

INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA" TIMISOARA
FACULTATEA DE MECANICA

Ing. IOAN DAVID

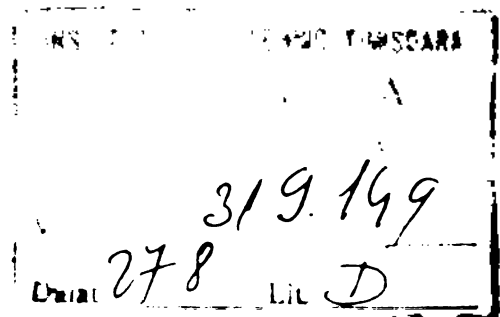
TEZA DE DOCTORAT
=====

CONTRIBUTII LA STUDIUL PROCESULUI DE COMUTARE
A TREPTELOR DE VITEZE HIDRAULICE
LA LOCOMOTIVELE DIESEL

Conducător științific,
Prof.emerit ing.IOAN ZAGANESCU

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

- 1976 -



INTRODUCERE

Funcționarea corectă a locomotivelor diesel cu transmisie hidraulică compusă din transformatoare hidrodinamice depinde în mare măsură de modul de comutare de pe un transformator pe celălalt, edică de modul de schimbare a treptelor de viteze.

Nerealizarea unui comutări optime conduce la apariția unor șocuri importante în elementele transmisiei și în tren cauzate de căderea forței de tracțiune, în unele cazuri pînă la 60% din valoarea corespunzătoare în momentul inițial al comutării; la utilizarea incompletă a ^{puterii} motorului diesel și înrăutățirea randamentului locomotivei.

Evitarea acestor fenomene este posibilă printr-o alegere judicioasă a programului și caracteristicilor de comutare în funcție de caracteristicile motorului diesel, transmisiei hidraulice, sistemului de umplere și golire a transformatoarelor hidraulice și de parametrii locomotivei și ai trenului remorcat.

Neajunsurile semnalate au fost observate și la unele locomotive diesel-hidraulice construite la Intreprinderea "23 August" București, care a încheiat un contract cu un colectiv al Catedrei de material rulant din care am făcut parte, pentru cercetarea cauzelor și îmbunătățirea comutării.

Deoarece procesul comutării treptelor de viteze la locomotivele diesel-hidraulice este o problemă de mare complexitate, a cărei rezolvare pînă în prezent se face numai pe bază de încercări experimentale, din cauza multitudinii factorilor ce intervin și care se interacționează uneori în mod antagonist, tovarășul profesor emerit ing. Ioan Zăgănescu mi-a sugerat subiectul tezei de doctorat amintit mai sus pentru studierea comutării treptelor de viteze la locomotivele diesel-hidraulice în vederea optimizării acestora atît la locomotivele ce se construiesc cît și la cele existente în exploatarea CFR.

Consider de datoria mea să aduc și pe această cale mulțumirile mele tuturor acelor care m-au ajutat la elaborarea acestei lucrări.

Mulțumirile mele se îndreaptă în primul rînd către distinsul meu dascăl- profesorul emerit ing. Ioan Zăgănescu pentru modul cum mi-a călăuzit pașii pe tot parcursul carierei mele

de cadru didactic-inginer, pentru prețioasele îndrumări date la elaborarea tezei de doctorat.

Mulțumesc de asemenea colectivului Catedrei de material rulant de la Institutul politehnic București, personal tov.prof. dr.ing.Popa Alexandru; colectivului de la Institutul de cercetări și proiectări tehnologice în transporturi București format din tov.ing.Lie Aurel, tov.ing.Popescu Adrian și tov.dr.ing.Taran Traian pentru ajutorul acordat la efectuarea experimentărilor.

De asemenea aduc mulțumirile mele colegiale, întregului colectiv al Catedrei de material rulant din Timișoara pentru sprijinul dat.

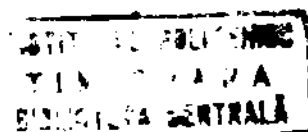
NOTATII UTILIZATE

Principalele notații utilizate în lucrare sînt:

- P_d - puterea disponibilă a motorului diesel;
 P_{dmax} - puterea maximă disponibilă a motorului diesel;
 P_1 - puterea la arborele de intrare în transmisie;
 P_o - puterea la obada roții motoare;
 C_d - cuplul disponibil la arborele de ieșire al motorului diesel;
 C_{dn} - cuplul disponibil la turația nominală a motorului diesel;
 C_{1g}, C_{2g} - cuplul la arborele de intrare, respectiv la arborele de ieșire la golirea transformatorului hidraulic;
 C_{1u}, C_{2u} - cuplul la arborele de intrare, respectiv la arborele de ieșire la umplerea transformatorului hidraulic;
 $C_{1i}^{(0)}, C_{2i}^{(0)}$ - cuplul la arborele de intrare, respectiv la arborele de ieșire, în momentul inițial al procesului tranzitoriu ($t = 0$);
 F_o - forța de tracțiune la obada roții motoare;
 F_{oi} - forța de tracțiune ideală;
 F_k - forța de tracțiune la viteza de comutare;
 $(F_o)_d$ - forța de tracțiune la comutarea directă;
 $(F_{of})_d, (F_{o7})_d$ - forța de tracțiune la comutarea directă corespunzătoare punctului de intersecție a caracteristicilor forței de tracțiune, respectiv a randamentului transmisiei, de pe cele două trepte de viteze alăturate;
 $F_{of}/F_{oi}; F_{o7}/F_{oi}$ - forța de tracțiune relativă corespunzătoare punctului de intersecție a caracteristicilor forței de tracțiune, respectiv a caracteristicilor de randament, de pe cele două trepte de viteze alăturate;
 V - viteza de mers;
 V_k - viteza de comutare;
 V_d, V_l - viteza de mers a locomotivei la comutarea directă, respectiv inversă;
 V_x - viteza maximă constructivă a locomotivei;
 V_o - viteza de mers a locomotivei la care randamentul transmisiei este maxim;
 $V_f/V_x, V_7/V_x$ - viteza relativă de mers a locomotivei corespunzătoare punctelor de intersecție a caracteristicilor forței de tracțiune, respectiv a randamentului transmisiei.

- $(V/V_x)_d, (V/V_x)_i$ - viteza relativă de mers a locomotivei la comutarea directă, respectiv inversă;
- ΔV_k - căderea de viteză în procesul de comutare;
- n_d - turația motorului diesel;
- n_{d0} - turația motorului diesel la viteza V_0 ;
- n_{dn} - turația nominală a motorului diesel;
- n_{dm} - turația motorului diesel la $r\lambda_p = r\lambda_{pmax}$
- n_1, n_2 - turația arborelui de intrare în transmisie, respectiv a arborelui de ieșire din transmisie;
- $n_{di}/n_{dn}, n_{d\tau}/n_{dn}$ - turația relativă a motorului diesel corespunzătoare vitezei V_f/V_x și respectiv V_τ/V_x ;
- n_{di}/n_{dn} - turația relativă a motorului diesel la comutarea inversă;
- n_{dx} - turația arborelui de ieșire din transmisia hidraulică la viteza V_x ;
- $(r\lambda_p/r\lambda_{pn})_f, (r\lambda_p/r\lambda_{pn})_\tau$ - coeficientul relativ al cuplului pompei la V_f/V_x și respectiv V_τ/V_x ;
- η_1 - randamentul angrenajului multiplicator de la intrarea în transmisie;
- η_2 - randamentul angrenajelor demultiplicatoare din transmisia hidraulică, conectate după transformatoare;
- η_{tr} - randamentul transformatorului hidraulic;
- η_{th} - randamentul transmisiei hidraulice;
- η_{thf} - randamentul transmisiei hidraulice la viteza de mers V_f/V_x .

Restul notațiilor utilizate sînt explicate în cuprinsul lucrării.



1. COMUTAREA TREPTELOR DE VITEZE LA LOCOMOTIVELE DIESEL HIDRAULICE.

1.1. Treptele de viteze la locomotivele diesel hidraulice.

Proprietățile de tracțiune ale locomotivelor cu transmisie hidraulică sînt determinate, într-o măsură însemnată, în zona de schimbare a treptelor de viteze, de caracteristicile de tracțiune și de indicii economiei ai ei atît la mișcarea în regim de tracțiune staționar cît și în regim variabil.

Pentru anumite condiții de exploatare bine determinate, locomotiva poate funcționa în regim staționar, în zona de comutare o perioadă însemnată de timp.

La comutare, regimul de mișcare este determinat de procesele tranzitorii care apar în funcționarea agregatelor de forță (motor diesel și transmisia hidraulică), în sistemul de comandă a comutării treptelor de viteze și în tren.

Treptele de viteze, în cazul locomotivelor diesel cu transmisie hidraulică cu mai multe circuite, se realizează cu ajutorul agregatelor hidraulice (transformatoare și cuplaje hidraulice) din care este compusă transmisia, fiecare agregat hidraulic funcționînd într-un interval de viteze bine determinat cu un randament mediu admisibil [4], [8], [18]. Mărimea și limitele acestui interval, precum și numărul agregatelor hidraulice rezultă din necesitatea de a asigura o variație continuă a forței de tracțiune după o lege cît mai apropiată de hiperbola de putere constantă și un randament ridicat al locomotivei pe întregul interval de viteze [40], [42], [51], [52], [67], [68].

În cazul locomotivelor diesel cu transmisie hidraulică cu mai multe circuite, numărul agregatelor hidraulice determină numărul treptelor de viteze, iar domeniul de utilizare al fiecărui agregat determină mărimea intervalului de viteze al treptei respective. Pe o anumită treaptă de viteze funcționează, deci, un singur agregat hidraulic care este umplut cu ulei. Restul agregatelor hidraulice, în intervalul de viteze al treptei respective, nu conțin ulei și, la majoritatea transmisiilor hidraulice, se rotesc în gol [51], [67], [68].

1.2. Comutarea treptelor de viteze.

La locomotivele diesel cu transmisie hidraulică compusă din mai multe agregate hidraulice, comutarea treptelor de viteze se realizează prin golirea agregatului care se află în funcțiune și umplerea agregatului care urmează să intre în funcțiune, ambele procese avînd loc în același timp, fără întreruperea totală a circuitului de forță de la motorul diesel la osii.

În anumite condiții de exploatare a locomotivelor, procesul de comutare este însoțit de o cădere a forței de tracțiune, a randamentului locomotivei și a vitezei de mers precum și de schimbarea regimului de funcționare a motorului diesel [16], [43], [64]. Timpul de comutare a unei trepte de viteze la transmisiile cu mai multe circuite este de 3...8 secunde și uneori chiar mai mare.

La locomotivele diesel hidraulice construite în țara noastră se utilizează numai transmisiile cu mai multe circuite, și de aceea în continuare se vor lua în considerare numai aceste transmisiile.

Comutarea treptelor de viteze trebuie astfel realizată încît, în zonele de comutare, să asigure:

- 1) variația continuă a caracteristicilor de tracțiune și a caracteristicilor de randament ale locomotivei;
- 2) utilizarea completă a puterii motorului diesel;
- 3) coeficient ridicat de transmitere a puterii la obadă;
- 4) funcționarea stabilă a transmisiei.

