SQRT(1.-NN/NM1)
P4=SQRT(1.-N2/NM1)
P5=NM1**3*(1.-S1**2/G**2)**3-NN**3
Q1=(M+G1*S1)*((NM1-N1)/S1)
Q2=(M+G1*S1)**2/(3.*S1*NM1**2**P5)
Q3=2.*NM1*M*G1*NM1**2/NN**2*(P1-P2-P2**2+P1**2-P1**3/3.+P2**3/3.+P
12**4-P1**4-P1**5/5.+P2**5/5.-P2**6/3.+P1**6/3.+P1**7/7.-P2**7/7.)
Q5=2.*NM1*M*G1*NM1**2/NN**2*(P3-P2-P3**2+P2**2-P3**3/3.+P2**3/3.+P
13**4-P2**4-P3**5/5.+P2**5/5.-P3**6/3.+P2**6/3.+P3**7/7.-P2**7/7.)
Q4=4.*M*G1*NL*NM1**2/NN**2*(P2-P2**3/3.)
Q6=2.*NM1*M*G1*(P4-P3-P2**2+P3**2+P2**3/3.-P3**3/3.*
Q=RA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6)
GO TO 5058
3468 P1=SQRT(1.-NP1/NM1)
P2=SQRT(1.-NL/NM1)
P3=SQRT(1.-N2/NM1)
P4=NM1**3*(1.-S1**2/G**2)-N1**3
Q1=(M+G1*S1)/(3.-S1*NM1)*P4
Q3=4.*M*G1*NL*NM1**2/NN**2*(P2-P2**3/3.)
Q2=2.*NM1*M*G1*NM1**2/NN**2*(P1-P2-P2**2+P1**2-P1**3/3.+P2**3/3.+P
12**4-P1**4-P1**5/5.+P2**5/5.-P2**6/3.+P1**6/3.+P1**7/7.-P2**7/7.)
Q4=2.*NM1*M*G1*NM1**2/NN**2*(P3-P2-P3**2+P2**2-P3**3/3.+P2**3/3.+P
13**4-P2**4-P3**5/5.+P2**5/5.-P3**6/3.+P2**6/3.+P3**7/7.-P2**7/7.*
Q=RA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q3+Q4)
GO TO 5058
CONTINUE
RETURN
END

```

IN EFFECTS NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=00,SIZE=JUNK,
IN EFFECTS SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NOOLOCK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF
LINES SOURCE STATEMENTS = 67 ,PROGRAM SIZE = 4914
NO DIAGNOSTICS GENERATED
COMPILE TIME 0.14
JUN 74

COMPILE OPTIONS

NAME= MAIN, OPT=, LINECNT=3, SIZE=300K,

SOURCE, ERCDIC, NOLIST, NOCHECK, LOAD, NOMAP, NOEDIT, NOID, NOYREF

12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

```
SUBROUTINE SUB8 (NM1, S2, G, N2, Y2, Y3, NP1, NP2, NL, S1, N1, 4, G1, NN, Q)
REAL M2, N2, N1, NM, NP, NN, L, IN, A, I
REAL NM1, NM2, LM3, IL, IUMAX, IFMAX, NN, NL, NP1, NP2
```

```
1994 FORMAT(1X, 'CAZ FARA SENS PRACTIC')
P1=NM1/S2*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM1*S2/G**2
P2=(NM1/S2*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM1*S2/G**2)**2
P3=4.*NM1**2*S2/G**2*((1.-S2**2/G**2)/(S2+S2/G**2))
P4=4.*NM1**2/(S2*G)*(SQRT(1.-N2/NM1)-S2/G)
P5=1./3.*NM1**2/(S2*G)*(SQRT((1.-N2/NM1)**3)-S2**3/G**3)
T2L=P1-SQRT(P2-P3-P4+P5)
IF(Y2.EQ.2) * GO TO 3472
IF((Y3.EQ.1) .OR. (Y3.EQ.2)) GO TO 3473
WRITE(6,1994)
GO TO 5159
```

```
3473 P1=SQRT(1.-NP1/NM1)
P2=SQRT(1.-NP2/NM1)
P3=SQRT(1.-NL/NM1)
P4=(NM1*(1.+S1**2/G**2)-N1)/S1-2.*NM1*S1/G**2
Q1=(M+S1*G1)**2**P4
Q5=(M-S2*G1)**2*(T2L-2.*NM1*S2/G**2)
Q3=4.*M*G1*NM1**2/NN**2*(P3+P3**3/3.)
Q2=2.*NM1*M*G1*(P1+P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P3**3/3.)
Q4=2.*NM1*M*G1*(P2+P3-P2**2+P3**2+P2**3/3.-P3**3/3.)
Q=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5)
GO TO 5159
```

```
3472 IF(Y3.EQ.1) * GO TO 3475
IF(Y3.EQ.2) * GO TO 3476
IF(Y3.EQ.3) * GO TO 3477
GO TO 3473
```

```
3475 WRITE(6,1994)
GO TO 5159
```

```
3476 P1=SQRT(1.-NP1/NM1)
P2=SQRT(1.-NP2/NM1)
P3=SQRT(1.-NL/NM1)
P4=SQRT(1.-NP2/NM1)
P5=(NM1*(1.+S1**2/G**2)-N1)/S1-2.*NM1*S1/G**2
Q1=(M+S1*G1)**2**P5
Q7=(M-S2*G1)**2*(T2L-2.*NM1*S2/G**2)
Q2=2.*NM1*M*G1*(P1+P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.)
Q6=2.*NM1*M*G1*(P4+P2-P4**2+P2**2+P4**3/3.-P2**3/3.)
Q4=4.*M*G1*NL*NM1**2/NN**2*(P3+P3**3/3.)
Q35=4.*NM1*M*G1*NM1**2/NN**2*(P2+P3-P2**3/3.+P3**3/3.-P2**5/5.+P3**5/5.+P2**7/7.-P3**7/7.)
Q=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q35+Q6+Q4+Q7)
GO TO 5159
```

```
3477 P1=SQRT(1.-NP1/NM1)
P2=SQRT(1.-NL/NM1)
P3=SQRT(1.-NP2/NM1)
Q3=2.*NM1**2/NN**2*M*G1*(P1+P2-P2**2+P1**2-P1**3/3.+P2**3/3.+P2**4-
1-P1**4-P1**5/5.+P2**5/5.-P2**6/6.+P1**6/6.+P1**7/7.-P2**7/7.)
Q5=2.*NM1*M*G1*NM1**2/NN**2*(P3+P2-P3**2+P2**2-P3**3/3.+P2**3/3.+P2**4-
133**4-P2**4-P3**5/5.+P2**5/5.-P3**6/3.+P2**6/3.+P3**7/7.-P2**7/7.)
Q4=4.*M*G1*NL*NM1**2/NN**2*(P2+P2**3/3.)
Q1=(M+G1*S1)**2*(M*S1)/S1
Q2=(M+G1*S1)**2/(3.*S1*NN**2)*(NM1**3*(1.-S1**2/G**2)**3-N1**3)
Q5=(M-G1*S2)**2/(3.*S2*NN**2)*(NM1**3*(1.-S2**2/G**2)-N1**3)
Q7=(M-G1*S2)**2*(T2L-2.*NM1*S2/G**2)
Q=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q7)
GO TO 5159
```

```
3478 P1=SQRT(1.-NP1/NM1)
P2=SQRT(1.-NL/NM1)
P3=SQRT(1.-NP2/NM1)
Q2=2.*NM1*NM1**2/NN**2*M*G1*(P1+P2-P2**2+P1**2-P1**3/3.+P2**3/3.+P
12**4-P1**4-P1**5/5.+P2**5/5.-P2**6/6.+P1**6/6.+P1**7/7.-P2**7/7.)
Q4=2.*NM1*M*G1*(P3+P2-P3**2+P2**2-P3**3/3.+P2**3/3.+P3**4-P2**4-P2
1**5/5.+P2**5/5.-P3**6/3.+P2**6/3.+P3**7/7.-P2**7/7.)
Q7=4.*M*G1*NL*NM1**2/NN**2*(P2+P2**3/3.)
Q1=(M+G1*S1)**2/(3.*S1*NN**2)*(NM1**3*(1.-S1**2/G**2)**3-N1**3)
Q5=(NM1*(1.+S1**2/G**2)-N1)/S1-2.*NM1*S1/G**2
Q2=(M-G1*S1)**2/(3.*S2*NN**2)*(NM1**3*(1.-S2**2/G**2)**3-P4)
Q=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5)
CONTINUE
RETURN
END
```

NAME= MAIN, OPT=, LINECNT=, SIZE=300K,

IN EFFECT* SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NCEDIT,NOID,NOXREF
 ICS* SOURCE STATEMENTS = 75 ,PROGRAM SIZE = 6090
 ICS* NO DIAGNOSTICS GENERATED
 NO OF COMPILATION ** ** ** 107K BYTES OF CORE
 1.0 (JUN 74) OS/360 FORTRAN H

```

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT= ,LINECNT=3,SIZE=1000K,
SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NCEDIT,NOID,NOXREF.
2 SUBROUTINE SUB9 (NM1,S2,G,N2,M,G1,S1,NL,N1,N6,PA,IN,NI,Y1,Y2,Y3,Q)
3 REAL M2,N2,N1,NM,NP,NN,L,IN,M,I.
4 REAL NM1,NM2,NM3,IL,IUMAX,IFMAX,NN,NL,NP1,NP2
5 REAL NA,NB,NC,N5,N6,N7,NP.
6 1094 FOPHAT(IX,CAZ FARA SENS PRACTIC*)
7 P1=NM1/S2*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM1*S2/G**2
8 P2=(NM1/S2*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM1*S2/G**2)**2
9 P3=4.*NM1**2*S2/G**2*((1.-S2**2/G**2)/S2+S2/G**2)
10 P4=4.*NM1**2/(S2*G)*(SQRT(1.-N2/NM1)-S2/G)
11 P5=4./3.*NM1**2/(S2*G)*(SQRT((1.-N2/NM1)**3)-S2**3/G**3)
12 T2L=P1-SQRT(P2-P3-P4+P5)
13 IF(Y2.NE.2.) GO TO 3482
14 IF((Y3.EQ.1.).OR.(Y3.EQ.200.** GO TO 3484
15 WRITE(6,1094)
16 GO TO 506
17 3484 Q1=(M+G1*S1)**2/S1*(NL-N1)
18 Q2=4.*M*G1*NM1**2/NL*(SQRT(1.-NL/NM1)-1./3.*SQRT((1.-NL/NM1)**3))
19 Q3=(M-Q1*S2)**2*(T2L-(NM1*(1.+S1**2/G**2)-N6*/S1*
20 Q=PA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q3)
21 GO TO 506
22 3482 IF((Y3.EQ.1.).OR.(Y3.EQ.200.** GO TO 3485
23 IF((Y3.EQ.3)).GO TO 3486
24 GO TO 3487
25 3485 WRITE(6,1094)
26 GO TO 506
27 3486 Q1=(NM-N1)*(M+S1*G1)**2/S1
28 Q2=(M+S1*G1)**2/(3.*S1*NN**2)*(NL**3-NN**3)
29 Q3=4.*M*G1*NL*NM1**2/NN**2*(SQRT(1.-NL/NM1)-1./3.*SQRT((1.-NL/NM1)
30 1**3))
31 Q4=(M-S2*G1)**2/(3.*S2*NN**2)*(NL**3-NN**3)
32 Q5=(M-S2*G1)**2*(T2L-(NM1*(1.+S2**2/G**2)-NN*/S2*
33 Q=PA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5)
34 GO TO 506
35 3487 Q1=(M+G1*S1)**2/(3.*S1*NN**2)*(NL-N1*
36 Q2=4.*M*G1*NL*NM1**2/NN**2*(SQRT(1.-NL/NM1)-1./3.*SQRT((1.-NL/NM1)
37 1**3))
38 Q3=(M-G1*S2**2/(3.*S2*NN**2*(NL**3-(NM1*(1.+S2**2/G**2)-S2*T2L**
39 1**3)
40 Q=PA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q3)
41 5060 CONTINUE
42 RETURN
43 END
  
```

IN EFFECT* NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=3,SIZE=1000K,
 IN EFFECT* SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NCEDIT,NOID,NOXREF
 ICS* SOURCE STATEMENTS = 43 ,PROGRAM SIZE = 2894
 ICS* NO DIAGNOSTICS GENERATED
 NO OF COMPILATION ** ** ** 119K BYTES OF CO

(JUN 74)

OS/360 FORTRAN H

COMPILER OPTIONS

NAME= MAIN, OPT=10, LINECNT=80, SIZE=1000K,
 SOURCE, EBCDIC, NOLIST, NOCHECK, LOAD, NCMAP, NOEDIT, NOID, NOXREF
 SUBROUTINE SUB1 (NM, I0, Y4, NM2, Y3, Y2, Y1, NS, N6, N7, NL, NP1, NP2, NP3, Q*)
 REAL M2, N2, N1, NM, NP, NN, L, IN, M, I
 REAL NM1, NM2, NM3, IL, IUMAX, IFMAX, NN, NL, NP1, NP2
 REAL NA, NB, NC, NS, N6, N7, NP3

2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87

```

G=64.
N1=15.
N2=30.
PA=21.5
M=2.427
G1=1.037
IN=4.
S1=30.
S2=30.
NN=40.
IL=6.
F=6.
1094 FORMAT(1X, 'CAZ FARA SENS PRACTIC')
P1=NM2/S2*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM2*S2/G**2
P2=(NM2/S2*(1.-S2**2/G**2)+2.*NM2*S2/G**2)**2
P3=4.*NM2**2*S2/G**2*((1.-S2**2/G**2)/S2+S2/G**2)
PA=4.*NM2/(S2*G)*(SQRT(1.-N2/NM2)-S2/G)
P5=4./3.*NM2**2/(S2*G)*(SQRT((1.-N2/NM2)**3)-S2**3/G**3)
T2L=P1-SQRT(P2-P3-P4+P5)
3499 IF(Y4.EQ.1.) GO TO 3501
IF(Y4.EQ.2.) GO TO 3502
IF(Y4.EQ.3.) GO TO 3503
IF(Y4.EQ.4.) GO TO 3504
GO TO 3505
3501 WRITE(6,1094)
GO TO 3502
3502 P1=(NM2*(1.+(F/M-1)**2)-N1)/(F/G1-M/G1)
Q1=F**2*(P1-2.*NM2*G1*(F-M))
NP1=NM2*F/P1*(2.-F/M)
IF(NM2.EQ.0.) GO TO 3507
IF(Y1.EQ.1.) GO TO 3508
IF((Y1.EQ.2.) .OR. (Y1.EQ.4.)) GO TO 3512
WRITE(6,1094)
GO TO 3502
3507 IF(Y1.EQ.1.) GO TO 3511
IF((Y1.EQ.2.) .OR. (Y1.EQ.4.)) GO TO 3514
GO TO 3501
3508 P1=SQRT(1.-NP1/NM2)
P2=SQRT(1.-NN/NM2)
P3=SQRT(1.-N2/NM2)
Q1=2.*NM2*M*G1*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.)
Q2=4.*NM2*M*G1*(NM2**2/NN**2*(P2-P2**3/3.-P2**5/5.+P2**7/7.)*
Q3=2.*NM2*M*G1*(P3-P2-P3**2+P2**2+P3**3/3.-P2**3/3.)
Q4=PA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3)
GO TO 3502
3512 P1=SQRT(1.-NP1/NM2)
P2=SQRT(1.-N2/NM2)
P3=SQRT(1.-NP2/NM2)
Q1=2.*NM2*M*G1*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.)
Q2=4.*NM2*M*G1*(NM2**2/NN**2*(P2-P2**3/3.-P2**5/5.+P2**7/7.)*
Q3=2.*NM2*M*G1*(P3-P2-P3**2+P2**2+P3**3/3.-P2**3/3.)
Q4=(M-G1*S2)**2*(T2L-2.*NM2*S2/G**2)
Q5=PA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4)
GO TO 3502
3510 P1=SQRT(1.-NP1/NM2)
P2=SQRT(1.-N2/NM2)
Q1=2.*NM2*M*G1*(P2-P1-P2**2+P1**2+P2**3/3.-P1**3/3.)
Q5=PA*IN**2/360.*(Q1+Q1)
GO TO 3502
3514 P1=SQRT(1.-NP1/NM2)
P2=SQRT(1.-N2/NM2)
Q1=2.*NM2*M*G1*(P2-P1-P2**2+P1**2+P2**3/3.-P1**3/3.)
Q2=(M-G1*S2)**2*(T2L-2.*NM2*S2/G**2)
Q5=PA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q1)
GO TO 3502
3513 P3=NM2*(NM2-N6)
P1=SQRT(P3)
PA=NM2*(NM2-N6)
P2=SQRT(P4)
Q56=(P1+P2)**2./G**2
3520 IF(Y1.EQ.1.) GO TO 3521
IF(Y1.EQ.2.) GO TO 3522

```