Satisfacerea concomitentă a tuturor acestor cerințe este greu de realizat.

Proprietățile de funcționare ale locomotivei, în zona de comutare, sînt determinate, în primul rînd, de caracteristicile agregatelor circuitului de forță al locomotivei, sistemului de comandă a comutării și ale instalației de umplere și golire a agregatelor hidraulice.

Caracteristicile agregatelor din circuitul de forță al locomotivei se stabilesc la proiectarea locomotivei, în general din alte considerente decît cele de comutare. De altfel, nici nu este posibil să se stabilească aceste caracteristici astfel încît să fie îndeplinite toate condițiile referitoare la proprietățile de tracțiune și economice, în toate condițiile de tracțiune, deoarece ele sînt interdependente și îmbunătățirea uneia (de exemplu a caracteristicilor de tracțiune) duce, în general, la înrăutățirea

celelalte (de exemplu a randamentului) [29], [42].

1.3. Comanda comutării treptelor de viteze.

1.3.1. Caracteristicile de comutare.

Conectarea unui agregat hidraulic în circuitul de forță al locomotivei și deconectarea lui, sînt comandate automat după un program care este determinat de caracteristicile de comutare.

Prin caracteristica de comutare se înțelege curba determinată de punctele de pe caracteristicile de tracțiune în care se face schimbarea treptelor de viteze la diferite regimuri de funcționare a motorului diesel.

Proprietățile de tracțiune, în zona de comutare, sînt determinate în mare măsură de caracteristicile de comutare.

Actualmente comutarea treptelor de viteze se realizează în două variante [18], [43], [44], [67] :

a) comutarea treptelor de viteze numai în funcție de viteza de mers;

b) comutarea treptelor de viteze în funcție de ^{viteza} v_{mers} și de turația motorului diesel.

Comutarea treptelor de viteze numai în funcție de viteza de mers (fig.1-1) permite să se obțină caracteristici de tracțiune continue numai la o anumită putere (de obicei la puterea nominală) a motorului diesel, iar la celelalte regimuri ale motorului diesel, caracteristicile de tracțiune au o variație în trepte. În anumite cazuri, la sarcini mici ale motorului (de exemplu la turații $n_{14} < n_{11}$) nu se poate face comutarea pe treapta următoare de viteze. De asemenea, și restul condițiilor impuse comutării nu sînt satisfăcute decît la o anumită sarcină a motorului diesel. Caracteristica de comutare AE este dată, în acest caz, de ecuația :

$$V = V_a \quad (1.1)$$

Comutarea după această caracteristică duce la pierderi mari ale forței de tracțiune și la apariția unor sarcini dinamice mari, deoarece așa cum rezultă din figura 1-1, comutarea la viteza V_a la sarcini parțiale ale motorului diesel, are loc cu salturi mari ale forței de tracțiune. În afară de aceasta, se înrăutățesc considerabil caracteristicile de randament. De exemplu,

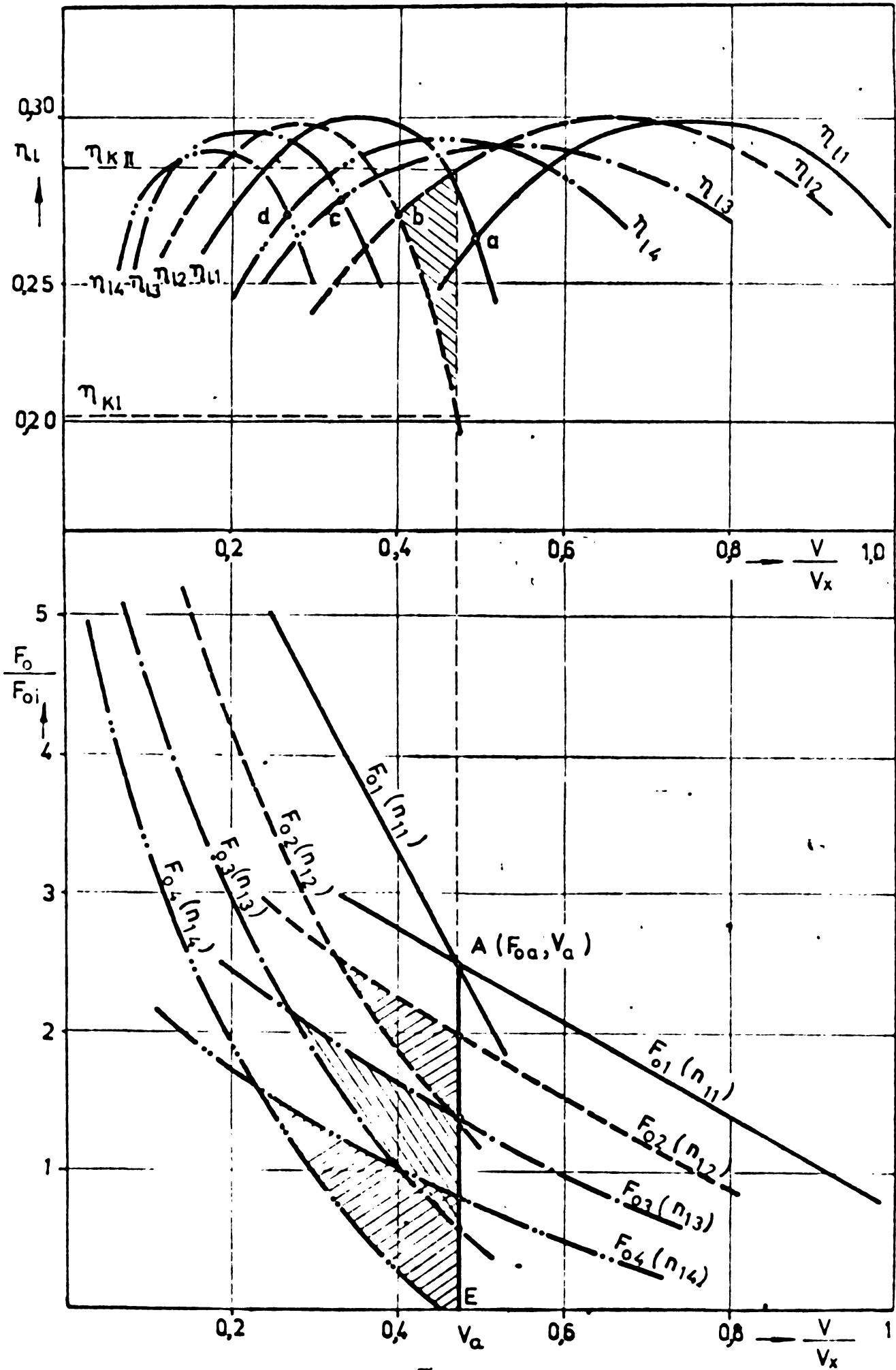


Fig. 1-1

la sarcina parțială n_{12} , randamentul corespunzător vitezei V_a pe treapta I este η_{kI} , iar pe treapta II este mult mai mare și anume η_{kII} .

Deoarece punctele de intersecție atât ale caracteristicilor de tracțiune cât și ale caracteristicilor de randament ale celor două trepte de viteze alăturate se deplasează spre viteze mai mici odată cu micșorarea sarcinii motorului, este necesară corectarea momentului de comutare în funcție de turația motorului diesel.

Din caracteristicile de tracțiune, date în figura 1-2, se vede că pentru a obține caracteristici continue ale forței de tracțiune la toate regimurile de funcționare ale motorului diesel, comutarea treptelor de viteze trebuie să se facă după caracteristica de comutare $A B_2 C_2 D_2$, iar pentru a obține caracteristici continue ale randamentului, după caracteristica $A B_1 C_1 D_1$. La locomotivele construite s-a ales caracteristica de comutare parabola ABCD care trece prin originea axelor și punctul A (F_{0a}, V_a) de intersecție a caracteristicilor forței de tracțiune la sarcina maximă a motorului, adică :

$$F_k = \frac{F_{0a}}{V_a^2} v^2 \quad (1.2)$$

Această caracteristică de comutare asigură caracteristici continue ale forței de tracțiune și ale randamentului numai la funcționarea motorului diesel la sarcina nominală, iar în anumite cazuri particulare ale transmisiei netransparente asigură și la sarcini parțiale ale motorului.

Analizînd condițiile de mai sus, comutarea după o astfel de caracteristică, este mult superioară comutării după caracteristica $V = V_a$, dar menține totuși variația în salturi atât a forței de tracțiune cât și a randamentului.

Stabilirea corectă a caracteristicilor de comutare trebuie să permită îmbunătățirea caracteristicilor de funcționare a locomotivei în zona de comutare. Caracteristicile de comutare sînt influențate de parametrii motorului diesel și ai transmisiei. Deoarece, așa cum s-a arătat, parametrii agregatelor de forță se stabilesc din alte considerente decît cele rezultate din procesul de comutare, la studiul acestui proces se determină numai modul în care poate fi modificată, prin alegerea unor anumite

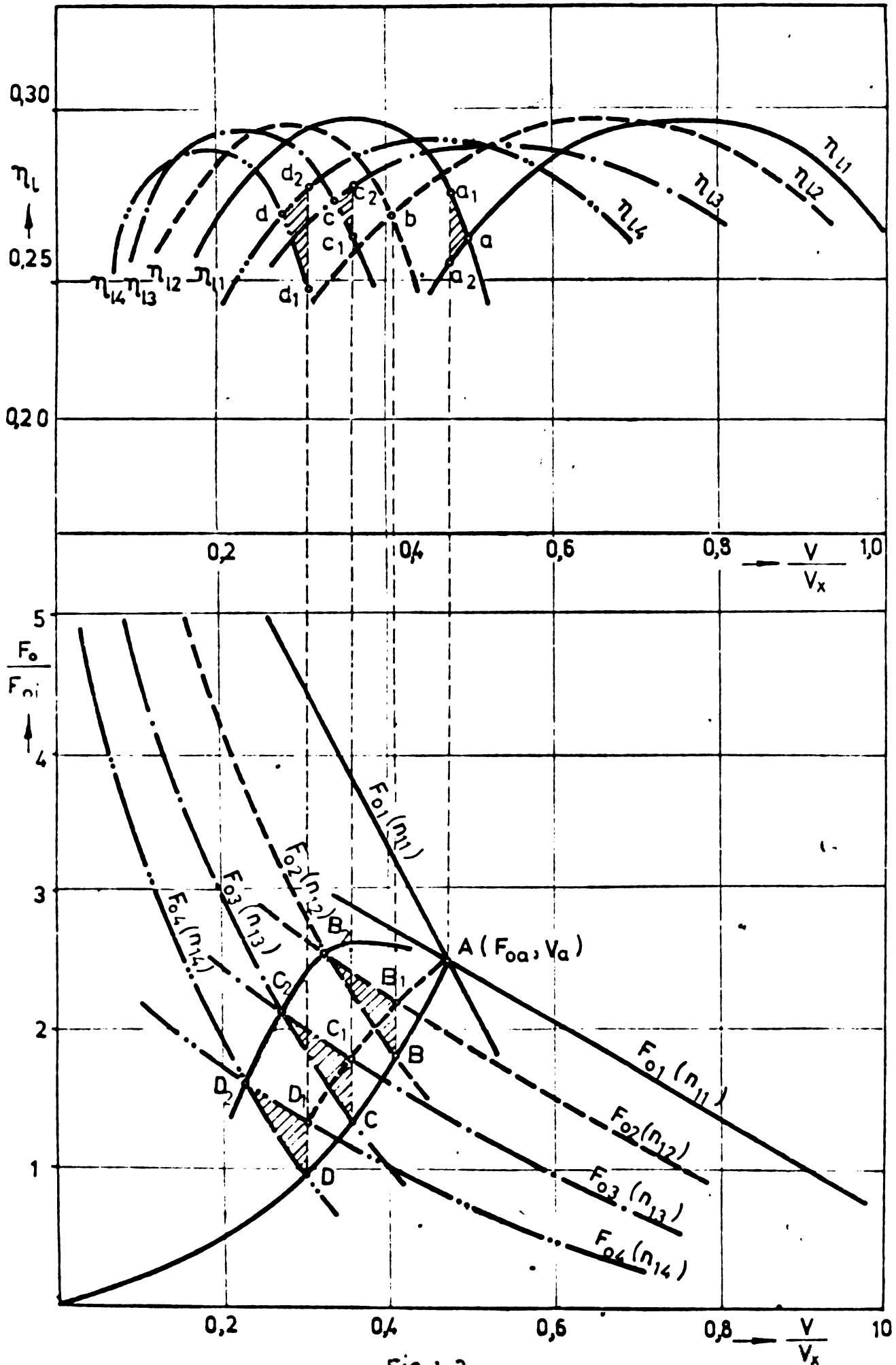


Fig. 1-2

caracteristici de comutare, influența acestor parametri asupra caracteristicilor de funcționare a locomotivei în zona de comutare în sensul obținerii caracteristicilor de tracțiune și economice dorite.

1.3.2. Programul de comutare.

Realizarea caracteristicilor dorite la comutare se obține printr-un sistem automat mecanic, electromecanic, hidraulic, hidropneumatic, electrohidraulic sau electronic care să comande umplerea și golirea transformatoarelor la viteze determinate în scopul obținerii unor caracteristici de tracțiune optime la toate regimurile de funcționare ale motorului diesel.

Pentru aceasta, trebuie ca sistemul de comutare să realizeze schimbarea treptelor de viteze în funcție de turația motorului diesel n_d și de turația arborelui de ieșire din transmisie n_2 ($n_2 = \text{const.} \cdot V$).

Variația turației n_d în funcție de turația n_2 astfel încât schimbarea treptelor să se facă în punctele determinate de caracteristica de comutare impusă, se numește program de comutare.

Comutarea de pe o treaptă de viteză pe cealaltă este condiționată însă de obținerea unui randament mediu al transformatorului de minimum 0,8, pentru ca transmisia hidrodinamică de cuplu să fie competitivă față de celelalte transmisii, în speță față de transmisia electrică.

De aici rezultă însă, că și viteza de comutare nu poate scădea mult sub viteza corespunzătoare intersecției curbelor de randament ale celor două transformatoare.

STENIE
P A
5

2. CRITERII PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICILOR DE COMUTARE.

2.1. Importanța stabilirii criteriilor de comutare.

Schimbarile treptelor de viteze după caracteristica de comutare (1.1) sau (1.2) asigură obținerea caracteristicilor de tracțiune continue numai la sarcina totală a motorului diesel.

La o sarcină oarecare a motorului diesel, utilizarea maximă a forței de tracțiune, se obține, dacă comutarea treptelor de viteze se face în punctul A de intersecție a caracteristicilor forței de tracțiune ale celor două trepte de viteze alăturate (fig.2-1). Caracteristici economice favorabile se obțin, dacă comutarea se face în punctul b de intersecție a caracteristicilor randamentului locomotivei ale celor două trepte de viteze alăturate. În cazul când caracteristica de comutare trece prin punctul A (curba C₁), deci comutarea treptelor de viteze pentru

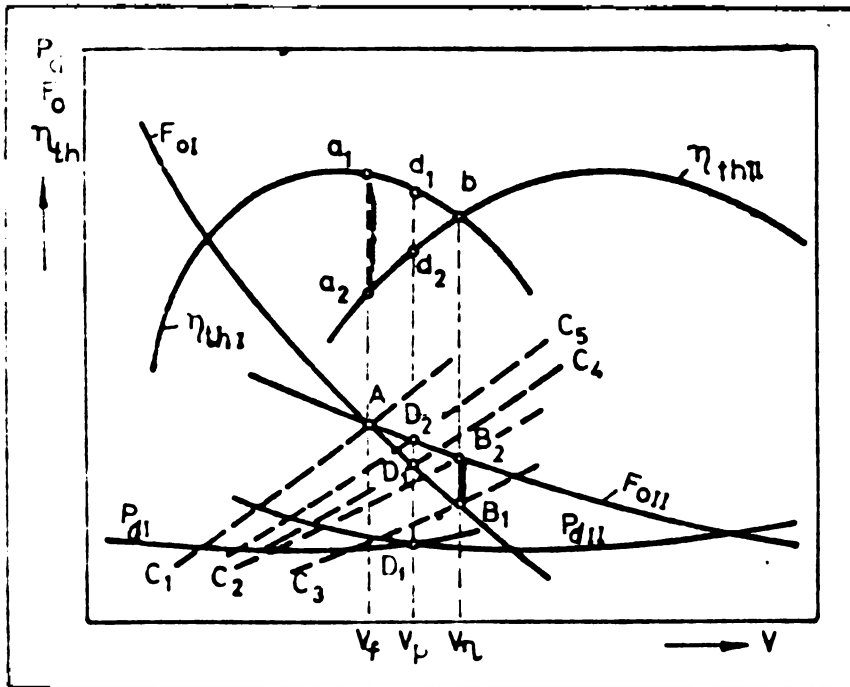


Fig. 2-1

sarcina respectivă a motorului se face la viteze V_f , caracteristicile forței de tracțiune au o variație continuă, însă comutarea "este neeconomică" deoarece este însoțită de o cădere a randamentului egală cu $a_1 a_2$. Când caracteristica de comutare trece prin punctele B₁ sau B₂ (curba C₂ sau C₃), iar comutarea pentru sarcina respectivă a motorului diesel se face la viteza V_n corespunzătoare punctului b, caracteristicile de randament au o variație continuă, dar apare o cădere a forței de tracțiune egală cu B₁B₂ (v.fig.2-1).

Pentru a utiliza la maximum puterea motorului diesel și pentru a evita salturile de putere la comutare, schimbarea treptelor de viteze este indicat să se facă, pentru sarcina respectivă, la viteza V_p corespunzătoare punctului D de intersecție a caracteristicilor

puterii disponibile a motorului diesel. Comutarea după caracteristicile C_4 sau C_5 , determinate de vitezele corespunzătoare punctelor de intersecție a caracteristicilor de putere, duce la variația în salturi a caracteristicilor forței de tracțiune și a randamentului (v.fig.2-1).

În felul acesta, în zona de comutare, obținerea unor caracteristici de funcționare corespunzătoare ale locomotivei, este determinată de caracteristicile de comutare alese.

La anumite valori ale căderii forței de tracțiune și în anumite condiții de exploatare, procesul de comutare poate fi însoțit de o scădere a vitezei de mișcare. Dacă comutarea ar avea loc la aceeași viteză sau la viteze foarte apropiate, atât de la treapta inferioară la cea superioară cit și invers, atunci scăderea vitezei poate să aibă loc pînă la viteze de comutare inversă V_1 la care se produce comutarea pe treapta inferioară, iar trecerea pe treapta superioară nu mai are loc. Forța de tracțiune și viteza locomotivei iau valori corespunzătoare caracteristicilor de tracțiune, în consecință viteza de mișcare crește

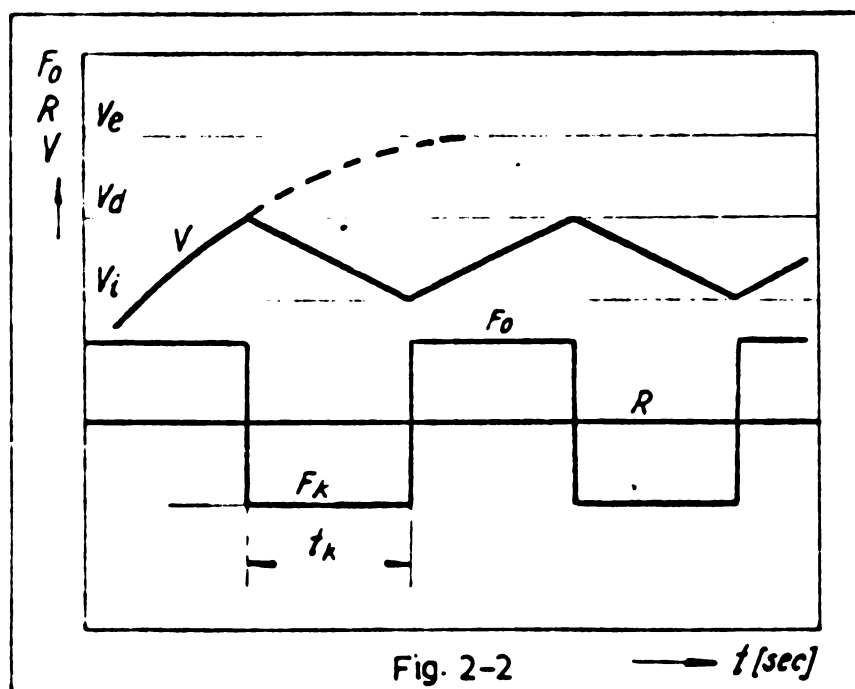


Fig. 2-2

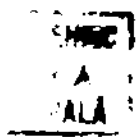
— t/sec

pînă la viteza de comutare directă V_d și reîncepe procesul de comutare (fig.2-2). Acest fenomen se repetă pînă cînd condițiile de mișcare se schimbă (rezistența de mișcare devine R') astfel ca viteza de echilibru V_e să devină mai mică decît viteza de comutare, adică viteza de echilibru V_e să aparțină domeniului de viteze

al treptei inferioare (fig.2-3).

Procesul de comutare, în acest caz, reprezintă o barieră a creșterii vitezei și a utilizării posibilităților locomotivei date de puterea ei, neputîndu-se depăși viteza de comutare directă V_d .

Pentru realizarea unui proces stabil de comutare, care



să evite acest fenomen, trebuie ca viteza de comutare inversă V_i să fie mai mică decît viteza de comutare directă V_d cu o valoare cel puțin egală cu căderea de viteză care apare la comutare, la orice regim de funcționare al motorului diesel.