```

IF(Y1.EQ.3.) GO TO 3523
GO TO 3524
3521 IF(Y3.EQ.10.) GO TO 3525
IF(Y3.EQ.20.) GO TO 3526
IF(Y3.EQ.30.) GO TO 3525
GO TO 3527
3525 WRITE(6,194)
GO TO 5162
3526 P1=SQRT(1.-N1/NM2)
P2=SQRT(1.-N4/NM2)
P3=SQRT(1.-N5/NM2)
P4=SQRT(1.-N6/NM2)
P5=SQRT(1.-N2/NM2)
Q1=2.*NM2*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.)
Q2=2.*NM2*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.+P
13**4-P2**4-P2**5/5.+P3**5/5.-P3**6/3.+P2**7/7.-P3**7/7.)
Q3=2.*NM2*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.+P
12**4-P2**4-P2**5/5.+P4**5/5.-P2**6/3.+P4**6/3.+P2**7/7.-P4**7/7.)
Q4=2.*NM2*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.)
Q=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6)
GO TO 5162
3527 P1=SQRT(1.-N1/NM2)
P2=SQRT(1.-N5/NM2)
P3=SQRT(1.-N6/NM2)
P4=SQRT(1.-N2/NM2)
Q1=2.*NM2*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P1**3/3.+P
12**4-P1**4-P1**5/5.+P2**5/5.-P2**6/3.+P1**7/7.-P2**7/7.)
Q2=2.*NM2*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.+P
14**4-P3**4-P4**5/5.+P3**5/5.-P4**6/3.+P3**6/3.+P4**7/7.-P3**7/7.)
Q=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6)
GO TO 5162
3522 IF(Y3.EQ.10.) GO TO 3523
IF(Y3.EQ.20.) GO TO 3531
IF(Y3.EQ.30.) GO TO 3532
GO TO 3533
3530 WRITE(6,194)
GO TO 5162
3531 P1=SQRT(1.-N1/NM2)
P2=SQRT(1.-N4/NM2)
P3=SQRT(1.-N5/NM2)
P4=SQRT(1.-N6/NM2)
P5=SQRT(1.-N2/NM2)
Q1=2.*NM2*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.)
Q2=2.*NM2*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.+P
13**4-P2**4-P2**5/5.+P3**5/5.-P3**6/3.+P2**7/7.-P3**7/7.)
Q3=2.*NM2*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.+P
12**4-P2**4-P2**5/5.+P4**5/5.-P2**6/3.+P4**6/3.+P2**7/7.-P4**7/7.)
Q4=2.*NM2*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.)
Q5=(M-G1*S2)**2*(T2L-2.*NM2*S2/G**2)
Q=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6)
GO TO 5162
3532 P1=SQRT(1.-N1/NM2)
P2=SQRT(1.-N4/NM2)
P3=SQRT(1.-N5/NM2)
P4=SQRT(1.-N6/NM2)
P5=SQRT(1.-N2/NM2)
Q1=2.*NM2*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.)
Q2=2.*NM2*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.+P
13**4-P2**4-P2**5/5.+P3**5/5.-P3**6/3.+P2**7/7.-P3**7/7.)
Q3=2.*NM2*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.+P
15**4-P4**4-P5**5/5.+P4**5/5.-P5**6/3.+P4**6/3.+P5**7/7.-P4**7/7.)
Q4=(M-G1*S2)**2*(T2L*(NM2*(1.-S2**2/G**2)**3-N1/S2)
Q5=(M-G1*S2)**2*(T2L*(NM2*(1.-S2**2/G**2)*N1/S2)
Q=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6)
GO TO 5162
3533 P1=SQRT(1.-N1/NM2)
P2=SQRT(1.-N4/NM2)
P3=SQRT(1.-N5/NM2)
P4=SQRT(1.-N6/NM2)
P5=SQRT(1.-N2/NM2)
Q1=2.*NM2*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.+P
13**4-P1**4-P1**5/5.+P2**5/5.-P2**6/3.+P1**7/7.-P2**7/7.)
Q2=2.*NM2*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.+P
14**4-P3**4-P4**5/5.+P3**5/5.-P4**6/3.+P3**6/3.+P4**7/7.-P3**7/7.)
Q3=(NM2*(1.-S2**2/G**2)**2*(NM2**3*(1.-S2**2/G**2)**3-N1/S2)
Q4=(M-G1*S2)**2*(T2L*(NM2*(1.-S2**2/G**2)**3-N1/S2)
Q5=(M-G1*S2)**2*(T2L*(NM2*(1.-S2**2/G**2)**3-N1/S2)
Q=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6)
GO TO 5162

```

```

IF(Y3.EQ.200.* GO TO 3541
IF(Y3.EQ.300.) GO TO 3542
GO TO 3543
3540 WRITE(5,1) GA#
GO TO 3542
3541 P1=SQRT(1.-N1/NM2)
P2=SQRT(1.-N2/NM2)
P3=SQRT(1.-N3/NM2)
P4=SQRT(1.-N4/NM2)
P5=SQRT(1.-N2/NM2)
Q1=(M+G1*S1)*2*((NM2*(1+S1**2/G**2)-N1)/S1-2.*NM2*S1/G**2)
Q2=2.*NM2*M*G1*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.)
Q3=2.*NM2*M*G1*NM2**2/NN**2*(P2-P3-P3**2+P2**2-P2**3/3.+P3**3/3.+P
13**4-P2**4-P2**5/5.+P3**5/5.-P3**6/3.+P2**6/3.+P2**7/7.-P3**7/7.)
Q4=2.*NM2*M*G1*NM2**2/NN**2*(P2-P4-P2**2+P4**2-P2**3/3.+P4**3/3.+P
12**4-P4**4-P2**5/5.+P4**5/5.-P2**6/3.+P4**6/3.+P2**7/7.-P4**7/7.)
Q5=2.*NM2*M*G1*(P5-P2-P5**2+P2**2+P5**3/3.-P2**3/3.)
Q=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q56)
GO TO 3542
3542 P1=SQRT(1.-N1/NM2)
P2=SQRT(1.-N5/NM2)
P3=SQRT(1.-N6/NM2)
P4=SQRT(1.-N7/NM2)
P5=SQRT(1.-N2/NM2)
Q1=(M+G1*S1)*2*((NM2*(1+S1**2/G**2)-N1)/S1-2.*NM2*S1/G**2)
Q2=(M+G1*S1)*2/(3.*S1*NM**2)*(NM2**3*(1.-S1**2/G**2)**3-NM**3)
Q3=2.*NM2*M*G1*NM2**2/NN**2*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.+P2**3/3.+P
12**4-P1**4-P1**5/5.+P2**5/5.-P2**6/3.+P1**6/3.+P1**7/7.-P2**7/7.)
Q4=2.*NM2*M*G1*NM2**2/NN**2*(P3-P3-P3**2-P3**2-P3**3/3.+P3**3/3.+P
14**4-P3**4-P4**5/5.+P3**5/5.-P4**6/3.+P3**6/3.+P4**7/7.-P3**7/7.)
Q5=2.*NM2*M*G1*(P5-P4-P5**2+P4**2+P5**3/3.-P4**3/3.)
Q=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q56)
GO TO 3543
3543 P1=SQRT(1.-N1/NM2)
P2=SQRT(1.-N6/NM2)
P3=SQRT(1.-N6/NM2)
P4=SQRT(1.-N2/NM2)
Q1=(M+G1*S1)*2/(3.*S1*NM**2)*(NM2**3*(1.-S1**2/G**2)**3-NM**3)
Q2=2.*NM2*M*G1*NM2**2/NN**2*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.+P2**3/3.+P
12**4-P1**4-P1**5/5.+P2**5/5.-P2**6/3.+P1**6/3.+P1**7/7.-P2**7/7.)
Q3=2.*NM2*M*G1*NM2**2/NN**2*(P3-P3-P3**2-P3**2-P3**3/3.+P3**3/3.+P
14**4-P3**4-P4**5/5.+P3**5/5.-P4**6/3.+P3**6/3.+P4**7/7.-P3**7/7.)
Q5=2.*NM2*M*G1*(P5-P4-P5**2+P4**2+P5**3/3.-P4**3/3.)
Q=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q5+Q56)
GO TO 3542
3524 IF(Y3.EQ.100.) GO TO 3550
IF(Y3.EQ.200.*) GO TO 3551
IF(Y3.EQ.300.) GO TO 3552
GO TO 3553
3550 WRITE(5,1) GA#
GO TO 3542
3551 P1=SQRT(1.-N1/NM2)
P2=SQRT(1.-N2/NM2)
P3=SQRT(1.-N3/NM2)
P4=SQRT(1.-N4/NM2)
P5=SQRT(1.-N2/NM2)
Q1=(M+G1*S1)*2*((NM2*(1+S1**2/G**2)-N1)/S1-2.*NM2*S1/G**2)
Q2=(M+G1*S2)*2*((NM2*(1+S2**2/G**2)-N1)/S2-2.*NM2*S2/G**2)
Q3=2.*NM2*M*G1*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.)
Q4=2.*NM2*M*G1*(P3-P2-P5**2+P2**2+P5**3/3.-P2**3/3.)
Q5=2.*NM2*M*G1*NM2**2/NN**2*(P2-P3-P3**2+P2**2-P2**3/3.+P3**3/3.+P
13**4-P2**4-P2**5/5.+P3**5/5.-P3**6/3.+P2**6/3.+P2**7/7.-P3**7/7.)
Q6=2.*NM2*M*G1*NM2**2/NN**2*(P2-P4-P2**2+P4**2-P2**3/3.+P4**3/3.+P
12**4-P4**4-P2**5/5.+P4**5/5.-P2**6/3.+P4**6/3.+P2**7/7.-P4**7/7.)
Q=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q56)
GO TO 3542
3552 P1=SQRT(1.-N1/NM2)
P2=SQRT(1.-N5/NM2)
P3=SQRT(1.-N6/NM2)
P4=SQRT(1.-N2/NM2)
Q1=(M+G1*S1)*2*((NM2*(1+S1**2/G**2)-N1)/S1-2.*NM2*S1/G**2)
Q2=(M+G1*S2)*2/(3.*S1*NM**2)*(NM2**3*(1.-S1**2/G**2)**3-NM**3)
Q3=(M+G1*S2)*2/(3.*S2*NM**2)*(NM2**3*(1.-S2**2/G**2)**3-NM**3)
Q4=2.*NM2*M*G1*NM2**2/NN**2*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.+P2**3/3.+P
12**4-P1**4-P1**5/5.+P2**5/5.-P2**6/3.+P1**6/3.+P1**7/7.-P2**7/7.)
Q5=2.*NM2*M*G1*NM2**2/NN**2*(P3-P3-P3**2-P3**2-P3**3/3.+P3**3/3.+P
14**4-P3**4-P4**5/5.+P3**5/5.-P4**6/3.+P3**6/3.+P4**7/7.-P3**7/7.)
Q6=2.*NM2*M*G1*(P5-P4-P5**2+P4**2+P5**3/3.-P4**3/3.)
Q=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q56)

```

```

239 GO TO 5162
240 3553 P1=SQRT(1.-NP1/NM2)
241 P2=SQRT(1.-N5/NM2)
242 P3=SQRT(1.-N4/NM2)
243 P4=SQRT(1.-NP2/NM2)
244 Q3=2.*NM2*M/G1*(NM2**2/NN**2*(P1-P2-P2**2+P1**2-P1**3/3.+P2**3/3.+P
12**4-P1**4-F1**5/5.+P2**5/5.-P2**5/3.+P1**6/3.+P1**7/7.-P2**7/7.)
Q4=2.*NM2*M/G1*(NM2**2/NN**2*(P4-P3-P4**2+P3**2-P4**3/3.+P3**3/3.+P
1A**4-P3**4-P4**5/5.+P3**5/5.-P4**6/3.+P3**6/3.+P4**7/7.-P3**7/7.)
Q1=(M+G1*S1)**2/(3.*S1*NN**2)*(NM2**3*(1.-S1**2/G**2)**3-N1**3)
Q2=(M-G1*S2)**2/(3.*S2*NN**2)*(NM2**3*(1.-S2**2/G**2)**3-(NM2*(1.+
1S2**2/G**2)-S2*T2L)**3)
Q=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q56)
GO TO 5162
247 3554 NP3=NM2*F/M*(2.-F/M)
248 IF(NN.LE.NP3) GO TO 3561
249 IF(NN.LT.N5) GO TO 3563
250 3561 WRITE(6,1194)
251 GO TO 5162
252 3560 P3=NM2*(NM2-N6)
253 P1=SQRT(P3)
254 P4=NM2*(NM2-N5)
255 P2=SQRT(P4)
256 Q56=(P1+P2)**2./G*F**2
257 P1=(NM2*(1.+(F/M-1)**2)-N1)/((F-M)/G1)
258 QL=F**2*(P1-2.*NM2*G1*(F-M))
259 IF(Y1.F.1.) GO TO 3562
260 IF((Y1.F.2.).OR.(Y1.EQ.4.)) GO TO 3563
261 WRITE(6,1194)
262 GO TO 5162
263 3562 P1=SQRT(1.-NP1/NM2)
264 P2=SQRT(1.-NN/NM2)
265 P3=SQRT(1.-N5/NM2)
266 P4=SQRT(1.-N3/NM2)
267 P5=SQRT(1.-N2/NM2)
268 Q1=2.*NM2*M/G1*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.)
269 Q2=2.*NM2*M/G1*(P5-P2-P5**2+P2**2+P5**3/3.-P2**3/3.)
270 Q3=2.*NM2*M/G1*(NM2**2/NN**2*(P2-P3-P3**2+P2**2-P2**3/3.+P3**3/3.+
13**4-P2**4-P2**5/5.+P3**5/5.-P2**6/3.+P2**6/3.+P2**7/7.-P3**7/7.)
Q4=2.*NM2*M/G1*(NM2**2/NN**2*(P2-P4-P4**2+P4**2-P2**3/3.+P4**3/3.+
12**4-P4**4-P2**5/5.+P4**5/5.-P2**6/3.+P4**6/3.+P2**7/7.-P4**7/7.*
Q=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4+QL+Q56)
GO TO 5162
271 3563 IF(Y3.EQ.1.) GO TO 3564
272 IF(Y3.EQ.2.) GO TO 3565
273 IF(Y3.EQ.3.) GO TO 3566
274 3564 WRITE(6,1194)
275 GO TO 5162
276 3565 P1=SQRT(1.-NP1/NM2)
277 P2=SQRT(1.-NN/NM2)
278 P3=SQRT(1.-N5/NM2)
279 P4=SQRT(1.-N3/NM2)
280 P5=SQRT(1.-NP2/NM2)
281 Q1=2.*NM2*M/G1*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.)
282 Q2=2.*NM2*M/G1*(NM2**2/NN**2*(P2-P3-P3**2+P2**2-P2**3/3.+P3**3/3.+
13**4-P2**4-P2**5/5.+P3**5/5.-P2**6/3.+P2**6/3.+P2**7/7.-P3**7/7.)
Q3=2.*NM2*M/G1*(NM2**2/NN**2*(P2-P4-P4**2+P4**2-P2**3/3.+P4**3/3.+P
1A**4-P4**4-P2**5/5.+P4**5/5.-P2**6/3.+P4**6/3.+P2**7/7.-P4**7/7.)
Q4=2.*NM2*M/G1*(P5-P2-P5**2+P2**2+P5**3/3.-P2**3/3.*
Q5=(M-G1*S2)*(T2L-2.*NM2*S2/G**2)
Q=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q56+QL)
GO TO 5162
283 3566 P1=SQRT(1.-NP1/NM2)
284 P2=SQRT(1.-NN/NM2)
285 P3=SQRT(1.-N5/NM2)
286 P4=SQRT(1.-N3/NM2)
287 P5=SQRT(1.-NP2/NM2)
288 Q1=2.*NM2*M/G1*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.*
Q2=2.*NM2*M/G1*(NM2**2/NN**2*(P2-P3-P3**2+P2**2-P2**3/3.+P3**3/3.+P3
1-P2**4-P2**5/5.+P3**5/5.-P2**6/3.+P2**6/3.+P2**7/7.-P3**7/7.)
Q3=2.*NM2*M/G1*(NM2**2/NN**2*(P5-P4-P4**2+P4**2-P5**3/3.+P4**3/3.+
15**4-P4**4-P2**5/5.+P4**5/5.-P5**6/3.+P4**6/3.+P5**7/7.-P4**7/7.)
Q4=(M-G1*S2)**2/(3.*S2*NN**2)*(NM2**3*(1.-S2**2/G**2)-NN**3)
Q5=(M-G1*S2)**2*(T2L-(NM2*(1.+S2**2/G**2)-NN*/S2)
Q=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q56+QL)
GO TO 5162
289 3565 QL=F**2*G1*(NN-N1)/(F-M)*
P1=(NM2*(1.+(F/M-1)**2)-NN)/((F-M)/G1)

```