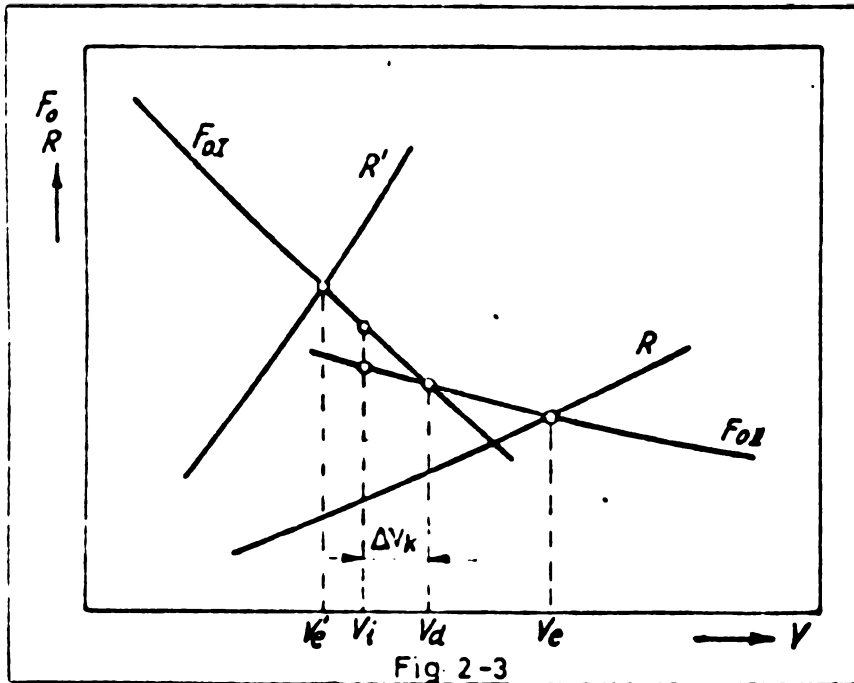


Fig. 2-3

Raportul:

$$S_k = \frac{V_i}{V_d} = 1 - \frac{\Delta V_k}{V_d} \quad (2.1)$$

în care: $\Delta V_k = V_d - V_i$, se numește coeficient de comutare. Valoarea acestui coeficient caracterizează stabilitatea procesului de comutare.

La micșorarea sarcinii motorului diesel, punctele de comutare se deplasează spre viteze de mișcare mai mici, astfel încît caracteristica de comutare care permite de exemplu utilizarea integrală a forței de tracțiune este reprezentată în figura 2-4 prin curba AB.

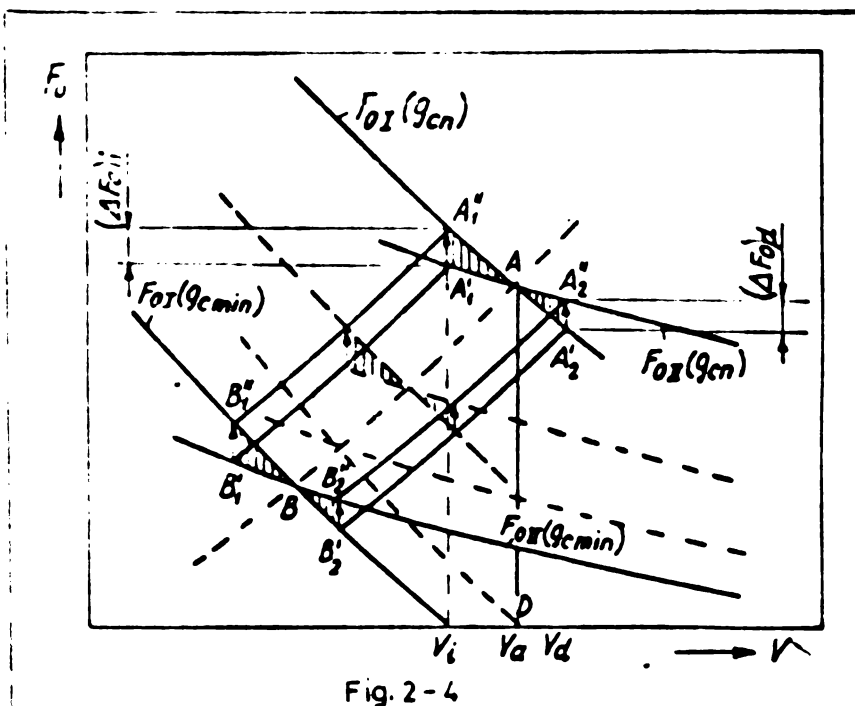


Fig. 2-4

La micșorarea sarcinii motorului diesel, punctele de comutare se deplasează spre viteze de mișcare mai mici, astfel încît caracteristica de comutare care permite de exemplu utilizarea integrală a forței de tracțiune este reprezentată în figura 2-4 prin curba AB. Pentru îndeplinirea condiției de stabilitate ($V_i < V_d$) și pentru obținerea unor caracteristici de tracțiune favorabile în zona de comutare caracteristicile de comutare trebuie deplasate: la comutarea directă spre viteze de mișcare mai mari (curba $A_2'B_2'$), iar la comutarea inversă spre viteze mai mici (curba $A_1'B_1'$). Rezultă deci, că la comutarea directă apare un salt al forței de tracțiune $(\Delta F_0)_d$ iar la comutarea inversă un salt $(\Delta F_0)_i$

și corespunzător un salt sau o cădere a randamentului locomotivei.

Saltul sau căderea forței de tracțiune, a randamentului și a puterii disponibile, cauzate de caracteristicile de comutare determină o reducere corespunzătoare a proprietăților de tracțiune și economice ale locomotivei. Valoarea reducerii proprietăților de tracțiune depinde, evident, de legea de variație a caracteristicilor de comutare, de aceea aceste caracteristici trebuie determinate din condiția ca valoarea reducerii proprietăților de tracțiune și economice să fie minim posibilă, asigurându-se totodată o funcționare stabilă.

Pentru determinarea caracteristicilor de comutare, astfel încât să fie îndeplinită condiția de mai sus, se introduc următoarele criterii :

- 1) coeficientul de utilizare a puterii motorului diesel;
- 2) coeficientul căderii randamentului transmisiei;
- 3) coeficientul de transmitere a puterii la oșă;
- 4) coeficientul căderii forței de tracțiune;
- 5) coeficientul de comutare.

Valorile acestor criterii, în zona de comutare, depind de parametrul agregatelor din circuitul de forță, de parametrul sistemului automat de comutare și de condițiile de exploatare ale locomotivei.

Valorile optime ale acestor criterii, considerând regimurile de funcționare ca regimuri staționare, determină caracteristicile de comutare.

2.2. Stabilirea criteriilor de comutare.

2.2.1. Coeficientul de utilizare a puterii motorului diesel.

În zona de comutare, acest coeficient se definește astfel:

$$\varphi_k = \frac{P_{dI}}{P_{dII}} \quad (2.2)$$

În această relație, cît și în relațiile care urmează, cu I se notează treapta de viteze I (în general treapta inferioară), iar cu II - treapta de viteze II (în general treapta

următoare, superioară, de viteze).

În funcție de coeficienții de utilizare a puterii φ_{dI} pe treapta I de viteze și φ_{dII} pe treapta II de viteze, coeficientul φ_k se poate scrie:

$$\varphi_k = \frac{P_{dI}}{P_{dmax}} \cdot \frac{P_{dmax}}{P_{dII}} = \frac{\varphi_{dI}}{\varphi_{dII}} \quad (2.3)$$

Pentru utilizarea integrală a puterii motorului diesel, coeficientul φ_d , pe o anumită treaptă de viteze, trebuie să aibă valoarea maximă $\varphi_{dmax} = 1$. Această valoare se poate obține la toate vitezele numai dacă se utilizează transformatoare ne-transparente a căror parabolă de putere să intersecteze caracteristica externă a motorului la turația nominală, acest fapt avându-se în vedere la proiectarea locomotivei [4], [13].

În zona de comutare, pentru utilizarea cât mai completă a puterii motorului diesel și, deci, pentru evitarea căderilor de turație ale motorului diesel, coeficientul φ_k trebuie să fie:

$$\varphi_k = 1 \quad (2.4)$$

Din această relație se poate determina caracteristica de comutare $F_k = f_1(V)$ și programul de comutare $n_1 = f_2(n_2)$ care să asigure o variație continuă a puterii motorului diesel la schimbarea treptelor de viteze.

Dacă:

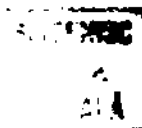
$\varphi_k < 1$ - puterea motorului diesel este utilizată necorespunzător la funcționarea pe treapta superioară de viteze;

$\varphi_k > 1$ - puterea motorului diesel este utilizată necorespunzător la funcționarea pe treapta inferioară de viteze.

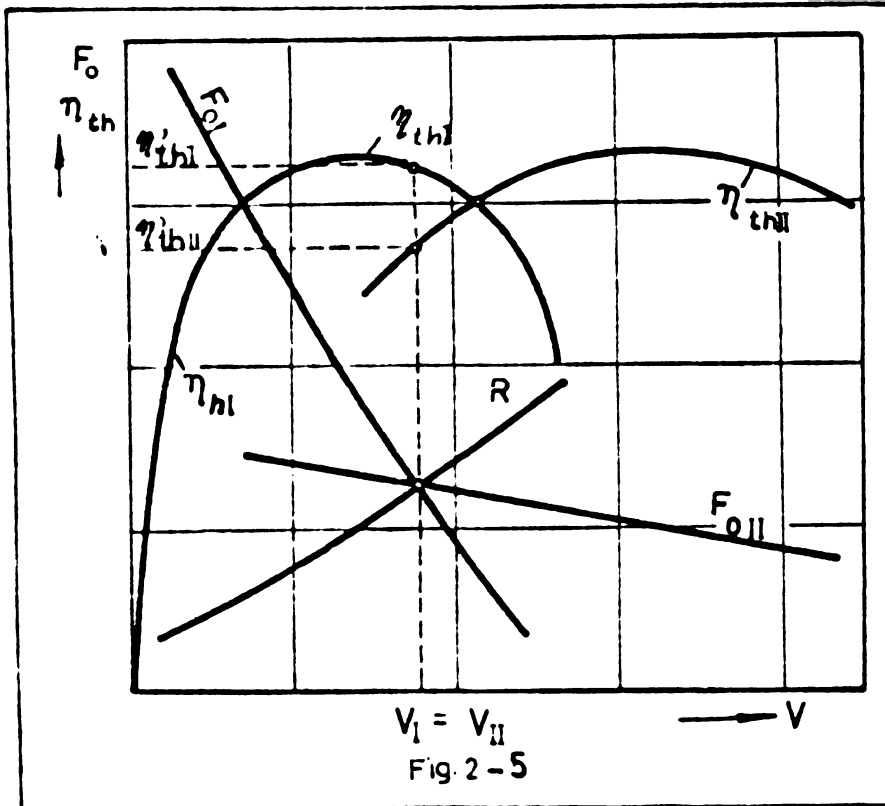
2.2.2. Coeficientul căderii randamentului transmisiei.