```

314 P5=NM2*(NM2-N6)
315 P2=SQRT(P5)
316 QNG=(2./G*(P2+P1))*F**2
317 IF(Y2.EQ.1.) GO TO 3571
318 IF((Y1.EQ.2.) .OR. (Y1.EQ.4.)) GO TO 3571
319 WRITE(6,194)
320 GO TO 5362
321
322 3570 P1=SQRT(1.-N6/NM2)
323 P2=SQRT(1.-NN/NM2)
324 P3=SQRT(1.-N2/NM2)
325 Q1=2.*NM2*M*G1*NM2**2/NN**2*(P2-P1-P2**2+P1**2-P2**3/3.+P1**3/3.+P
326 12**4-P1**4-P2**5/5.+P1**5/5.-P2**6/3.+P1**6/3.+P2**7/7.-P1**7/7.)
327 Q2=2.*NM2*M*G1*(P3-P2-P3**2+P2**2+P3**3/3.-P2**3/3.*
328 Q=FA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q3+QL+QN6)
329 GO TO 5362
330
331 3571 IF(Y3.EQ.200.) GO TO 3573
332 IF(Y3.EQ.300.) GO TO 3574
333 WRITE(6,194)
334 GO TO 5362
335
336 3573 P1=SQRT(1.-N6/NM2)
337 P2=SQRT(1.-NN/NM2)
338 P3=SQRT(1.-NP2/NM2)
339 Q1=2.*NM2*M*G1*NM2**2/NN**2*(P2-P1-P2**2+P1**2-P2**3/3.+P1**3/3.+P
340 12**4-P1**4-P2**5/5.+P1**5/5.-P2**6/3.+P1**6/3.+P2**7/7.-P1**7/7.)
341 Q2=2.*NM2*M*G1*(P3-P2-P3**2+P2**2+P3**3/3.-P2**3/3.*
342 Q3=(M-G1*S2)**2*(T2L=2.*NM2*S2/G**2)
343 Q=FA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q3+QL+QN6)
344 GO TO 5362
345
346 3574 P1=SQRT(1.-N6/NM2)
347 P2=SQRT(1.-NP2/NM2)
348 Q1=2.*NM2*M*G1*NM2**2/NN**2*(P2-P1-P2**2+P1**2-P2**3/3.+P1**3/3.+P
349 12**4-P1**4-P2**5/5.+P1**5/5.-P2**6/3.+P1**6/3.+P2**7/7.-P1**7/7.)
350 Q2=(M-G1*S2)**2*(3.*S2*NN**2)*(NM2**3*(1.-S2**2/G**2)-NN**3)
351 Q3=(M-G1*S2)**2*(T2L=(N42*(1.+S2**2/G**2)-NN*/S2*
352 Q=FA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q3+QL+QN6)
353 CONTINUE
354 RETURN
355 END

```

EFFECT* NAME= MAIN,OPT=01,LINECNT=30,SIZE=0000K,

IN EFFECT* SOURCE,IBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

ICSA SOURCE STATEMENTS = 351 ,PROGRAM SIZE = 25888

ICSB NO DIAGNOSTICS GENERATED

NO OF COMPILATION *****
1.8 (JUN 74)

OS/360 FORTRAN H

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=01,LINECNT=30,SIZE=0000K,
SOURCE,IBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

```

2 SUBROUTINE SUB12 (Y3,N1,NM3,NN,N6,N7,N2,M,G1,SA,IN,Q07,Q)
3 REAL N2,N2,N1,NM,NP,NN,L,IN,M,I
4 REAL NM1,NM2,NM3,IL,TUMAX,IFMAX,NN,NL,NP1,NP2
5 REAL NA,NC,PC,NS,N5,N7,NPL
6 194 FORMAT(1X,'CAZ FARA SENS PRACTIC')
7 IF(Y3.EQ.200.)# GO TO 3652
8 IF(Y3.EQ.300.) GO TO 3653
9 WRITE(6,194)
10 GO TO 5362
11
12 3652 P1=SQRT(1.-N1/NM3)
13 P2=SQRT(1.-NN/NM3)
14 P3=SQRT(1.-N5/NM3)
15 P4=SQRT(1.-N7/NM3)
16 P5=SQRT(1.-N2/NM3)
17 Q1=2.*NM3*M*G1*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.)
18 Q2=2.*NM3*M*G1*(P5-P2-P3**2+P2**2+P3**3/3.-P2**3/3.)
19 Q3=2.*NM3*M*G1*NM3**2/NN**2*(P2-P3-P3**2+P2**2-P2**3/3.+P3**3/3.+P
20 13**4-P2**4-P2**5/5.+P3**5/5.-P3**6/3.+P2**6/3.+P2**7/7.-P3**7/7.)
21 Q4=2.*NM3*M*G1*NM3**2/NN**2*(P2-P4-P4**2+P1**2-P2**3/3.+P1**3/3.+P
22 12**4-P4**4-P2**5/5.+P4**5/5.-P2**6/3.+P4**6/3.+P4**7/7.-P4**7/7.)
23 Q=FA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q07)
24 GO TO 5362
25
26 3653 P2=SQRT(1.-N1/NM3)
27 P3=SQRT(1.-N5/NM3)
28 P4=SQRT(1.-N7/NM3)
29 P5=SQRT(1.-N2/NM3)
30 Q1=2.*NM3*M*G1*NM3**2/NN**2*(P2-P3-P3**2+P2**2-P2**3/3.+P3**3/3.+P
31 13**4-P2**4-P2**5/5.+P3**5/5.-P3**6/3.+P2**6/3.+P2**7/7.-P3**7/7.)
32 Q2=2.*NM3*M*G1*NM3**2/NN**2*(P5-P4-P5**2+P4**2-P5**3/3.+P4**3/3.+P
33 13**4-P4**4-P5**5/5.+P4**5/5.-P5**6/3.+P4**6/3.+P5**7/7.-P4**7/7.)
34 Q=FA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q57)
35 5364 CONTINUE
36 RETURN
37 END

```

IN EFFECT# SOURCE, EBCDIC, NCLIST, NODACK, LOAD, NOMAP, NODIT, NOID, NOXREF
 CS SOURCE STATEMENTS = 32 , PROGRAM SIZE = 2838
 CS NO DIAGNOSTICS GENERATED
 OF COMPILATION ***** 119K BYTES OF CODE

1.9 (JUN 74)

OS/360 FORTRAN H

```

COMPILER OPTIONS = NAME= MAIN, OPT=0, LINECNT=0, SIZE=0, JOK,
SOURCE, EBCDIC, NCLIST, NODACK, LOAD, NOMAP, NODIT, NOID, NOXREF
2 SUBROUTINE SUB13 (NM3, S2, G, N2, Y3, N1, NN, N6, N7, NP2, M, G1, FA, IN, Q)
3 REAL M2, N2, N1, NM, NP, NN, L, IN, M, I
4 REAL NM1, NP2, NM3, IL, IUMAX, IFMAX, NN, NL, NP1, NP2
5 REAL NA, N3, NC, N5, N6, N7, NP
6 1394 FORMAT(1X, '07 FARM SENS PRACTIC')
7 P1=NM3/S2*(1.+S2**2/G**2)
8 P2=4.*NM3**2*S2/G**2*((1.-S2**2/G**2)/S2+S2/G**2)
9 P3=4.*NM3**2/(S2**2*(SQRT(1.-N2/NM3**2)-S2/G**2))
10 P4=4.*NM3**2/(3.*S2**2*(SQRT((1.-N2/NM3)**3)-S2**3/G**3))
11 T2L=P1-SQRT(P1**2-P2-P3+P4)
12 IF(Y3.EQ.1) GO TO 3621
13 IF(Y3.EQ.2) GO TO 3622
14 IF(Y3.EQ.3) GO TO 3623
15 GO TO 3624
16 3621 WRITE(0,1394)
17 GO TO 5165
18 3622 P1=SQRT(1.-N1/NM3)
19 P2=SQRT(1.-NN/NM3)
20 P3=SQRT(1.-N6/NM3)
21 P4=SQRT(1.-N7/NM3)
22 P5=SQRT(1.-NP2/NM3)
23 Q1=2.*NM3**2*G1*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.)
24 Q2=2.*NM3**2*G1*NM3**2/NN**2*(P2-P3-P3**2+P2**2+P2**3/3.+P3**3/3.+P
25 13**4-P2**4-P2**5/5.+P3**5/5.-P2**6/3.+P2**7/7.-P3**7/7.)
26 Q3=2.*NM3**2*G1*NM3**2/NN**2*(P2-P4-P2**2+P4**2-P2**3/3.+P4**3/3.+P
27 12**4-P2**4-P2**5/5.+P4**5/5.-P2**6/3.+P4**6/3.+P2**7/7.-P4**7/7.)
28 Q4=2.*NM3**2*G1*(P5-P2-P5**2+P2**2+P5**3/3.-P2**3/3.)
29 Q5=(M-G1*S2)**2*(T2L-2.*NM3*S2/G**2)
30 Q6=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6)
31 GO TO 5165
32 3623 P1=SQRT(1.-N1/NM3)
33 P2=SQRT(1.-NN/NM3)
34 P3=SQRT(1.-N6/NM3)
35 P4=SQRT(1.-N7/NM3)
36 P5=SQRT(1.-NP2/NM3)
37 Q1=2.*NM3**2*G1*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.)
38 Q2=2.*NM3**2*G1*NM3**2/NN**2*(P2-P3-P3**2+P2**2+P2**3/3.+P3**3/3.+P
39 13**4-P2**4-P2**5/5.+P3**5/5.-P2**6/3.+P2**7/7.-P3**7/7.)
40 Q3=2.*NM3**2*G1*NM3**2/NN**2*(P5-P2-P5**2+P2**2+P5**3/3.+P2**3/3.+P
41 15**4-P4**4-P4**5/5.+P4**5/5.-P4**6/3.+P4**6/3.+P5**7/7.-P4**7/7.)
42 Q4=(M-G1*S2)**2/(3.*S2*NN**2*(NM3**3*(1.-S2**2/G**2)**3-NN**3)
43 Q5=(M-G1*S2)**2*(T2L-(NM3*(1+S2**2/G**2)-NN)/S2)
44 Q6=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6)
45 GO TO 5165
46 3624 P1=SQRT(1.-N1/NM3)
47 P2=SQRT(1.-N6/NM3)
48 P3=SQRT(1.-N7/NM3)
49 P4=SQRT(1.-NP2/NM3)
50 Q1=2.*NM3**2*G1*NM3**2/NN**2*(P1-P2-P2**2+P1**2-P1**3/3.+P2**3/3.+P
51 12**4-P1**4-P1**5/5.+P2**5/5.-P2**6/3.+P1**6/3.-P1**7/7.+P2**7/7.)
52 Q2=2.*NM3**2*G1*NM3**2/NN**2*(P2-P3-P3**2+P3**2-P4**3/3.+P3**3/3.+P
53 14**4-P3**4-P4**5/5.+P3**5/5.-P4**6/3.+P3**6/3.+P4**7/7.-P3**7/7.)
54 Q3=(M-G1*S2)**2/(3.*S2*NN**2*(NM3**3*(1.-S2**2/G**2)**3-(NM3*(1.+S2**
55 12/G**2)-S2*T2L)**3)
56 Q6=FA*IN**2/360.*(Q1+Q2+Q3+Q6)
57 5365 CONTINUE
58 RETURN
59 END

```

IN EFFECT# NAME= MAIN, OPT=0, LINECNT=0, SIZE=0, JOK,
 IN EFFECT# SOURCE, EBCDIC, NCLIST, NODACK, LOAD, NOMAP, NODIT, NOID, NOXREF
 CS SOURCE STATEMENTS = 54 , PROGRAM SIZE = 5152
 CS NO DIAGNOSTICS GENERATED
 OF COMPILATION ***** 117K BYTES OF CODE

.8 (JUN 74)

OS/360 FORTRAN H

```

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=90,SIZE=3000K,
SOURCE,EBODIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOIC,NOXREF
SUBROUTINE SUB14 (Y3,NP1,NM3,NN,N6,N7,N2,S1,G,N1,M,G1,PA,IN,Q*)
REAL M2,N2,N1,NM,NN,L,IN,M,1
REAL NM1,NM2,NM3,IL,IUMAX,IFMAX,NN,NL,NP1,NP2
REAL NA,NB,NC,N5,N6,N7,NPJ
1094 FORMAT(1X,'CAZ FARA SENS PRACTIC')
IF(Y3.EQ.100.) GO TO 3641
IF(Y3.EQ.200.) GO TO 3642
IF(Y3.EQ.300.) GO TO 3643
GO TO 3666
3641 WRITE(5,1094)
GO TO 5066
3642 P1=SQRT(1.-NP1/NM3)
P2=SQRT(1.-NN/NM3)
P3=SQRT(1.-N6/NM3)
P4=SQRT(1.-N7/NM3)
P5=SQRT(1.-N2/NM3)
P6=(NM3*(1.+S1**2/G**2-N1))/S1
Q1=(M+G1*S1)**2*(P6-2.*NM3*S1/G**2)
Q2=2.*NM3*M*G1*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.+P
13**4-P2**4-P2**5/5.+P3**5/5.-P3**6/3.+P2**6/3.+P2**7/7.-P3**7/7.)
Q3=2.*NM3*M*G1*NM3**2/NN**2*(P2-P3-P3**2+P2**2-P2**3/3.+P3**3/3.+P
12**4-P1**4-P1**5/5.+P2**5/5.-P2**6/3.+P1**6/3.+P1**7/7.-P2**7/7.)
Q4=2.*NM3*M*G1*NM3**2/NN**2*(P4-P3-P3**2+P3**2-P4**3/3.+P3**3/3.+P
14**4-P3**4-P4**5/5.+P3**5/5.-P4**6/3.+P3**6/3.+P4**7/7.-P3**7/7.)
Q5=2.*NM3*M*G1*(P5-P2-P5**2+P2**2+P5**3/3.-P2**3/3.)
Q=PA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q67*
GO TO 5066
3643 P1=SQRT(1.-NP1/NM3)
P2=SQRT(1.-N6/NM3)
P3=SQRT(1.-N7/NM3)
P4=SQRT(1.-NN/NM3)
P5=SQRT(1.-N2/NM3)
P6=NM3**3*(1.-S1**2/G**2)**3-N1**3
Q1=(M+G1*S1)**2*(NN-N1)/S1
Q2=(M+G1*S1)**2/(3.*S1*NN**2*(P6-NN**3*
12**4-P1**4-P1**5/5.+P2**5/5.-P2**6/3.+P1**6/3.+P1**7/7.-P2**7/7.)
Q3=2.*NM3*M*G1*NM3**2/NN**2*(P4-P3-P3**2+P3**2-P4**3/3.+P3**3/3.+P
14**4-P3**4-P4**5/5.+P3**5/5.-P4**6/3.+P3**6/3.+P4**7/7.-P3**7/7.)
Q5=2.*NM3*M*G1*(P5-P4-P5**2+P4**2+P5**3/3.-P4**3/3.)
Q=PA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q67*
GO TO 5066
3644 P1=SQRT(1.-NP1/NM3)
P2=SQRT(1.-N6/NM3)
P3=SQRT(1.-N7/NM3)
P4=SQRT(1.-NN/NM3)
P5=NM3**3*(1.-S1**2/G**2)**3-N1**3
Q1=(M+G1*S1)**3*P5/(3.*S1*NN**2)
Q2=2.*NM3*M*G1*NM3**2/NN**2*(P1-P2-P2**2+P1**2-P1**3/3.+P2**3/3.+P
12**4-P1**4-P1**5/5.+P2**5/5.-P2**6/3.+P1**6/3.+P1**7/7.-P2**7/7.*
Q3=2.*NM3*M*G1*NM3**2/NN**2*(P4-P3-P3**2+P3**2-P4**3/3.+P3**3/3.+P
14**4-P3**4-P4**5/5.+P3**5/5.-P4**6/3.+P3**6/3.+P4**7/7.-P3**7/7.)
Q=PA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q3+Q67*
5066 CONTINUE
RETURN
END

```

S IN EFFECT*

NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=90,SIZE=3000K,

S IN EFFECT*

SOURCE,EBODIC,NOLIST,NODECK,LOAD,NOMAP,NOEDIT,NOIC,NOXREF

LCS*

SOURCE STATEMENTS = 52 , PROGRAM SIZE = 4610

TICS*

NO DIAGNOSTICS GENERATED

END OF COMPILATION *****

111K BYTES OF CU

* 30

JUN 74 *

GS/360 FORTRAN H

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=80,SIZE=)000K,

SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NUDECK,LOAD,NUMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

SUBROUTINE SUB15 (NM3,S2,G,Y3,NP1,NN,N6,N7,NP2,M,G1,RA,IN,S1,N1,Q)

REAL M2,N2,N1,NM,NP,NN,L,IN,M,I

REAL NM1,NM2,NM3,IL,IUMAX,IFMAX,NN,NL,NP1,NP2

REAL NA,NB,NC,N5,N6,N7,NP

1094 FORMAT(IX,1CAZ FARA SENS PRACTIC*)

P1=NM3/S2*(1.+S2**2/G**2)

P2=4.*NM3**2*S2/G**2*((1.-S2**2/G**2)/S2+S2/G**2)

P3=4.*NM3**2/(S2*G)*(SQRT(1.-N2/NM3)-S2/G)

P4=4.*NM3**2/(3.*S2*G)*(SQRT((1.-N2/NM3)**3)-S2**3/G**3)

T2L=P1-SQRT(P1**2-P2-P3+P4)

IF(Y3.EQ.10) GO TO 3551

IF(Y3.EQ.20) GO TO 3662

IF(Y3.EQ.30) GO TO 3663

GO TO 3664

3661 WRITE(6,1094)

GO TO 3667

3552 P1=SQRT(1.-NP1/NM3)

P2=SQRT(1.-NN/NM3)

P3=SQRT(1.-N6/NM3)

P4=SQRT(1.-N7/NM3)

P5=SQRT(1.-NP2/NM3)

Q2=2.*NM3**2*G1*(P1-P2-P2**2+P1**2+P1**3/3.-P2**3/3.)

Q3=2.*NM3**2*G1*NM3**2/NN**2*(P2-P3-P3**2+P2**2-P2**3/3.+P3**3/3.+P

13**4-P2**4-P2**5/5.+P3**5/5.-P3**6/3.+P2**5/3.+P2**7/7.-P3**7/7.)

Q4=2.*NM3**2*G1*NM3**2/NN**2*(P2-P4-P2**2+P4**2-P2**3/3.+P4**3/3.+P

12**4-P2**4-P2**5/5.+P4**5/5.-P2**6/3.+P4**6/3.+P2**7/7.-P4**7/7.)

Q5=2.*NM3**2*G1*(P5-P2-P5**2+P2**2+P5**3/3.-P2**3/3.)

Q1=(M+G1*S1)**2*((NM3*(1.+S1**2/G**2)-N1)/S1-2.*NM3*S1/G**2)

Q6=(M-G1*S2)**2*(T2L-2.*NM3*S2/G**2)

Q=FA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q67)

GO TO 5067

3663 P1=SQRT(1.-NP1/NM2)

P2=SQRT(1.-N6/NM3)

P3=SQRT(1.-N7/NM3)

P4=SQRT(1.-NP2/NM3)

Q1=(M+G1*S1)**2*((NM3*(1.+S1**2/G**2)-N1)/S1

Q2=(M+G1*S1)**2/(3.*S1*NN**2)*(NM3**3*(1.-S1**2/G**2)+3.*NN**3)

Q5=(M-G1*S2)**2/(3.*S2*NN**2)*(NM3**3*(1.-S2**2/G**2)+3.*NN**3)

Q6=(M-G1*S2)**2/(3.*S2*NN**2)*(T2L*(NM3*(1.+S2**2/G**2)-N1)/S2

Q3=2.*NM3**2*G1*NM3**2/NN**2*(P1-P2-P2**2+P1**2-P1**3/3.+P2**3/3.+P

12**4-P1**4-P1**5/5.+P2**5/5.-P2**6/3.+P1**6/3.+P1**7/7.-P2**7/7.)

Q4=2.*NM3**2*G1*NM3**2/NN**2*(P4-P3-P4**2+P3**2-P4**3/3.+P3**3/3.+P

14**4-P3**4-P4**5/5.+P3**5/5.-P4**6/3.+P3**6/3.+P4**7/7.-P3**7/7.)

Q=FA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q67)

GO TO 5067

3664 P1=SQRT(1.-NP1/NM3)

P2=SQRT(1.-N6/NM3)

P3=SQRT(1.-N7/NM3)

P4=SQRT(1.-NP2/NM3)

Q2=2.*NM3**2*G1*NM3**2/NN**2*(P1-P2-P2**2+P1**2-P1**3/3.+P2**3/3.+P

12**4-P1**4-P1**5/5.+P2**5/5.-P2**6/3.+P1**6/3.+P1**7/7.-P2**7/7.)

Q3=2.*NM3**2*G1*NM3**2/NN**2*(P4-P3-P4**2+P3**2-P4**3/3.+P3**3/3.+P

14**4-P3**4-P4**5/5.+P3**5/5.-P4**6/3.+P3**6/3.+P4**7/7.-P3**7/7.)

P5=NM3**3*(1.-S1**2/G**2)**3

P6=(M+G1*S1)**2/(3.*S1*NN**2)

Q1=P6*(P5-N1**3)

P7=(M-G1*S2)**2/(3.*S2*NN**2)

P8=NM3**3*(1.-S2**2/G**2)**3

P9=NM3*(1.+S2**2/G**2)

Q4=P7*(P8-(P9-S2*T2L)**3)

Q=FA*IN**2/3600.*(Q1+Q2+Q3+Q4+Q67)

5067 CONTINUE

RETURN

END

IN EFFECT* NAME= MAIN,OPT=00,LINECNT=80,SIZE=)000K,

IN EFFECT* SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NUDECK,LOAD,NUMAP,NOEDIT,NOID,NOXREF

IN EFFECT* SOURCE STATEMENTS = 61, PROGRAM SIZE = 5592

IN EFFECT* NO DIAGNOSTICS GENERATED

IN EFFECT* NO OF COMPILATION *****

107K BYTES OF CO

IN EFFECT* NO DIAGNOSTICS THIS STEP

TIMPUL DE LAMINARE OPTIM = 3.56
PIERDERILE DE ENERGIE SINT DE 2.667 KWH
TURATTA MAXIMA LA LIMITAREA DE ACCELERATIE = 79.23
TIMPUL DE LAMINARE CU LIMITARI T = 6.811
PIERDERILE DE ENERGIE CU LIMITARI = 4.663 KWH
INDICELE CARACTERISTIC AL LAMINARII Y = 11334.

CALCULUL PARABOLEI OPTIME

TIMPUL DE INCEPUT ESTE = 1.92

TIMPUL DE SFIRSIT ESTE = 1.64

VALORILE PARABOLEI OPTIME IN INTERVALUL CALCULAT

N(T*) =	15.831
N(T) =	23.421
N(T) =	25.746
N(T*) =	30.577
N(T) =	35.313
N(T) =	37.655
N(T*) =	43.751
N(T) =	47.454
N(T) =	50.911
N(T*) =	54.721
N(T) =	56.943
N(T) =	59.516
N(T*) =	61.793
N(T) =	63.791
N(T) =	65.471
N(T*) =	66.365
N(T) =	67.965
N(T) =	68.771
N(T*) =	69.232
N(T) =	69.699
N(T) =	69.421
N(T*) =	69.443
N(T) =	68.331
N(T) =	67.418
N(T*) =	66.152
N(T) =	64.511
N(T) =	62.764
N(T*) =	60.624
N(T) =	58.188
N(T) =	55.458
N(T*) =	52.434
N(T) =	49.115
N(T) =	45.511
N(T*) =	41.582
N(T) =	37.399
N(T) =	32.891
N(T*) =	30.577

LINGOU NECALMAT 8,4 tone

TRCERA	CALIBRU	H [mm]	B [mm]	Δh	Δb	S [cm ²]	λ	L [mm]	α	D ₁ [mm]	P [tf]	Mdef. [tfm]	n ₁ rot/min	n ₂ rot/min	n ₃ rot/min	f _c [mm]	
0		760/830	730/800					2370									
1		720	730/800	40/110		5508	1,1	2583	12	1165	800	155,680	10	30	10	194,6	
2		640	735/805	80	5	4928	1,16	2996	20		950	205,105	10	30	10	215,9	
R		735/805	640			↓											
3		700	640	35/105		4480	1,1	3235	12		860	212,678	15	40	15	247,3	
4		610	670	90	30	4087	1,1	3656	22		860	196,854	15	40	15	228,9	
5		530	695	80	25	3683	1,1	4241	20		860	185,674	15	40	15	215,9	
6		450	720	80	25	3240	1,14	4834	20		820	177,030	15	40	15	215,9	
R		720	450			↓											
7	II	600	485	120	35	2910	1,11	5317	26	1105	775	199,6	10	40	10	257,5	
8		500	510	100	25	2550	1,14	6008	24	↓	730	171,6	10	40	10	235,1	
R		510	500			↓											
9	I	390	525	120	25	2098	1,22	6970	25	1165	730	193,0	20	50	20	264,4	
10	I	330	545	60	20	1831	1,15	8503	18	↓	560	104,7	20	50	20	187,0	
R		545	330			↓											
11	IV	430	355	115	25	1526	1,2	9525	18	1125	600	155,3	20	60	20	258,8	
12	IV	350	370	80	15	1295	1,18	11144	20	↓	472	100,1	20	60	20	212,1	
R		370	350			↓											
13	III	280	380	90	30	1064	1,22	13595	22	1120	520	116,74	20	70	50	224,5	

A N E X A I I

```

10 DIM A(11),B(11)
20 DIM A$(101),B$(120),C$(120)
30 REM*****
40 REM UNIT *
50 REM*****
60 LET B$=""
70 LET C$=""
80 LET L$=""
90 LET I$=""
100 LET P$=""
110 LET D$=""
120 LET O$=""
130 REM*****
140 REM * B U C L A * *****
150 REM*****
160 REM
170 LET K=0
180 LET I=0
190 LET T=.01
200 LET U=10
210 LET T1=0
220 LET T2=0
230 READ N1,L,C,N1,N2
240 PRINT "10'10'10'10'10'10'10'10'10'10'TAB(20)*****"
250 PRINT TAB(20)"*** T R E C E R E A "N1" ***"
260 PRINT TAB(20)"*****"
270 PRINT "10'10'TAB(20)"*** LUNGIMEA RAPORTATA:"L
280 PRINT TAB(20)"*** MOMENTUL RAPORTAT *"C
290 PRINT TAB(20)"*** DURATIA DE PRINDERE:"N1
300 PRINT TAB(20)"*** DURATIA DE IESIRE : "N2
310 LET A=0
320 LET B=0
330 LET C=0
340 LET M=1.25
350 LET C1=.009127
360 LET I1=4
370 LET P=0
380 LET P1=0
390 LET P2=0
400 LET P3=0
410 LET P4=0
420 LET N9=N1
430 LET N5=N9
440 PRINT LIN(5):SPA(20):"C A L C U L U L   T U R A T I E I   O P T I M E "
450 PRINT SPA(20):"*****"
460 PRINT LIN(3)
470 LET P=2*N9 *Y 2/3
480 LET P1=(1-N2/N9) *Y (1/2)
490 LET P2=(1-N1/N9) *Y (1/2)
500 LET P3=(1-N2/N9) *Y (2/2)
510 LET P4=(1-N1/N9) *Y (2/2)
520 LET M2=P*(P1+P2-P3/3-P4/3)
530 LET A=L*M2
540 IF A<0 THEN 670
550 IF A=0 THEN 750
560 IF A<=.01 THEN 750
570 GOTO 590
580 PRINT TAB(15):"TURATIA OPTIMA:"N9:"CU ABATEREA:"A
590 IF J=0 THEN 620
600 LET N5=N9
610 LET N9=N9+N2/11
620 GOTO 470
630 LET M2=M2

```