O altă condiție care se impune în zona de comutare este obținerea unui randament maxim posibil al grupului motor diesel - transmisia hidraulică.

Obținerea unui randament maxim este o condiție de mare



importanță deoarece locomotiva în anumite condiții de exploatare, poate circula o perioadă de timp la vitezele din zona de



comutare. Astfel pentru rezistența de mers R , locomotiva funcționând pe treapta I circulă la viteza constantă V_I cu un randament η_{thI} , iar pe treapta II cu viteza $V_I = V_{II}$ și randamentul $\eta_{thII} < \eta_{thI}$ (fig. 2-5).

Locomotiva funcționează cu un randament maxim posibil în zona de comutare dacă schimbarea treptelor de viteze se face la vitezele

corespunzătoare punctelor a, b, c, d de intersecție a caracteristicilor randamentului (fig. 2-6). Curbei $abcd$, îi corespunde în câmpul caracteristicilor forței de tracțiune, caracteristica de comutare $A_1B_1C_1D_1$ la trecerea de pe o treaptă inferioară pe una superioară (comutarea directă), respectiv caracteristica de comutare $A_2B_2C_2D_2$ la trecerea de pe o treaptă superioară pe una inferioară (comutarea inversă).

Aceste caracteristici de comutare, care asigură o funcționare a locomotivei cu un randament maxim posibil se determină din condiția ca raportul între randamentul transmisiei pe treapta inferioară η_{tI} și randamentul pe treapta superioară η_{tII} să fie egal cu unitatea :

$$\frac{\eta_{tI}}{\eta_{tII}} = 1 \quad (2.5)$$

Raportul:

$$\delta\eta_t = \frac{\eta_{tI}}{\eta_{tII}}$$

se numește coeficientul căderii randamentului transmisiei în zona de comutare.

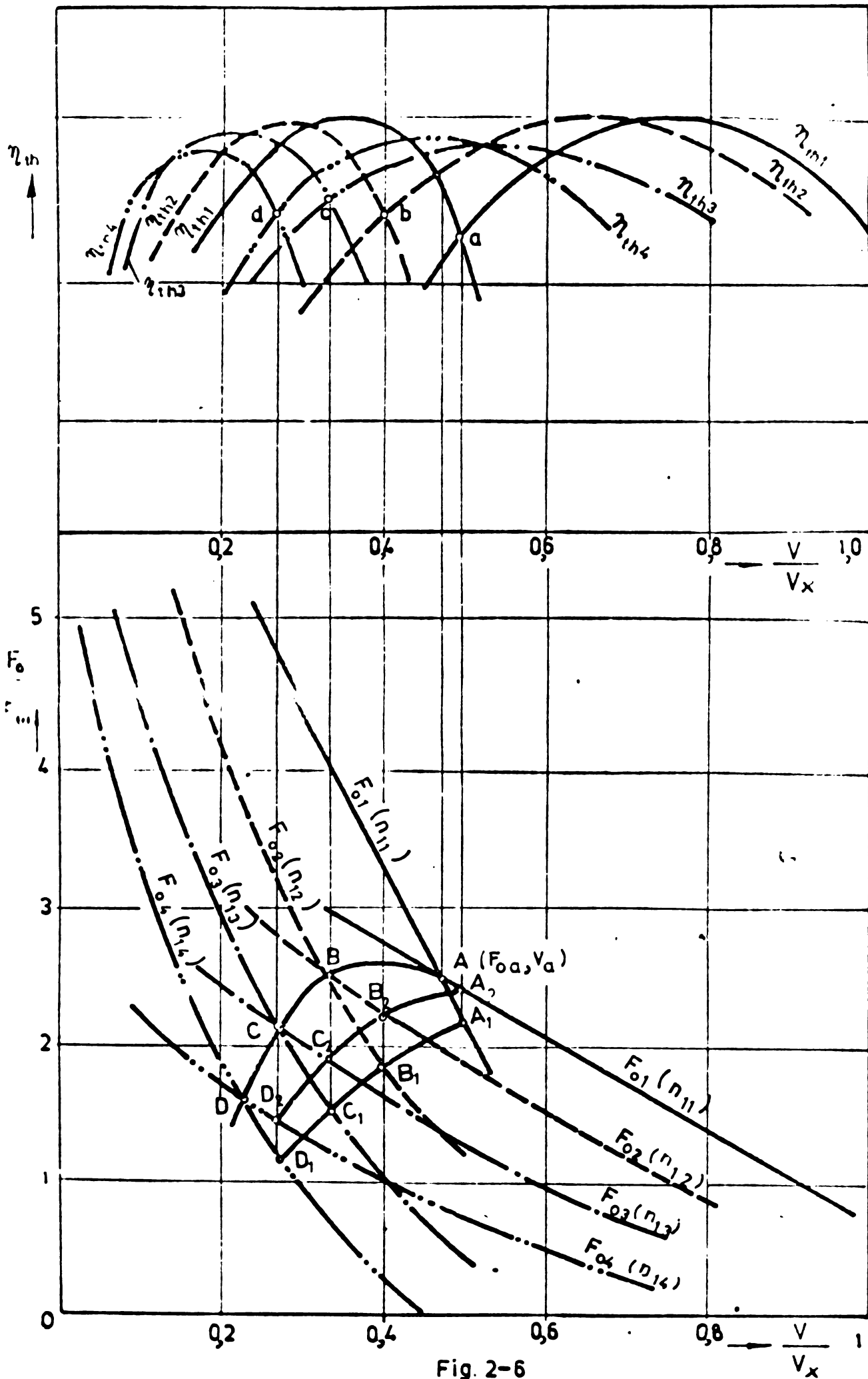


Fig. 2-6

Randamentul transmisiei este:

$$\eta_t = \eta_{th} \cdot \eta_m \quad (2.6)$$

în care: η_{th} este randamentul transmisiei hidraulice.

Randamentul transmisiei mecanice η_m de la ieșirea din transmisia hidraulică pînă la obadă, variază în limite foarte mici cu viteza, și de aceea, se poate considera constant și egal pe cele două trepte de viteze alăturate.

În acest caz coeficientul căderii randamentului $\delta\eta_t$ este:

$$\delta\eta_t = \frac{\eta_{thI}}{\eta_{thII}} \quad (2.7)$$

Coeficientul $\delta\eta_t$ depinde de parametrii motorului diesel și ai transmisiei. Deoarece η_{dh} este funcție de raportul de transformare a turației, $i_n = n_t/n_p$, și $\delta\eta_t$ este funcție de n_p și n_t .

Deci pentru ca locomotiva, în zona de comutare, să funcționeze cu un randament maxim posibil, care să aibă o variație continuă, schimbarea treptelor de viteze trebuie să se facă în punctele în care $\delta\eta_t = 1$.

Dacă comutarea nu se face după caracteristicile de comutare determinate din ecuația $\delta\eta_t - 1 = 0$, ci după o altă caracteristică de exemplu, după cea dată de intersecția forțelor de tracțiune, atunci caracteristicile randamentului locomotivei se obțin în trepte. Astfel:

$\delta\eta_t - 1 > 0$ corespunde unei căderi a randamentului ($\Delta\eta_t$) la trecerea pe treapta superioară și respectiv unei creșteri ($\Delta\eta_t$) la trecerea pe treapta inferioară (fig.2-7);

$\delta\eta_t - 1 < 0$ corespunde unei creșteri a randamentului ($\Delta\eta_t$) la trecerea pe treapta superioară și respectiv unei căderi ($\Delta\eta_t$) la trecerea pe treapta inferioară (fig.2-8).