```

690 GOTO 710
700 PRINT TAB(15)"TURATIA OPTIMA: "N9;"CU ABATEREA: "A
710 LET N9=N5+T/N2
720 LET T=T/10
730 LET U=U*10
740 GOTO 470
750 LET A=A*1000
760 PRINT TAB(15)"*** ULTIMUL PAS:"
770 PRINT '10TAB(32)"TUR. MAX. "N9"ABAT. *1000-"A
780 PRINT LIN(5);SPA(20);" C A L C U L U L   P A R A B O L E I .   O P T I M E
790 PRINT TAB(20)"XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX"
800 LET T1=2*N9/C*(1-N1/N9)*X*(1/2)
810 LET T2=2*N9/C*(1-N2/N9)*X*(1/2)
820 PRINT LIN(2);TAB(15)"*** TIMPUL DE INCEPUT ESTE: "T1
830 PRINT TAB(15)"*** TIMPUL DE SFIRSIT ESTE: "T2
840 PRINT LIN(2);TAB(15)"VALORILE PARABOLEI OPTIME IN INTERVALUL CALCULAT"
850 PRINT LIN(2);TAB(15)"OPTIM";"NORMAT";"TREAPTA"
860 PRINT LIN(1)
870 LET T--T1
880 LET M2=N9-1/(4*N9)*C *X 2*T *X 2
890 LET M3=M2*14/100
900 LET M4=INT(M3)
910 IF (M3-M4)<.5 THEN 930
920 LET M4=M4+1
930 COSUB 1390
940 PRINT TAB(15);M2;M3;M4
950 LET T=T+.1
960 IF T>T2 THEN 980
970 LET M2=N9-1/(4*N9)*C *X 2*T2 *X 2
980 LET M3=M2*14/100
990 LET M4=INT(M3)
1000 IF (M3-M4)<.5 THEN 1020
1010 LET M4=M4+1
1020 COSUB 1390
1030 LET T=2*N9/C*(P1+P2)
1040 PRINT LIN(3);TAB(15)"*** TIMPUL DE LAMINARE OPTIM: "T
1050 COSUB 1120
1060 COSUB 1520
1070 GOTO 170
1080 GOTO 1910
1090 REM
1100 REM-----
1110 REM--- * CAP DRAFIC * ---
1120 REM-----
1130 REM
1140 LET Z#[1:30]"
1150 LET Z#[31:80]"C R A F I C U L   P A R A B O L E I   O P T I M E"
1160 PRINT '10'10'10'10'10Z#[1:80]
1170 FOR J=1 TO 30
1180 LET Z#[J:J]=R#
1190 NEXT J
1200 FOR J=31 TO 80
1210 LET Z#[J:J]=S#
1220 NEXT J
1230 PRINT Z#[1:80]
1240 PRINT LIN(2)
1250 LET Z#[1:15]"
1260 LET Z#[16:116]"0 ,      1      2      3      4      5
1270 PRINT LIN(3);Z#
1280 LET Z#[16:116]"0123456789012345678901234567890123456789012345678901234
1290 PRINT Z#
1300 FOR J=1 TO 101
1310 LET A#[J:J]=L#
1320 NEXT J
1330 RETURN

```

```

1390 LET M2=M1
1400 LET HEK3=INT(M2)
1410 LET HEK3=INT(M3*5)
1420 IF M2-HEK3<.5 THEN 1440
1430 LET HEK3=HEK3+1
1440 IF (M3*5-HEK3)<.5 THEN 1460
1450 LET HEK3=HEK3+1
1460 RETURN
1470 REM
1480 REM-----
1490 REM--- * GRAFIC * -----
1500 REM-----
1510 REM
1520 FOR J1=1 TO K
1530 FOR J=1 TO 101
1540 LET A#EJ:J3=B#
1550 NEXT J
1560 LET F=(J1-1)-10*INT((J1-1)/10)
1570 IF F#0 THEN 1610
1580 FOR J=1 TO 101
1590 LET A#EJ:J3=P#
1600 NEXT J
1610 FOR J=11 TO 101 STEP 10
1620 LET A#EJ:J3=D#
1630 NEXT J
1640 LET A#E1:13=I#
1650 LET A#E#EJ13+1:HEJ13+13=S#
1660 LET A#E#EJ13+1:HEJ13+13=O#
1670 LET Z#E1:153="
1680 FOR J=1 TO 101
1690 LET Z#EJ+15:J+153-A#EJ:J3
1700 NEXT J
1710 CONVERT J1 TO Z#E13:143
1720 PRINT Z#
1730 NEXT J1
1740 RETURN
1750 REM
1760 REM-----
1770 REM--- * BLOC DATE * -----
1780 REM-----
1790 REM
1800 DATA 3:53:189.43:15:15
1810 PRINT TAB(15)*"XXX ULTIMUL PAS:""10TAB(32)"TUR.MAX."N9:"ABATEREA:"^
1820 DATA 5:69.52:165.39:15:15
1830 DATA 6:79.25:157.7:15:15
1840 DATA 7:91.9:177.8:10:10
1850 DATA 8:103.94:152.95:10:10
1860 DATA 9:114.262:171.9:20:20
1870 DATA 10:129.4:93.24:20:20
1880 DATA 11:141.7:138.33:20:20
1890 DATA 12:189.89.16:20:20
1900 DATA 13:231.83:103.99:20:50
1910 END

```

```

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
*** T R E C E R E A 3 ***
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

*** LUNGIMEA RAPORTATA: 53
*** MOMENTUL RAPORTAT : 189.43
*** DURATIA DE PRINDERE: 15
*** DURATIA DE IESIRE : 15

```

```

CALCULUL DURATIEI OPTIME
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

*** ULTIMUL PAS:

TUR.MAX. 62.1007 ABAT.*1000= 9.86481

```

CALCULUL PARABOLEI OPTIME
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

*** TIMPUL DE INCEPUT ESTE: .571009
*** TIMPUL DE SFIRSIT ESTE: .571009

```

VALORILE PARABOLEI OPTIME IN INTERVALUL CALCULAT

OPTIM	NORMAT	TREAPTA
15.	2.1	2
30.0529	4.20739	4
42.2164	5.91029	6
51.4908	7.20972	7
57.8761	8.10266	9
61.3723	8.59212	9
61.9793	8.6771	9
59.6971	8.95759	9
54.5258	7.63361	9
46.4652	6.50514	7
35.5156	4.97219	5
21.6768	3.03475	3

C F A F I C U L P A P A R O L E I O P T I M E

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1										
1.1										
1.2										

Y TUR.OPTIMA SCARA 1:1
 + TUR.NORMATA SCARA 5:1

```

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
*** T R E C E R E A 4 ***
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

*** LUNGIMEA RAPORTATA: 59.9
*** MOMENTUL RAPORTAT : 175.35
*** DURATIA DE PRINDERE: 15
*** DURATIA DE IESIRE : 15

```

```

CALCULUL DURATIEI OPTIME
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

*** ULTIMUL PAS:

TUR.MAX. 63.4853 ABAT.*1000= 7.49207

```

CALCULUL PARABOLEI OPTIME
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

*** TIMPUL DE INCEPUT ESTE: .632799
*** TIMPUL DE SFIRSIT ESTE: .632799

```

VALORILE PARABOLEI OPTIME IN INTERVALUL CALCULAT

OPTIM	NORMAT	TREAPTA
15.	2.099999	2
29.1132	4.07595	4
40.8049	5.71268	6
50.0748	7.01048	7
56.9232	7.96925	8
61.3499	8.59899	9
63.355	8.8697	9
62.9384	8.81138	9
60.1003	8.41404	8
54.8404	7.67766	8
47.159	6.60226	7
37.0559	5.19793	5
24.5312	3.43436	3


```

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
*** T R E C E R E A S ***
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

*** LUNGIMEA RAPORTATA: 69.52
*** MOMENTUL RAPORTAT : 165.39
*** DURATIA DE PRINDERE: 15
*** DURATIA DE IESIRE : 15

```

```

CALCULUL DURATIEI OPTIME
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

*** ULTIMUL PAS:

```

```

TUR.MAX. 66.3607 ABAT.*1000--5.50842

```

```

CALCULUL PARABOLEI OPTIME
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

*** TIMPUL DE INCEPUT ESTE: .705979
*** TIMPUL DE SFIRSIT ESTE: .705979

```

```

VALORILE PARABOLEI OPTIME IN INTERVALUL CALCULAT

```

OPTIM	NORMAT	TREOPTA
15.	2.1	2
28.5197	3.99276	4
39.9794	5.59698	6
49.2761	6.91266	7
56.7129	7.9398	9
61.9886	8.6784	9
65.2033	9.12846	9
66.257	9.28999	9
65.4499	9.16297	9
62.4915	8.74741	9
57.4522	8.04331	8
50.242	7.05048	7
41.2107	5.7695	6
29.9995	4.19979	4
16.7252	2.34153	2

C E F I C U L P A F A E O L E I O P T I M E
 * * * * *

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
1.1										
1.2										
1.3										
1.4										
1.5										

* TUR. OPTIMA SCARA 1:1
 + TUR. NORMATA SCARA 5:1

 *** T R E C E R E A 6 ***

*** LUNGIMEA RAPORTATA: 79.25
 *** MOMENTUL RAPORTAT : 157.7
 *** DURATIA DE PRINDERE: 15
 *** DURATIA DE IESIRE : 15

C A L C U L U L T U R A T I E I O P T I M E

*** ULTIMUL PAS:

TUR.MAX. 69.1207 BEAT.*1000- 5.43213

C A L C U L U L P A R A B O L E I O P T I M E

*** TIMPUL DE INCEPUT ESTE: .775683
 *** TIMPUL DE SFIRSIT ESTE: .775683

VALORILE PARABOLEI OPTIME IN INTERVALUL CALCULAT

OPTIM	NORMAT	TREAPTA
15.	2.1	2
28.0548	3.92768	4
39.3107	5.5035	6
48.7676	6.92747	7
56.4254	7.99958	8
62.2945	8.71993	9
66.3445	9.29823	9
68.6055	9.60477	10
69.0675	9.64946	10
67.7306	9.49229	9
64.5947	9.04225	9
59.6598	8.35227	9
52.9259	7.40963	7
44.3931	6.21502	6
34.0613	4.76858	5
21.9205	3.07027	3

C R A F I C U L F A F A O L E I O P T I M E
 * * * * *

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
1	+	+								
1.1										
1.2										
1.3										
1.4										
1.5										
1.6										

* TUR.OPTIMA SCOREA 1:1
 + TUR.NORMATA SCOREA 5:1

 *** T R E C E R E A 7 ***

*** LUNGIMEA RAPORTATA: 91.9
 *** MOMENTUL RAPORTAT : 177.8
 *** DURATIA DE PRINDERE: 10
 *** DURATIA DE IESIRE : 10

C A L C U L U L T U R A T I E I O P T I M E

*** ULTIMUL PAS:

TUR.MAX. 78.5311 ABAT.*1000=-7.37

C A L C U L U L P A R A B O L E I O P T I M E

*** TIMPUL DE INCEPUT ESTE: .825208
 *** TIMPUL DE SFIRSIT ESTE: .825208

VALORILE PARABOLEI OPTIME IN INTERVALUL CALCULAT

OPTIM	NORMAT	TREAPTA
9.99997	1.4	1
25.603	2.58442	4
39.1933	5.48707	5
50.7709	7.10792	7
60.3356	8.44699	8
67.8977	9.50427	10
73.4269	10.2798	10
76.9534	10.7735	11
78.4672	10.9854	11
77.9682	10.9155	11
75.4564	10.5639	11
70.9319	9.93046	10
64.3946	9.01524	9
55.8445	7.81824	8
45.2817	6.33944	6
32.7062	4.57887	5
18.1179	2.5365	3

C R A F I C U L F A F A B O L E I O F T I M E
 *** ** ** ** **

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890									
0	+	+								
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
1										
1.1										
1.2										
1.3										
1.4										
1.5										
1.6										
1.7										

* TUR.OPTIMA SCARA 1:1
 + TUR.NORMATA SCARA 5:1

```

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXX T R E C E R E A E XXX
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

XXX LUNGIMEA RAPORTATA: 103.84
XXX MOMENTUL RAPORTAT : 152.85
XXX DURATIA DE PRINDERE: 10
XXX DURATIA DE IESIRE : 10

```

```

CALCULUL DURATIEI OPTIME
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

XXX ULTIMUL PAS:

TUR.MAX. = 77.401 ABAT.*1000 = 5.24902

```

CALCULUL PARABOLEI OPTIME
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

XXX TIMPUL DE INCEPUT ESTE: .945086
XXX TIMPUL DE SFIRSIT ESTE: .945086

```

VALORILE PARABOLEI OPTIME IN INTERVALUL CALCULAT

OPTIM	NORMAT	TREAPTA
9.99995	1.39999	1
22.5088	2.29123	3
35.5085	4.97118	5
45.9989	6.42994	6
54.9801	7.69721	8
62.452	8.74329	9
68.4148	9.57807	10
72.8683	10.2016	10
75.8126	10.6138	11
77.2476	10.9147	11
77.1735	10.8042	11
75.5901	10.5826	11
72.4975	10.1496	10
67.8953	9.50529	10
61.7846	8.64984	9
54.1643	7.593	8
45.0349	6.30487	6
34.396	4.81544	5
22.248	2.11472	3

C P A F I C U L F A R A B O L E I O P T I M E
 YYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYY

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1.1											
1.2											
1.3											
1.4											
1.5											
1.6											
1.7											
1.8											
1.9											

Y TUR. OPTIMA SCALA 1:1
 + TUR. NORMATO SCALA 5:1

 *** T R E C E R E A ? ***

*** LUNGIMEA RAPORTATA: 114.263
 *** MOMENTUL RAPORTAT : 171.9
 *** DURATIA DE PRINDERE: 20
 *** DURATIA DE IESIRE : 20

C A L C U L U L T U R A T I E I O P T I M E

*** ULTIMUL PAS:

TUR.MAX. 86.7666 ABAT.*1000= 8.34656

C A L C U L U L P A R A B O L E I O P T I M E

*** TIMPUL DE INCEPUT ESTE: .885543
 *** TIMPUL DE SFIRSIT ESTE: .885543

VALORILE PARABOLEI OPTIME IN INTERVALUL CALCULAT

OPTIM	NORMAT	TREOPTA
20.	2.8	3
34.2279	4.7919	5
46.7529	6.5454	7
57.575	8.0605	8
66.6944	9.32721	9
74.1109	10.3755	10
79.8244	11.1754	11
83.8955	11.737	12
86.1425	12.0601	12
86.7488	12.1448	12
85.6512	11.9912	12
82.8509	11.5991	12
78.3476	10.9687	11
72.1415	10.0998	10
64.2327	8.99257	9
54.6209	7.64693	8
43.3064	6.0629	6
30.2991	4.24047	4

C E F I C U L P A P A E O L E I O P T I M E

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* TUR. OPTIMO SCORE 1:1
 + TUR. NORMATA SCORE 5:1

```

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
*** T R E C E R E A 10 ***
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

*** LUNGIMEA RAPORTATA: 139.4
*** MOMENTUL RAPORTAT : 93.26
*** DURATIA DE PRINDERE: 20
*** DURATIA DE IESIRE : 20

```

```

CALCULUL DURATIEI OPTIME
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

*** ULTIMUL PAS:

```

```

TUR.MAX. 71.0065 ABAT.*1000- 2.28882

```

```

CALCULUL PARABOLEI OPTIME
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

*** TIMPUL DE INCEPUT ESTE: 1.29062
*** TIMPUL DE SFIRSIT ESTE: 1.29062

```

```

VALORILE PARABOLEI OPTIME IN INTERVALUL CALCULAT

```

OPTIM	NORMAT	TREAPTA
20.	2.8	3
27.598	3.86372	4
34.5835	4.8417	5
40.9567	5.73393	6
46.7174	6.54043	7
51.9656	7.26119	7
56.4014	7.8962	9
60.3248	8.44547	9
63.6257	8.909	9
66.3242	9.28679	9
68.4203	9.57884	10
69.8939	9.78515	10
70.7551	9.90571	10
71.0038	9.94054	10
70.6401	9.89962	10
69.444	9.75794	10
68.0754	9.52054	10

C R A F I C U L P A P A B O L E I O P T I M E

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		+									
2			+								
3				+							
4					+						
5						+					
6							+				
7								+			
8									+		
9										+	
1											+
1.1											
1.2											
1.3											
1.4											
1.5											
1.6											
1.7											
1.8											
1.9											
2											
2.1											
2.2											
2.3											
2.4											
2.5											
2.6											

* TUP. OPTIMA SCARA 1:1
 + TUP. NORMATA SCARA 5:1

```

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
*** T R E C E R E A 11 ***
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

*** LUNGIMEA RAPORTATA: 161.7
*** MOMENTUL RAPORTAT : 139.33
*** DURATIA DE PRINDERE: 20
*** DURATIA DE IESIRE : 20

```

```

CALCULUL DURATIEI OPTIME
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

*** ULTIMUL PAS:

TUR.MAX. 92.4666 ABAT.*1000- 5.34058

```

CALCULUL PARABOLEI OPTIME
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

*** TIMPUL DE INCEPUT ESTE: 1.18352
*** TIMPUL DE SFIRSIT ESTE: 1.18352

```

VALORILE PARABOLEI OPTIME IN INTERVALUL CALCULAT

OPTIM	NORMAT	TREAPTA
20	2.9	3
31.7286	4.442	4
42.4225	5.93915	6
52.0817	7.29144	7
60.7062	8.49886	8
68.2959	9.56143	10
74.951	10.4791	10
80.3714	11.252	11
84.957	11.98	12
89.2079	12.3631	12
90.7242	12.7014	13
92.1057	12.8948	13
92.4525	12.9433	13
91.7646	12.847	13
90.042	12.6059	13
87.2847	12.2199	12
83.4927	11.689	12
79.3459	11.0122	11

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
 *** T R E C E R E A 12 ***
 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

*** LUNGIMEA RAPORTATA: 189
 *** MOMENTUL RAPORTAT : 89.16
 *** DURATIA DE PRINDERE: 20
 *** DURATIA DE IESIRE : 20

C A L C U L U L T U R A T I E I O P T I M E
 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

*** ULTIMUL PAS:

TUR.MAX. 80.5206 ABAT.*1000= 4.76074

C A L C U L U L P A R A B O L E I O P T I M E
 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

*** TIMPUL DE INCEPUT ESTE: 1.5659
 *** TIMPUL DE SFIRSIT ESTE: 1.5659

VALORILE PARABOLEI OPTIME IN INTERVALUL CALCULAT

OPTIM	NORMAT	TREAPTA
20	2.8	3
27.483	3.94762	4
34.4723	4.82613	5
40.968	5.72553	6
46.9701	6.57582	7
52.4786	7.347	7
57.4934	8.04907	8
62.0146	8.68204	9
66.0421	9.2459	9
69.5761	9.74065	10
72.6164	10.1663	10
75.163	10.5229	11
77.2161	10.8102	11
78.7755	11.0296	11
79.8412	11.1779	11
80.4124	11.2579	11
80.4919	11.2699	11
80.0769	11.2107	11
79.169	11.0835	11
77.7656	10.8872	11
75.8494	10.6217	11

C R A F T C U L F A P O L E I O P T I M E

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
6	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
7	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
8	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
9	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
10	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
11	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
12	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
13	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
14	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
15	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
16	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
17	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
18	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
19	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
20	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
21	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
22	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
23	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
24	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
25	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
26	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
27	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
28	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
29	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
30	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
31	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
32	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
33	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
34	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
35	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
36	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
37	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
38	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
39	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
40	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
41	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
42	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
43	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
44	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
45	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
46	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
47	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
48	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
49	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
50	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60


```

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
*** T R E C E R E A 13 ***
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

*** LUNGIMEA RAPORTATA: 231.93
*** MOMENTUL RAPORTAT : 103.98
*** DURATIA DE PRINDEPE: 20
*** DURATIA DE IESIRE : 50

```

```

CALCULUL DURATIEI OPTIME
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

*** ULTIMUL PAS:

TUR.MAX. 98.5052 ABAT.*1000= 5.09644

```

CALCULUL PARABOLEI OPTIME
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