2.2.3. Coeficientul de transmitere a puterii la obada roții motoare.

Gradul de utilizare a puterii la obadă, în zona de

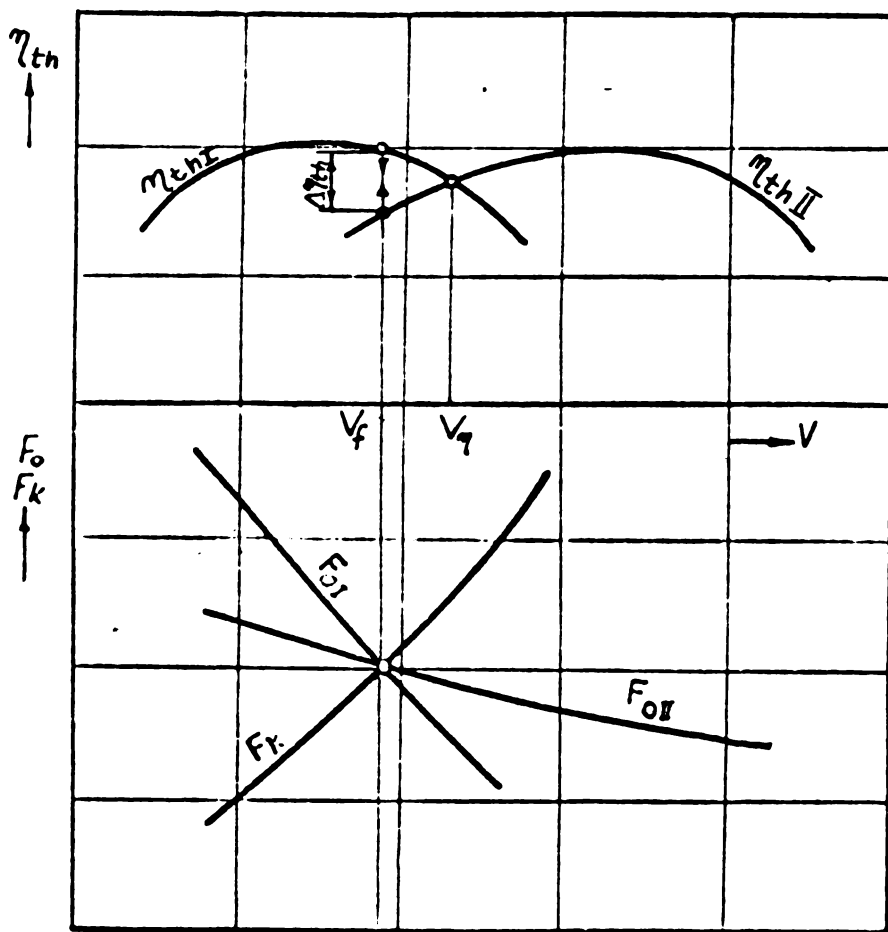


Fig. 2-7

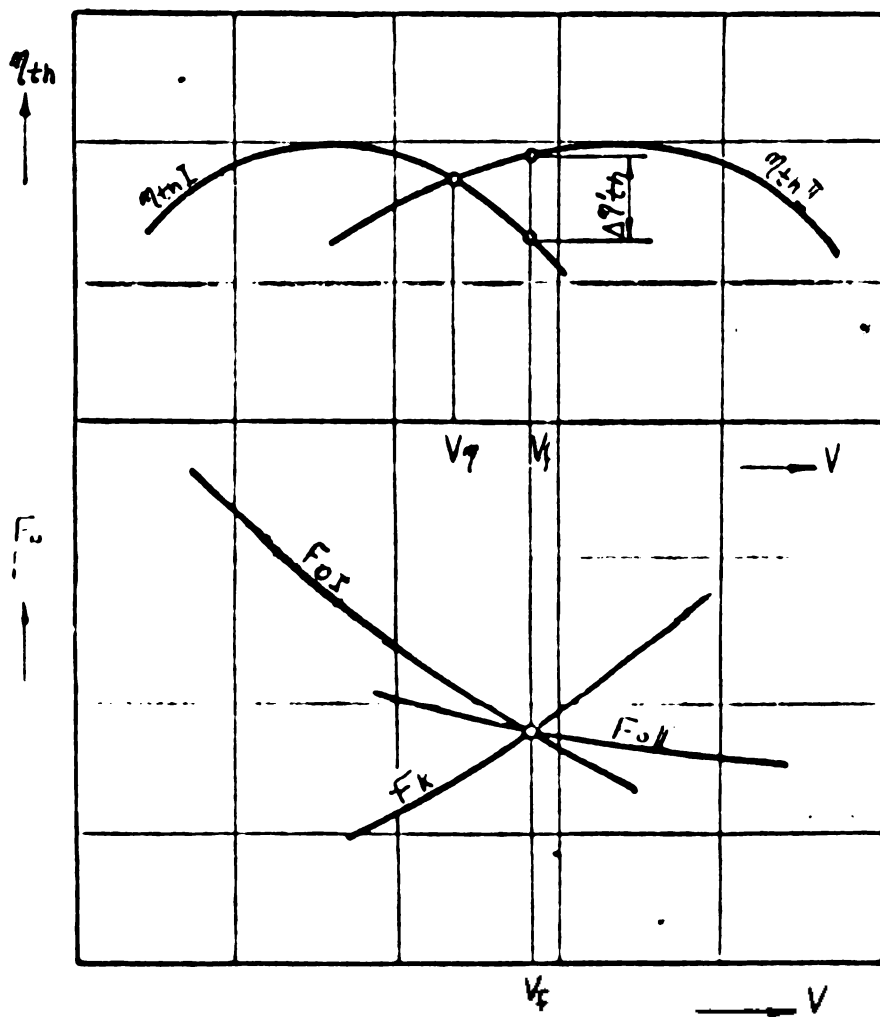


Fig. 2-8

comutare, este determinat de coeficientul :

$$\psi_k = \frac{\psi_{oI}}{\psi_{oII}} \quad (2.8)$$

în care:

$\psi_o = P_o/P_{dmax}$ este coeficientul de transmitere a puterii la obadă pe o anumită treaptă de viteze:

$$\psi_o = \frac{k F_o V}{P_{dmax}} \quad (2.9)$$

La o viteză constantă, din relațiile (2.8) și (2.9) rezultă:

$$\psi_k = \frac{F_{oI}}{F_{oII}} = \delta F_o \quad (2.10)$$

în care δF_o este căderea forței de tracțiune în procesul de comutare.

Din această relație rezultă că utilizarea forței de tracțiune, în procesul de comutare, este determinată, ca valoare, de coeficientul de transmitere a puterii la obadă.

Pe o anumită treaptă de viteze, coeficientul de transmitere a puterii la obadă se poate scrie :

$$\psi_o = \frac{P_o}{P_{dmax}} = \frac{\eta_m \cdot P_d \cdot \eta_{th}}{P_{dmax}}$$

Deoarece $P_d/P_{dmax} = \varphi_d$, iar randamentul η_m se modifică neînsemnat la schimbarea regimului de lucru al motorului diesel, astfel că $\eta_m = \text{const.}$ rezultă:

$$\psi_o = \eta_m \cdot \eta_{th} \cdot \varphi_d \quad (2.11)$$

Din relațiile (2.8) și (2.11) rezultă :

$$\psi_k = \frac{\eta_{thI} \cdot \varphi_{dI}}{\eta_{thII} \cdot \varphi_{dII}} = \psi_k \cdot \delta \eta_t \quad (2.12)$$

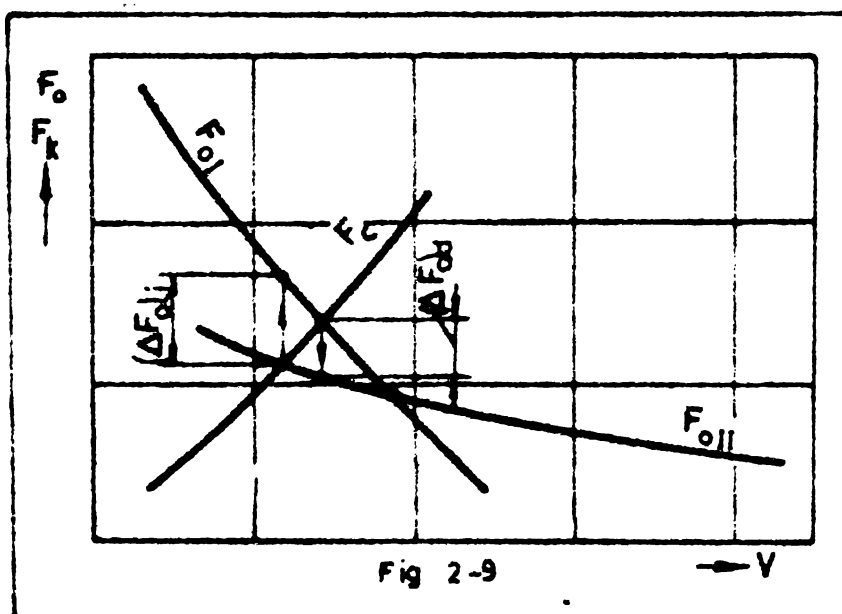
Pentru obținerea unei puteri maxime la obada locomotivei și caracteristici ale forței de tracțiune fără salturi, este necesar ca valoarea coeficientului de transmitere a puterii să aibă valoarea:

$$\psi_k = 1 \quad (2.13)$$

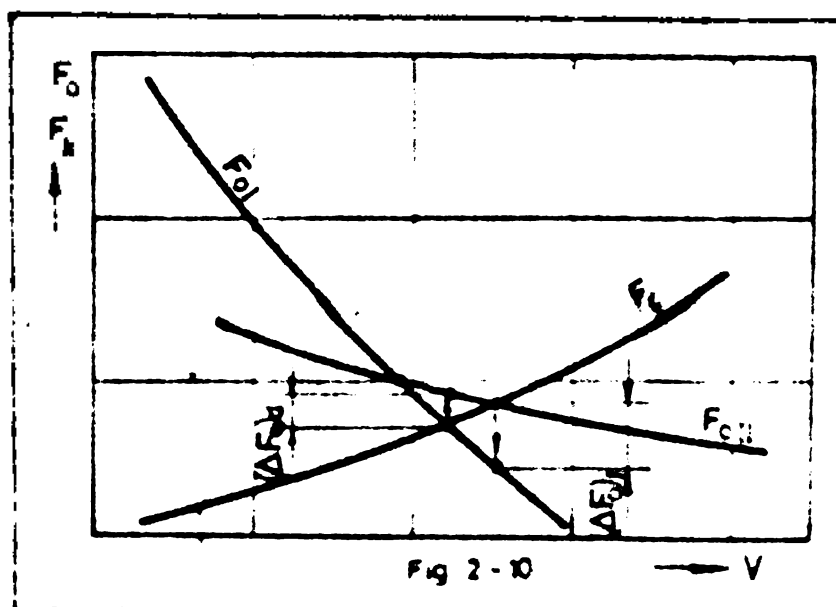
Ecuația (2.13) determină caracteristica de comutare A B C D (fig.2-6).

În cazul în care comutarea nu se face după caracteristica B C D pentru care $\psi_k - 1 = 0$, ci după o altă caracteristică, astfel încât :

$\psi_k - 1 > 0$ - rezultă o cădere a forței de tracțiune $(\Delta F_0)_d$ la trecerea pe treapta superioară, respectiv un salt al forței de tracțiune $(\Delta F_0)_i$ la trecerea pe treapta inferioară (fig.2-9);



$\psi_k - 1 < 0$ - rezultă un salt al forței de tracțiune $(\Delta F_0)_d$ la trecerea pe treapta superioară, respectiv o cădere a forței de tracțiune $(\Delta F_0)_i$ la trecerea pe treapta inferioară. (fig 2-10)



În cazul utilizării transformatoarelor netransparente $\psi_d = 1$, deci $\psi_k = 1$ și

$$\psi_k = \delta\eta_t$$

Încă transformatoarele netransparente sînt și identice $\delta\eta_t = 1$, deci $\psi_k = 1$.

2.2.4. Coeficientul de comutare.

Determinarea caracteristicilor de comutare numai în funcție de parametrii agregatelor din circuitul de forță și de condițiile concrete de utilizare ale locomotivei, nu este suficientă. La asigurarea unei funcționări normale a locomotivei, au o mare influență parametrii sistemului de comandă automată a comutării treptelor de viteze, dintre care cei mai importanți sînt:

- valoarea coeficientului de comutare S_k ;
- timpul de comutare t_k .

Timpul total de comutare este determinat de constantele de timp ale elementelor sistemului de comandă automată, dintre care ponderea cea mai mare o are constanta de timp a transmisiei hidraulice, adică timpul de umplere și de golire a transformatoarelor [43], [44].

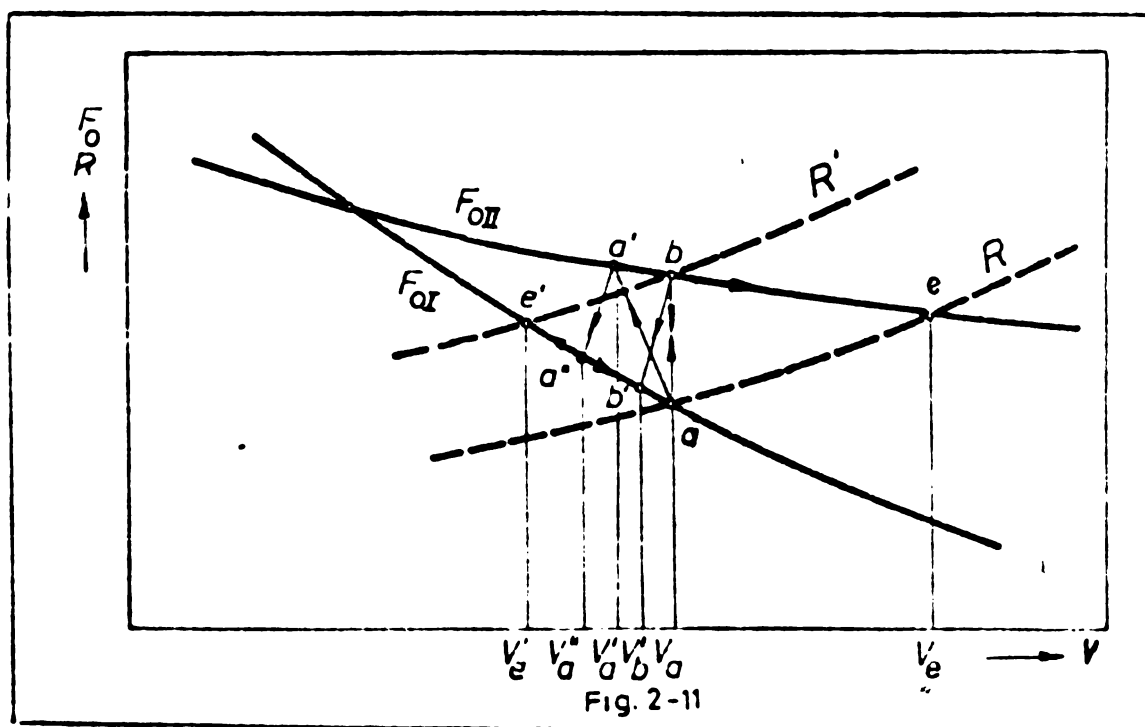
Presupunînd că timpul de comutare este infinit de mic se poate afirma că procesul de comutare după curba $(F_{of}/F_{oi}) = f_1(V/V_x)$ la care căderea forței de tracțiune este zero (curba ABCD din figura 2-6) are un caracter stabil, adică este exclusă posibilitatea apariției autooscilațiilor.