```

*** TIMPUL DE INCEPUT ESTE: 1.69145
*** TIMPUL DE SFIRSIT ESTE: 1.32955

```

VALORILE PARABOLEI OPTIME IN INTERVALUL CALCULAT

OPTIM	NORMAT	TREAPTA
20.	2.8	3
29.0081	4.06114	4
37.4676	5.24546	5
45.9292	6.35294	6
52.74	7.39359	7
59.553	8.33742	8
65.8172	9.21441	9
71.5226	10.0146	10
76.6993	10.7379	11
81.3171	11.3844	11
85.3862	11.9541	12
88.9064	12.4469	12
91.8779	12.8629	12
94.3005	12.2021	13
96.1744	12.4644	13
97.4995	13.6499	14
98.2757	12.7586	14
99.5022	12.7905	14
99.4919	12.7455	14

C R A F I C U L P A P A E O L E I O P T I M E
 * * * * *

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890										
1	+										
2		+									
3			+								
4				+							
5					+						
6						+					
7							+				
8								+			
9									+		
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
1											
2											
3											
4											

LINGOU 8,4t OTEL NECALMAT

TRECEREA 3

$$m/g = 189,43 \text{ sec}^{-1} \text{ min}^{-1}$$

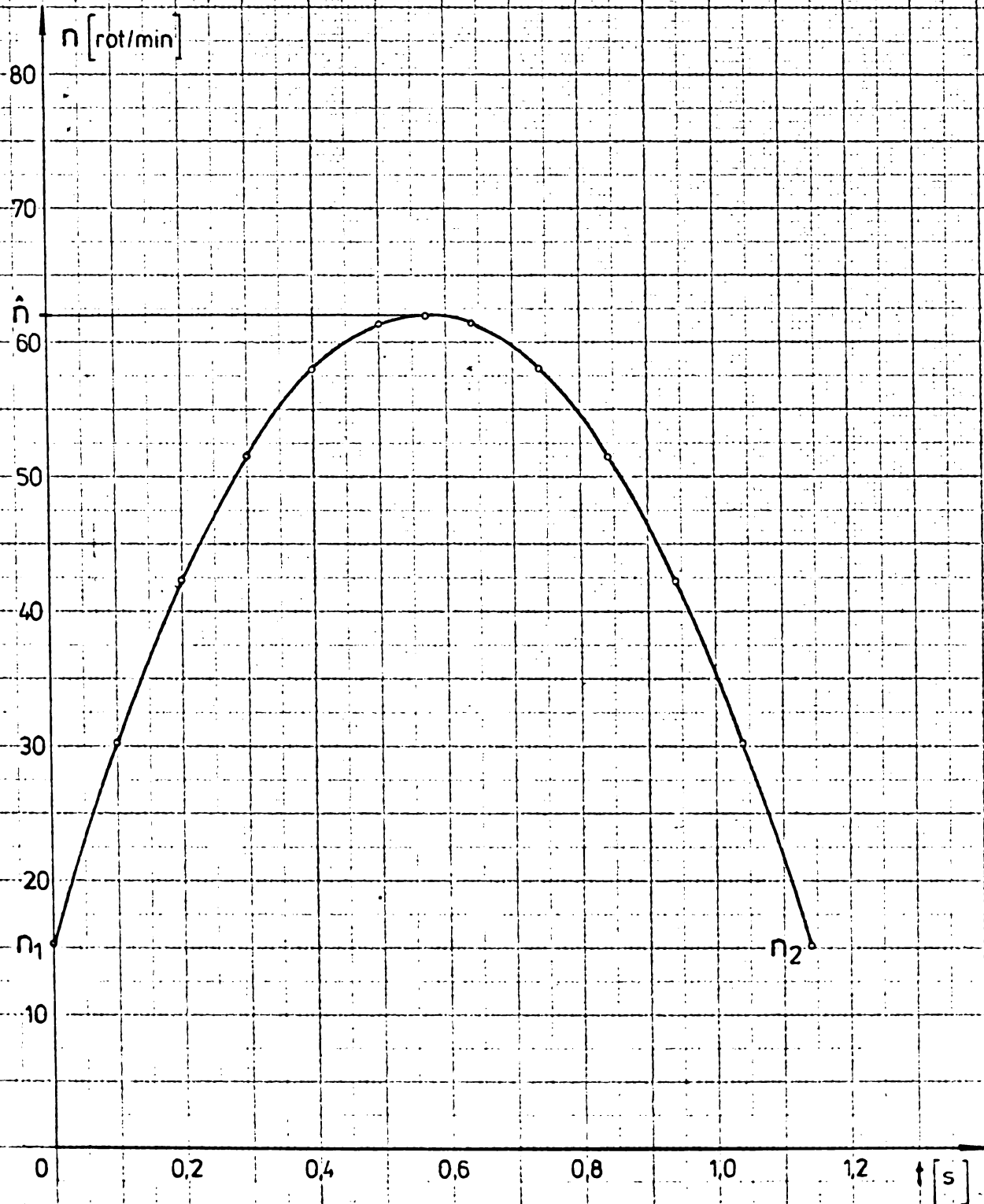
$$n_1 = 15 \text{ rot/min}$$

$$L = 3,235 \text{ m}$$

$$n_2 = 15 \text{ rot/min}$$

$$\hat{n} = 62,1 \text{ rot/min}$$

$$T = 1,14 \text{ s}$$



LINGOU 8,4 t OTEL NECALMAT

TRECEREA 4

$$m/g = 175,35 \text{ sec}^{-1} \text{ min}^{-1}$$

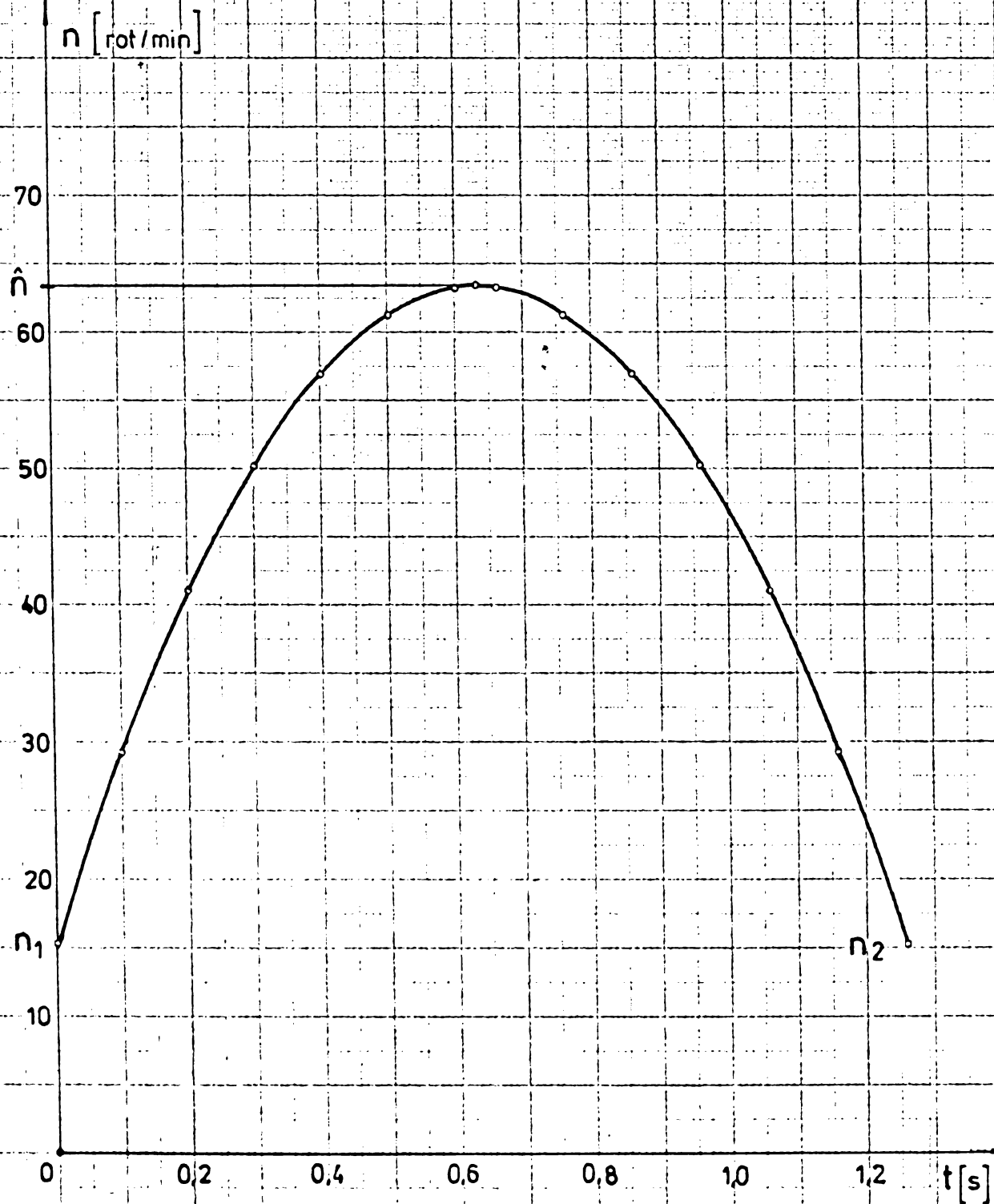
$$L = 3,656 \text{ m}$$

$$\hat{n} = 63,4 \text{ rot/min}$$

$$n_1 = 15 \text{ rot/min}$$

$$n_2 = 15 \text{ rot/min}$$

$$T = 1,26 \text{ s}$$



LINGOU 8,4 t OTEL NECALMAT

TRECEREA 5

$$m/g = 165,3 \text{ sec}^{-1} \text{ min}^{-1}$$

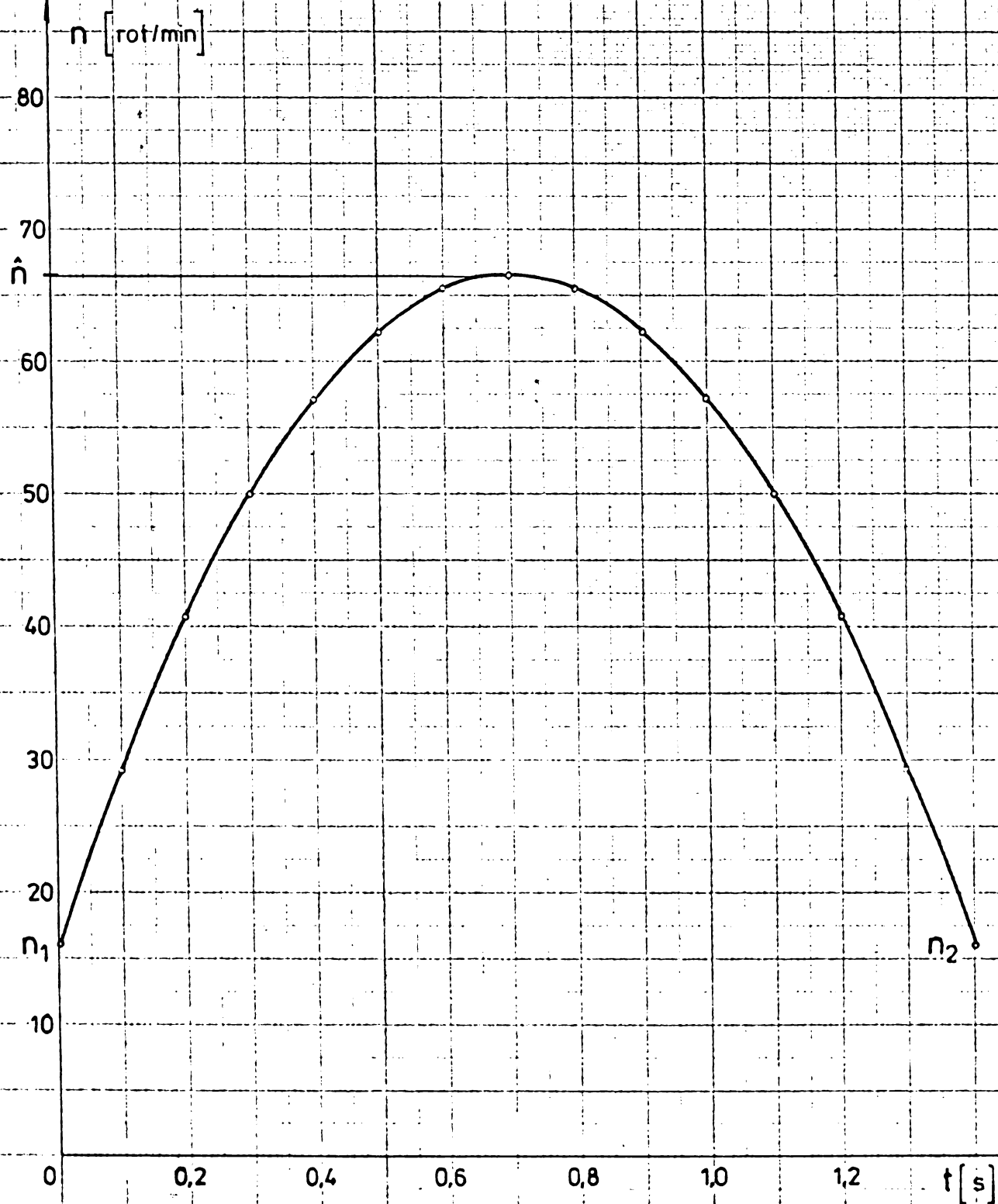
$$L = 4,241 \text{ m}$$

$$\hat{n} = 66,4 \text{ rot/min}$$

$$n_1 = 15 \text{ rot/min}$$

$$n_2 = 15 \text{ rot/min}$$

$$T = 1,4 \text{ s}$$



LINGOU 8,4 t OTEL NECALMAT

TRECEREA 6

$$m/g = 157,65 \text{ sec}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

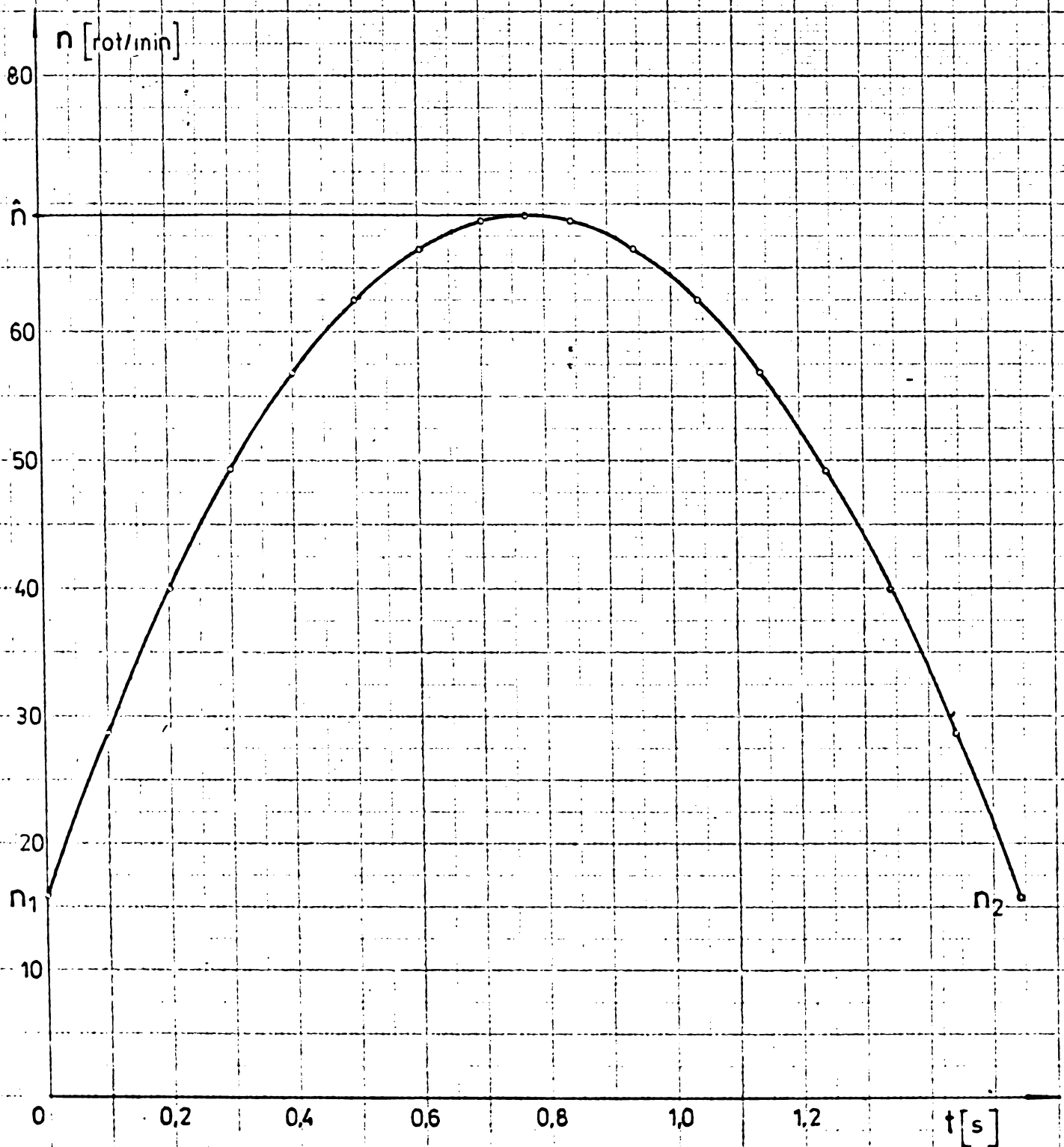
$$n_1 = 15 \text{ rot/min}$$

$$L = 4,834 \text{ m}$$

$$n_2 = 15 \text{ rot/min}$$