Dacă comutarea se realizează după caracteristica $(F_{o7}/F_{oi}) = f_2(V/V_x)$ la care căderea randamentului este zero (curba $A_1B_1C_1D_1$ din figura 2-6), la atingerea vitezei V_a (rezistența R) se produce comutarea pe treapta superioară (a - b), după care locomotiva se accelerează pînă la o viteză de echilibru $V_e > V_a$ determinată de punctul de intersecție a rezistenței la mers cu curba forței de tracțiune (2-11). La creșterea rezistenței la mers pînă la R' , viteza se reduce, iar cînd a ajuns la valoarea V_g are loc comutarea pe treapta inferioară și reducerea în continuare a vitezei pînă la noua viteză de echilibru $V'_e < V_a$. În cazul ideal, adică atunci cînd timpul de comutare este zero, rezultă că funcționarea sistemului este stabilă.

În realitate, procesul de comutare se produce într-un

anumit interval de timp, și nu poate fi caracterizat numai printr-o singură caracteristică de comutare. Astfel, în figura 2-11 la comutarea de la treapta inferioară la cea superioară, viteza de mișcare scade pînă la V'_a , valoarea reducerii vitezei depinzînd de durata procesului de comutare și de rezistența la mers. Deoarece $V'_a < V_a$ este inevitabilă conectarea treptei inferioare cu scăderea vitezei pînă la V''_a . După terminarea procesului de comutare a treptei inferioare, are loc o accelerare a locomotivei (întrucît $F_0 > R$) pînă la atingerea vitezei V_a , conectarea treptei superioare deci repetarea procesului. Pentru asigurarea unei funcționări stabile trebuie ca viteza la comutarea inversă V_1 să îndeplinească condiția:

$$V_1 < V_a - \Delta V_k ; \quad \Delta V_k = V_a - V'_a$$



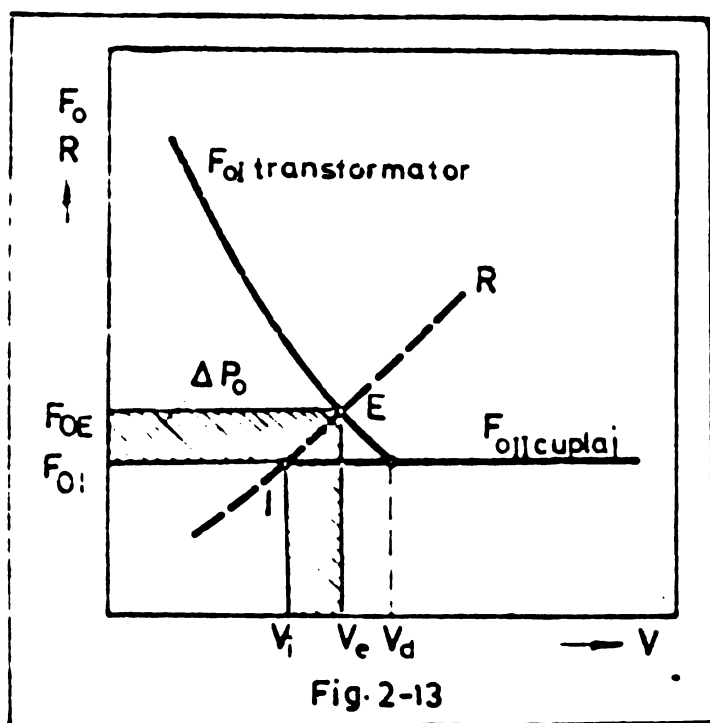
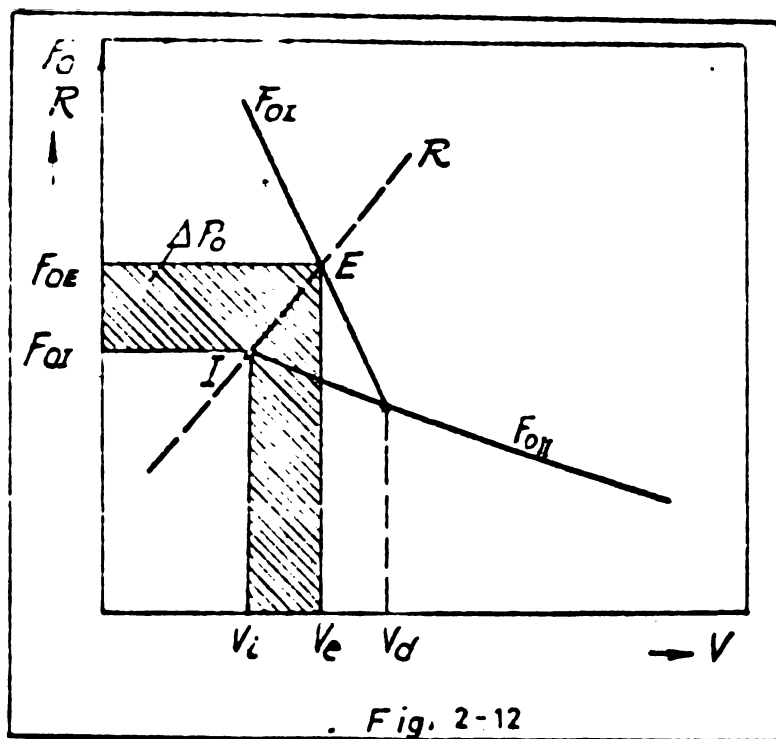
Comutarea de la treapta superioară la cea inferioară (rezistența fiind R') determină scăderea vitezei de la V_a la V'_b și apoi după caracteristica forței de tracțiune pînă la V'_e .

Viteza de comutare directă și inversă este dată de parametrii elementelor sistemului automat și depinde de construcția și reglarea lui.

Valoarea coeficientului de comutare S_k , depinde în special de construcția și reglarea elementului sensibil al sistemului automat, iar căderea de viteză ^{care} are loc în timpul procesului de comutare, depinde de valoarea căderii forței de tracțiune, de rezistența la mers și de timpul de comutare.

Timpul de comutare și valoarea forței de tracțiune, depinde de construcția tuturor elementelor sistemului automat de comutare și într-o anumită măsură de regimul de funcționare al locomotivei.

La o valoare mică a coeficientului S_k dispăre pericolul apariției fenomenului de autooscilare la comutarea directă. Dar micșorarea lui S_k determină creșterea intervalului ($V_d - V_i$) în care locomotiva poate funcționa în două regimuri:



- mișcarea locomotivei cu creșterea vitezei (la un regim anterior comutării directe);

- mișcarea locomotivei cu micșorarea vitezei (la un regim anterior comutării inverse).

Dacă locomotiva înaintea comutării inverse are viteză apropiată de V_i (fig.2-12, punctul I) atunci pe orice porțiune de cale și cu aceeași garnitură (rezistența trenului nemodificată) la primul regim (înaintea comutării directe) locomotiva are o viteză și o forță de tracțiune corespunzătoare punctului E (fig.2-12).

Suprafața hașurată din figura 2-12 reprezintă valoarea cu care se micșorează puterea la obadă la funcționarea locomotivei în regimul al 2-lea (cînd treapta a 2-a este realizată cu un transformator hidraulic).

In figura 2-13 este

reprezentat cazul cînd pe treapta a doua se utilizează un cuplaj hidraulic.

Cu cît coeficientul S_k are o valoare mai mică, pierderile datorită folosirii incomplete a puterii motorului diesel se măresc, dar crește domeniul de stabilitate a procesului de comutare.

2.3. Determinarea criteriilor de comutare.

2.3.1. Definirea transparenței transformatoarelor hidraulice.

Transformatoarele la care sarcina la arborele de intrare nu se modifică cu modificarea sarcinii la arborele de ieșire, se numesc transformatoare netransparente. La aceste transformatoare $\gamma\lambda_p = \text{const.}$

Transformatoarele transparente sînt transformatoarele, la care o dată cu modificarea sarcinii la arborele de ieșire se modifică și sarcina la arborele de intrare [6], [30], [31], [42], [52]. Deci la aceste transformatoare: $\partial(\gamma\lambda_p)/\partial i_n \neq 0$.

Gradul de transparență al unui transformator se apreciază după valorile coeficientului de transparență T și este apreciat de diverși autori în mod diferit.

Astfel în [6] se definește gradul de transparență prin raportul între valorile coeficientului cuplului pompei $\gamma\lambda_p$ la extremitățile intervalului valorilor i_n care definesc zona de utilizare a transformatorului respectiv, adică :

$$T_u = \frac{\gamma\lambda_{pm}(i_n=i_{nmin})}{\gamma\lambda_{pM}(i_n=i_{nmax})}$$

Literatura [30], [45] recomandă pentru gradul de transparență raportul între valorile lui $\gamma\lambda_p = \gamma\lambda_{ps}$ la regimul de pornire ($i_n = 0$) și la regimul de cuplaj adică $i_n = i_{nc}$ la care $k = Q_q/Q_p = 1$, adică $\gamma\lambda_p = \gamma\lambda_{pk}$:

$$T_k = \frac{\gamma\lambda_{ps}}{\gamma\lambda_{pk}}$$

În lucrarea [26] se definește gradul de transparență astfel :

$$T_0 = \frac{\gamma \lambda_{p6}}{\gamma \lambda_{p0}}$$

în care $\gamma \lambda_{p0}$ reprezintă valoarea coeficientului $\gamma \lambda_p$ la regimul de calcul al transformatorului, adică la $i_n = i_{n0}$; $\eta_{tr} = \eta_{trmax}$.

Criteriile de transparență T_u , T_k , T_0 pentru un tip dat de transformator sînt mărimi constante, nedepinzînd nici de legea de variație a caracteristicilor transformatorului și nici de caracteristicile motorului. Trebuie avut în vedere că pentru unul și același transformator cele trei criterii au valori diferite.