$$\hat{n} = 69,1 \text{ rot/min}$$

$$T = 1,54 \text{ s}$$



LINGOU 8,4t OTEL NECALMAT
TRECEREA 7

$$m/g = 177,8 \text{ sec}^{-1} \text{ min}^{-1}$$

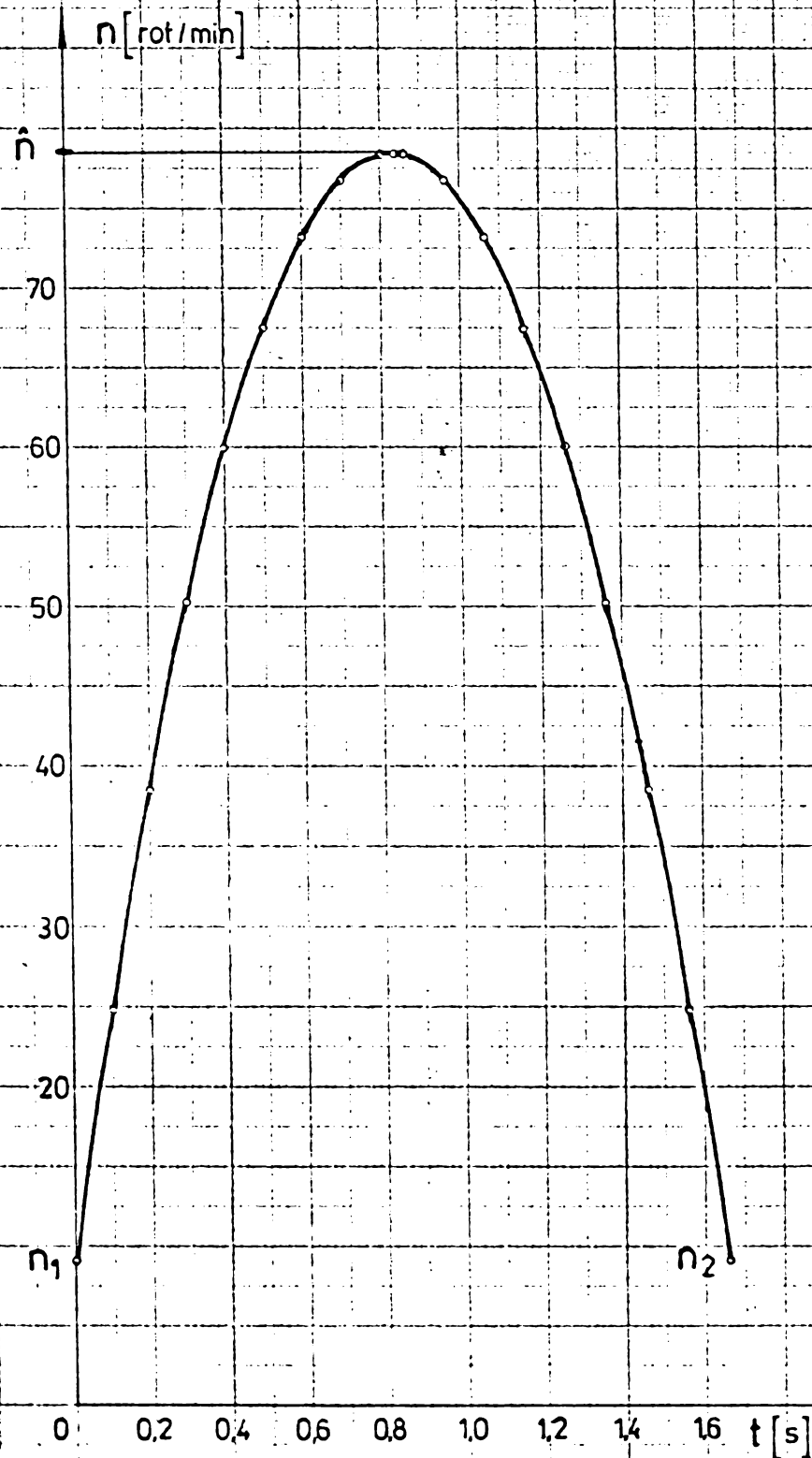
$$n_1 = 10 \text{ rot/min}$$

$$L = 5,317 \text{ m}$$

$$n_2 = 10 \text{ rot/min}$$

$$\hat{n} = 78,5 \text{ rot/min}$$

$$T = 1,66 \text{ s}$$



LINGOU 8,4t OTEL NECALMAT

TRECEREA 8

$$m/g = 152,8 \text{ sec}^{-1} \text{ min}^{-1}$$

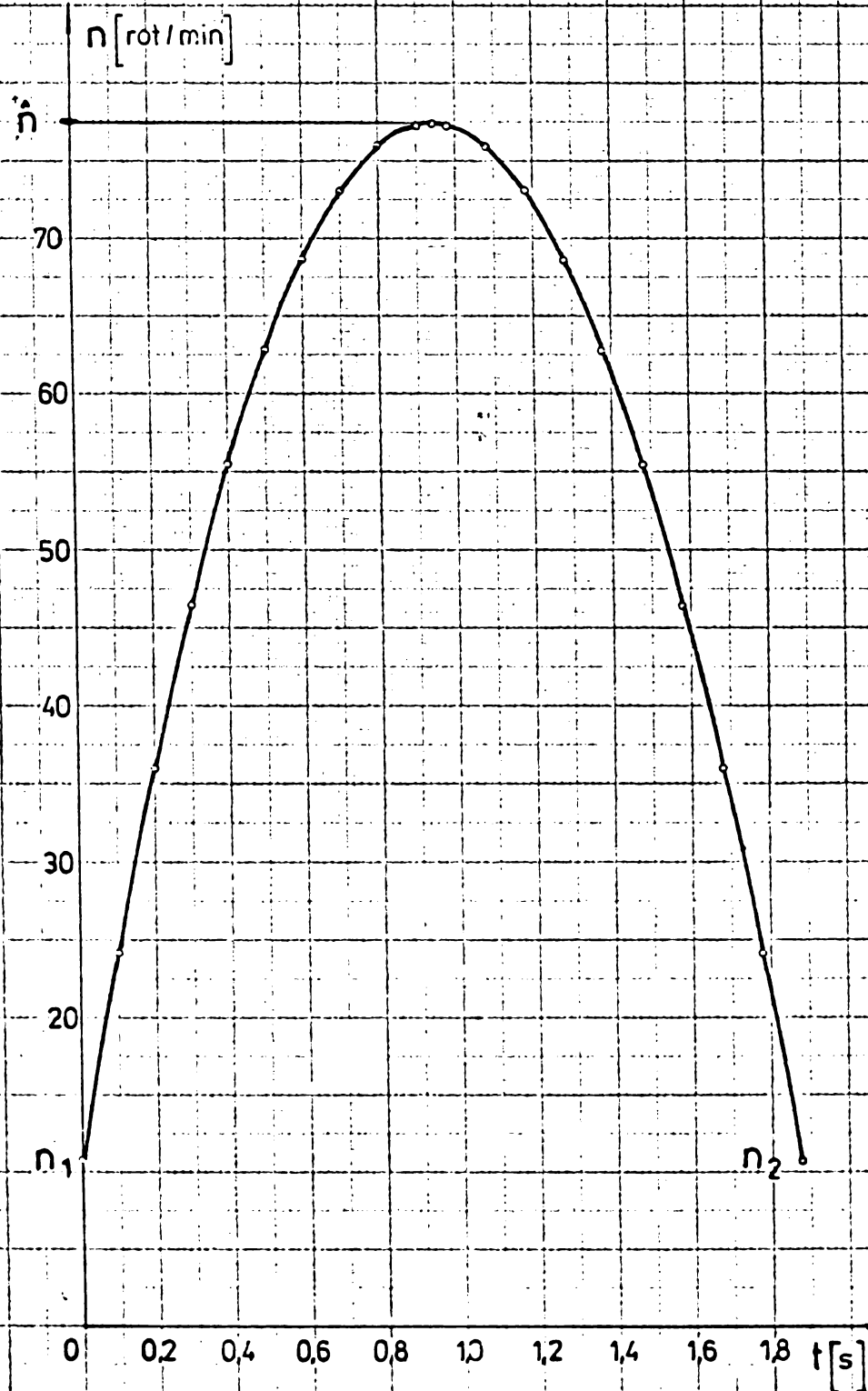
$$n_1 = 10 \text{ rot/min}$$

$$L = 6,008 \text{ m}$$

$$n_2 = 10 \text{ rot/min}$$

$$\hat{n} = 77,4 \text{ rot/min}$$

$$T = 1,88 \text{ s}$$



TRECEREA 9

$$m/g = 171,9 \text{ sec}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

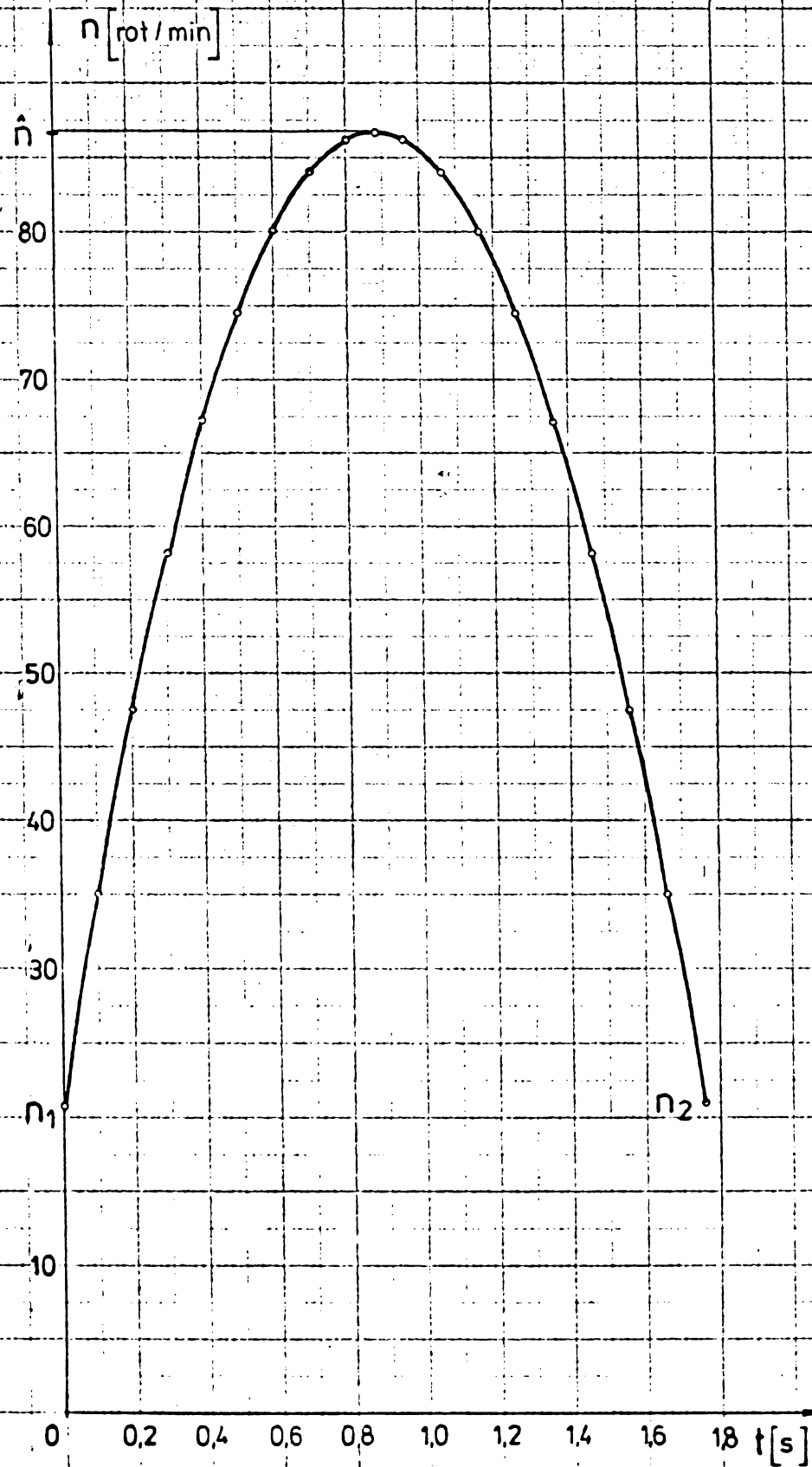
$$n_1 = 20 \text{ rot/min}$$

$$L = 6,97 \text{ m}$$

$$n_2 = 20 \text{ rot/min}$$

$$\hat{n} = 86,8 \text{ rot/min}$$

$$T = 1,76 \text{ s}$$



LINGOU 8,4t OTEL NECALMAT

TRECEREA 10

$$m/g = 92,45 \text{ sec}^{-1} \text{ min}^{-1}$$

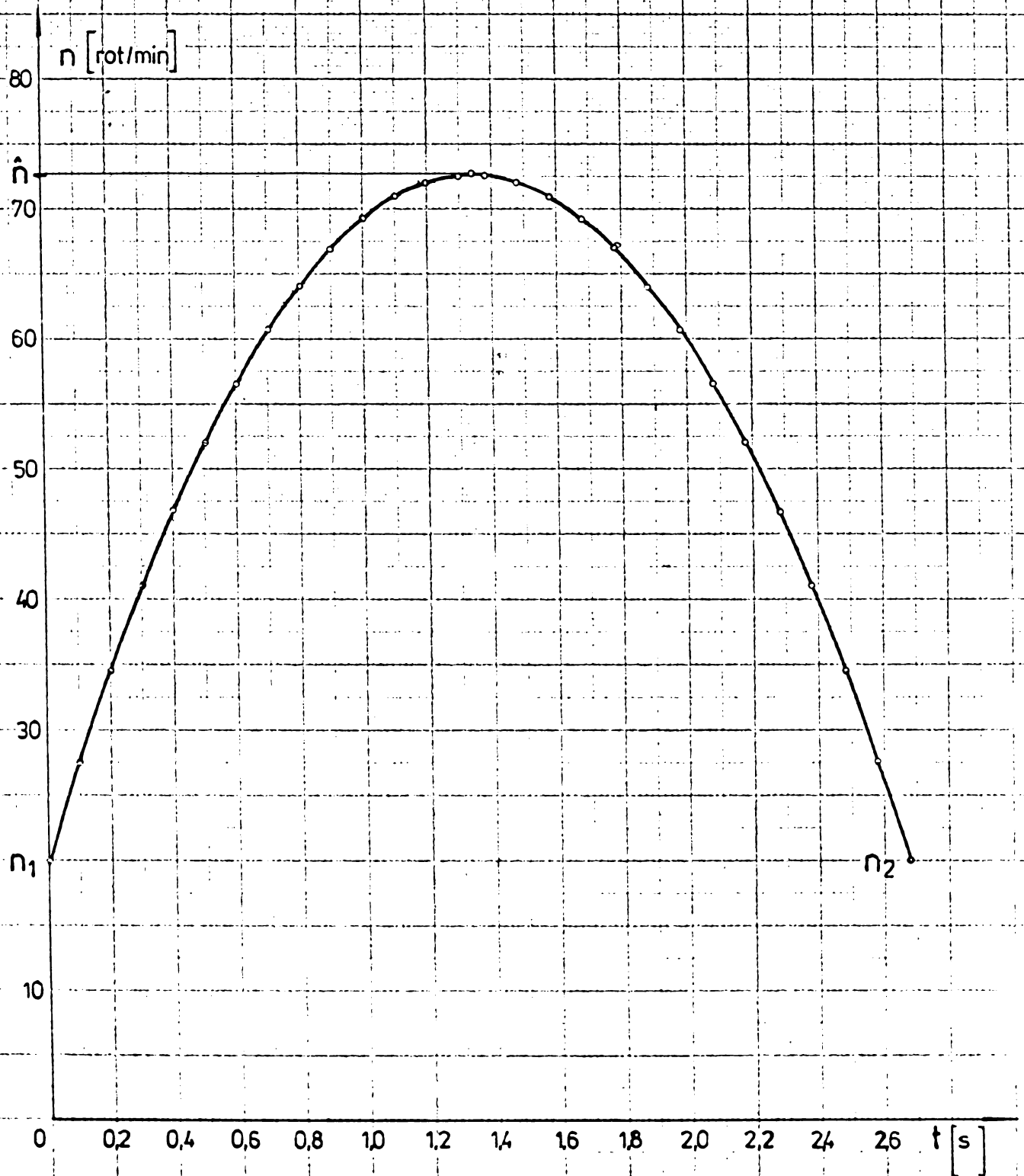
$$n_1 = 20 \text{ rot/min}$$

$$L = 8,503 \text{ m}$$

$$n_2 = 20 \text{ rot/min}$$

$$\hat{n} = 72,7 \text{ rot/min}$$

$$T = 2,68 \text{ s}$$



TRECEREA 11

$$m/g = 138,32 \text{ sec}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

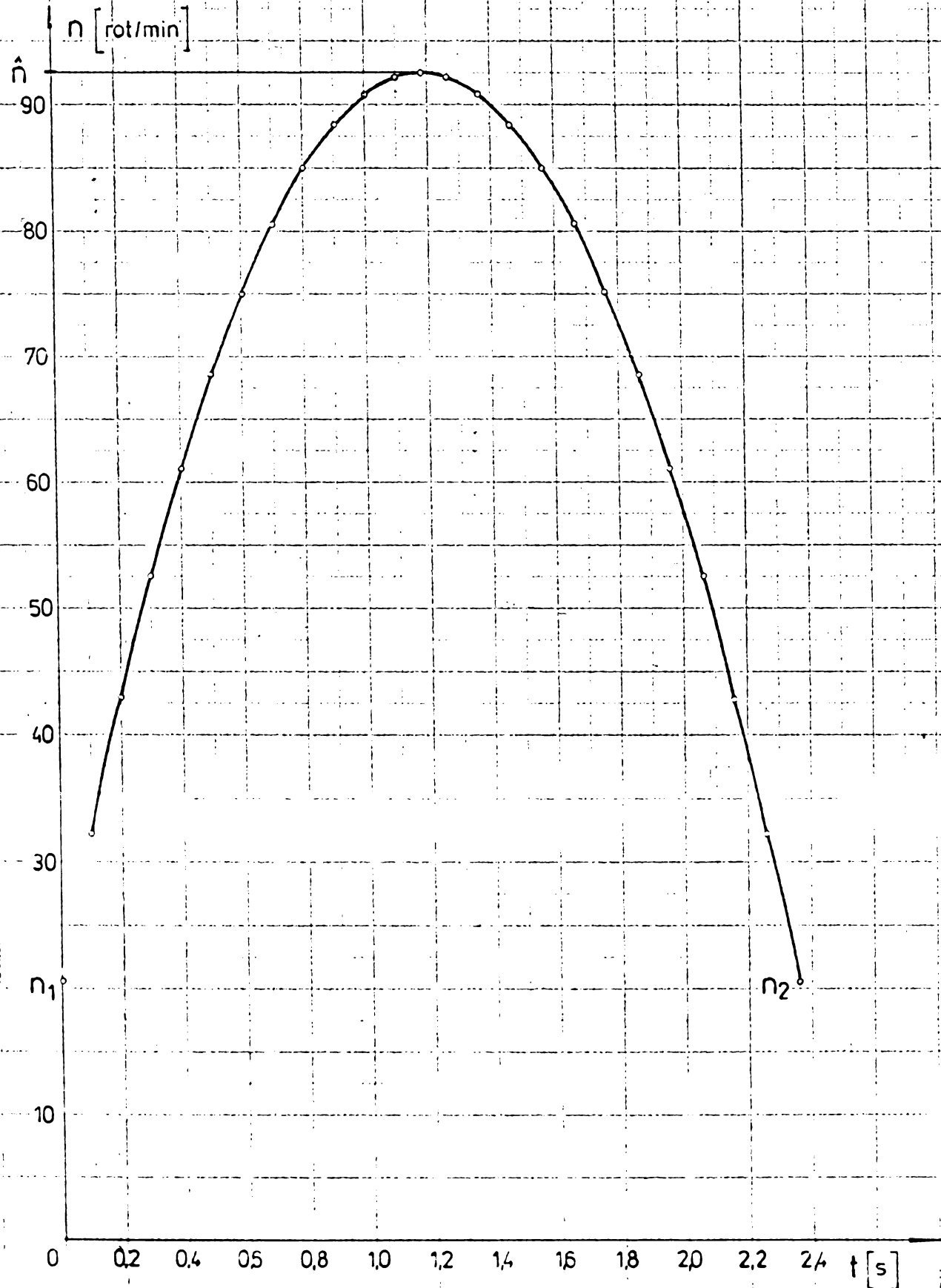
$$n_1 = 20 \text{ rot/min}$$

$$L = 9,525 \text{ m}$$

$$n_2 = 20 \text{ rot/min}$$

$$\hat{n} = 92,5 \text{ rot/min}$$

$$T = 2,36 \text{ s}$$



LINGOU 8,4t OTEL NECALMAT

TRECEREA 12

$$m/g = 89,16 \text{ sec}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

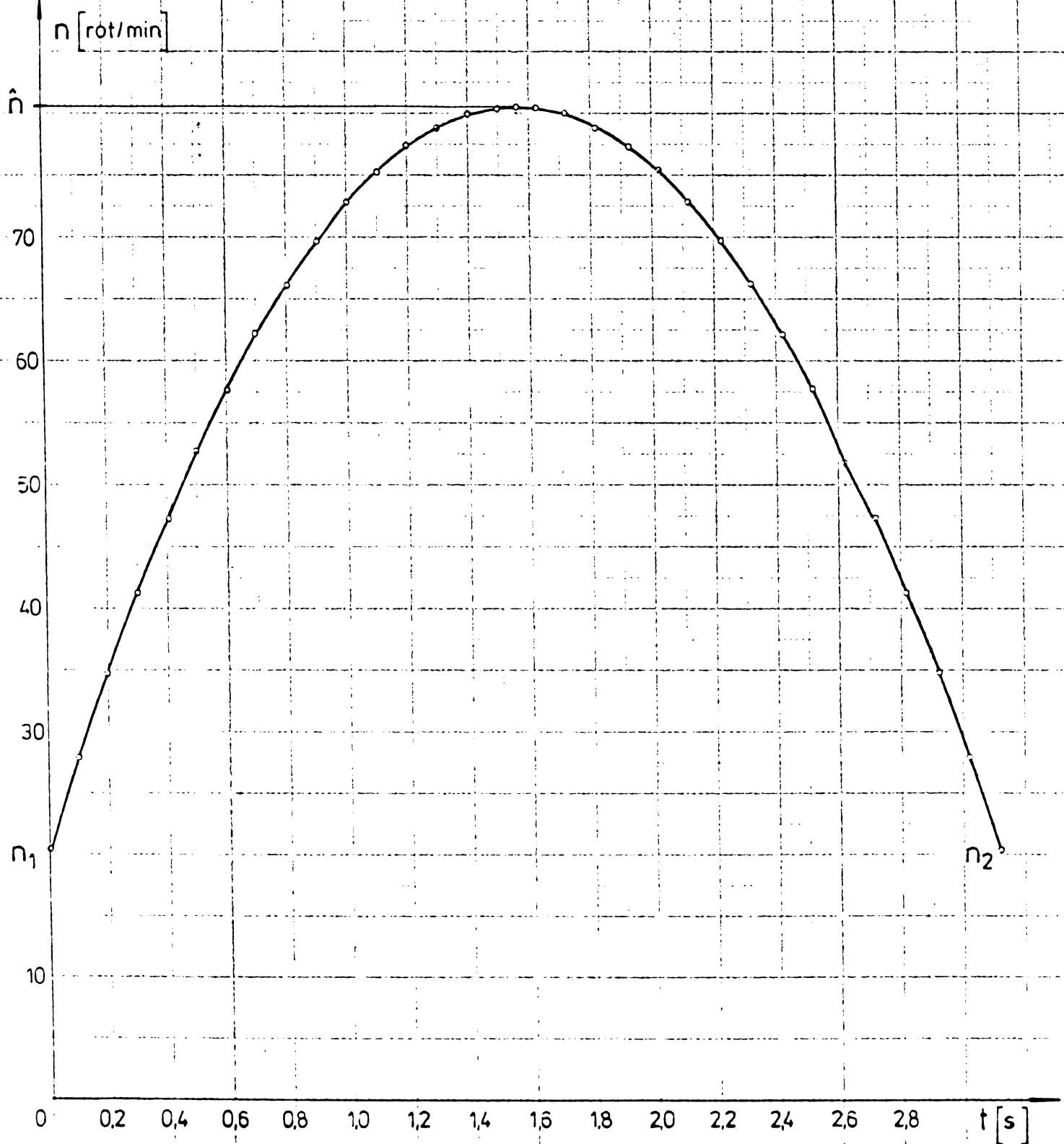
$$n_1 = 20 \text{ rot/min}$$

$$L = 11,144 \text{ m}$$

$$n_2 = 20 \text{ rot/min}$$

$$\hat{n} = 80,5 \text{ rot/min}$$

$$T = 3,12 \text{ s}$$



$m/g = 103,93 \text{ sec} \cdot \text{min}^{-1}$

$n_1 = 20 \text{ rot/min}$

$L = 13,595 \text{ m}$

$n_2 = 50 \text{ rot/min}$

$\hat{n} = 98,5 \text{ rot/min}$

$T = 3,01 \text{ s}$