În literatură [30] se dă valoarea transparenței, prin modificarea turației motorului care antrenează transmisia, la sarcina maximă. Această mărime nu dă o imagine reală asupra caracteristicilor transformatorului, deoarece variația turației arborelui motor este determinată nu numai de caracteristicile transformatorului, ci și de caracteristicile motorului.

Utilizarea criteriului T_k apare justificată numai în cazul transformatoarelor complexe și oarecum în cazul transmisiilor compuse din transformatoare și cuplaje hidraulice.

Mai justificată apare utilizarea criteriului T_u , deoarece cu excepția transformatorului de demaraj, nu interesează caracteristicile transformatorului în afara zonei de utilizare. Însă și aici "se pune sub semnul întrebării" cunoașterea precisă a mărimii zonei de utilizare a transformatorului, adică a valorilor i_{nmin} și i_{nmax} . Valoarea i_{nmax} a transformatorului de demaraj și valoarea i_{nmin} a transformatorului de mers (în cazul transmisiilor cu două trepte de viteze hidraulice) sînt determinate de caracteristicile de comutare și pot fi stabilite numai după cunoașterea caracteristicilor de comutare. În plus aceste mărimi au valori diferite la comutarea directă și la comutarea inversă, deoarece aceste comutări se fac la viteze diferite, adică la i_n diferiți.

Criteriul T_u se utilizează la calculul transmisiilor [52].

De aceea, e firesc, ca la determinarea caracteristicilor de comutare, să se utilizeze un criteriu de transparență independent de poziția caracteristicilor de comutare și anume:

$$T_s = \frac{r\lambda_{ps}}{r\lambda_{pn}}$$

Valoarea coeficientului cuplului pompei $r\lambda_{pn}$ la turația nominală a motorului diesel, pentru un anumit tip de transformator, este constantă:

$$r\lambda_{pn} = \frac{C_{pn}}{n_{pn}^2 \cdot D^5} = \text{const.}$$

în care C_{pn} este cuplul pompei la turația nominală a motorului diesel.

Transparența unui transformator este caracterizată nu numai prin gradul de transparență ci și prin legea de variație a coeficientului cuplului pompei în funcție de i_n .

Transformatoarele utilizate pe locomotive au în general o transparență mică $T_s \in (0,8; 1,2)$ [6], [18], [20]. Desigur că la funcționarea în comun a unui transformator transparent cu un motor diesel, apare o reducere a turației motorului diesel cu atât mai mare cu cât abaterea transparenței de la valoarea $T_s = 1$ este mai mare. Pentru aceste valori ale transparenței, caracteristica coeficientului cuplului pompei poate fi exprimată prin următoarele funcții [51], [52], [70]:

- pentru transformatoarele cu transparență liniară:

$$\frac{r\lambda_p}{r\lambda_{pn}} = (1 - T_s) \frac{i_n}{i_{nn}} + T_s$$

Deoarece:

$$\frac{i_n}{i_{nn}} = \frac{i_t}{i_{tn}} = \frac{n_2}{n_{2n}} \cdot \frac{n_{dn}}{n_d} = \frac{V}{V_n} \cdot \frac{n_{dn}}{n_d} = \frac{V}{V_x} \cdot \frac{V_x}{V_n} \cdot \frac{n_{dn}}{n_d},$$

$$\frac{r\lambda_p}{r\lambda_{pn}} = (1 - T_s) \frac{V_x}{V_n} \cdot \frac{V}{V_x} \cdot \frac{n_{dn}}{n_d} + T_s \quad (2.14)$$

în care:

V_n este viteza locomotivei corespunzătoare turației nominale n_{dn} a motorului diesel;

V_x - viteza maximă a locomotivei;

$i_t = \frac{n_2}{n_d}$ - raportul între turația arborelui de ieșire și a celui de intrare din transmisia hidraulică;

$$i_{2n} = \frac{n_{2n}}{n_{dn}} ;$$

i_{2n} - turația arborelui de ieșire din transmisia hidraulică corespunzătoare turației nominale a motorului diesel.

- pentru transformatoare cu transparentă parabolică:

$$\frac{\gamma \lambda_p}{\gamma \lambda_{pn}} = b_1 \left(\frac{i_n}{i_{nn}} \right)^2 + b_2 \frac{i_n}{i_{nn}} + T_s$$

sau ținînd seama de notațiile anterioare :

$$\frac{\gamma \lambda_p}{\gamma \lambda_{pn}} = b_1 \left(\frac{V_x}{V_n} \cdot \frac{V}{V_x} \cdot \frac{n_{dn}}{n_d} \right)^2 + b_2 \frac{V_x}{V_n} \cdot \frac{V}{V_x} \cdot \frac{n_{dn}}{n_d} + T_s \quad (2.15)$$

2.3.2. Calculul coeficientului de utilizare a puterii motorului diesel.

Coeficientul de utilizare a puterii motorului diesel în zona de comutare φ_k este definit de relația (2.3). Pentru determinarea acestui coeficient trebuie cunoscută dependența coeficientului φ_d pe o anumită treaptă de viteze în funcție de viteza de mers.

Coeficientul de utilizare a puterii motorului diesel φ_d pe o anumită treaptă depinde atât de parametrii motorului cât și de parametrii transmisiei.

În funcție de parametrii motorului, coeficientul φ_d este:

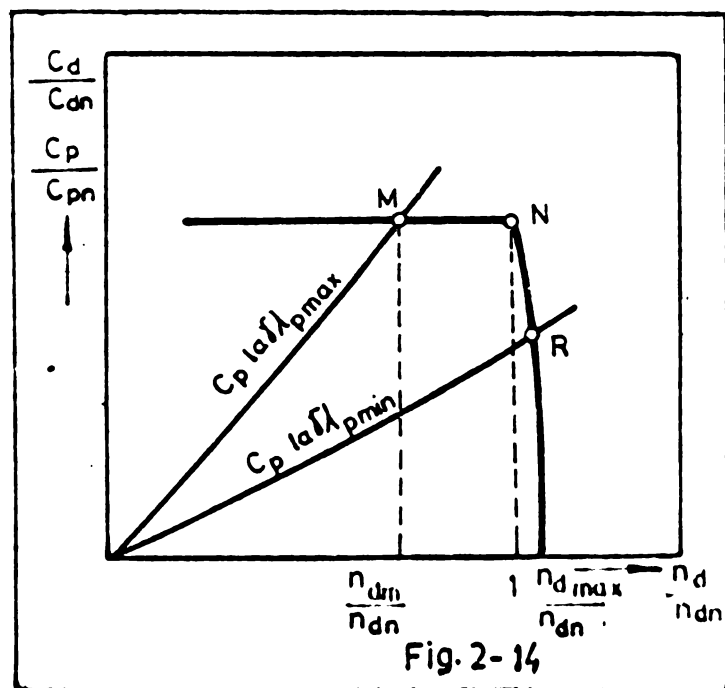
$$\varphi_d = \frac{P_d}{P_{dmax}} = \frac{C_d n_d}{C_{dmax} n_{dn}} \quad (2.16)$$

Pentru exprimarea analitică a dependenței $\varphi_d = \varphi_d(n_d, n_t)$ se aproximează caracteristicile motorului diesel prin polinoame. Pentru o anumită caracteristică, gradul polinomului se alege în funcție de modul de desfășurare al procesului descris și de gradul de precizie necesar.



În cazul locomotivelor diesel cu transmisie hidraulică compusă din transformatoare, gradul polinomului se alege luând în considerare variația maximă a puterii preluate de transmisie la modificarea vitezei de mers și la funcționarea motorului la o injecție constantă. La transformatoarele transparente valoarea reducerii puterii motorului, față de puterea nominală, este determinată de mărimea gradului de transparență al transformatorului.

La transformatoarele utilizate pe locomotivele diesel la valori ale transparenței cuprinse în limitele arătate $T_s \in (0,8; 1,2)$, reducerea turației motorului este relativ mică și anume $n_d/n_{dn} \geq 0,8$ la funcționarea motorului la sarcina nominală, pe caracteristica externă de turație (unde valoarea reducerii turației este maximă), iar la funcționarea pe caracteristica de regulator la sarcina nominală ($n_d > n_{dn}$) cuplul se micșorează, de asemenea în limite relativ mici (fig.2-14).



Rezultă, deci, că punctele de funcționare în comun a motorului diesel cu transformatorul hidraulic se găsesc pe porțiunile MN, respectiv NR ale caracteristicilor motorului, care se pot aproxima cu suficientă precizie prin funcțiile liniare [6], [65]:

$$\frac{C_d}{C_{dn}} = \begin{cases} 1 & \text{pentru } \frac{n_d}{n_{dn}} \in \left[\frac{n_{dn}}{n_{dn}}, 1 \right] \\ a_{2r} - a_{1r} \frac{n_d}{n_{dn}} & \text{pentru } \frac{n_d}{n_{dn}} \in \left[1, \frac{n_{dmax}}{n_{dn}} \right] \end{cases} \quad (2.17)$$

în care:

$$a_{1r} = \frac{1}{\delta_{nr}^{-1}}; \quad a_{2r} = \frac{\delta_{nr}}{\delta_{nr}^{-1}} \quad \text{și} \quad \delta_{nr} = \frac{n_{dm\max}}{n_{dn}}$$

Pentru stabilirea dependenței coeficientului φ_d de viteza locomotivei trebuie cunoscută variația turației motorului diesel în funcție de viteză. Această dependență se determină din relația fundamentală a grupului motor diesel - transmisie hidraulică, în regim staționar de funcționare.

Considerînd pierderile pentru instalațiile auxiliare constante ($\beta = \text{const.}$)

$$\frac{C_d}{C_{d\max}} = \frac{C_p}{C_{pn}} = \frac{\gamma\lambda_p n_p^2 D^5}{\gamma\lambda_{pn} n_{pn}^2 D^5} = \frac{\gamma\lambda_p}{\gamma\lambda_{pn}} \left(\frac{n_p}{n_{pn}}\right)^2 \quad (2.19)$$

Deoarece: $\frac{n_d}{n_{dn}} = \frac{n_p}{n_{pn}}$ și $\frac{C_d}{C_{dn}} = \frac{C_e}{C_{en}}$ (considerînd $\beta = \frac{P_e}{P_d} = \text{const.}$)

din relațiile (2.17), (2.18) și (2.19) se obține turația motorului diesel în funcție de coeficientul $\gamma\lambda_p / \gamma\lambda_{pn}$:

$$\frac{n_d}{n_{dn}} = \begin{cases} \sqrt{\frac{\gamma\lambda_{pn}}{\gamma\lambda_p}} & \text{pentru } \frac{\gamma\lambda_p}{\gamma\lambda_{pn}} \in \left[1, \frac{\gamma\lambda_{p\max}}{\gamma\lambda_{pn}}\right] \end{cases} \quad (2.20)$$

$$\frac{n_d}{n_{dn}} = \begin{cases} -\frac{a_{1r}}{2} \cdot \frac{\gamma\lambda_{pn}}{\gamma\lambda_p} + \sqrt{\left(\frac{a_{1r}}{2} \cdot \frac{\gamma\lambda_{pn}}{\gamma\lambda_p}\right)^2 + a_{2r} \frac{\gamma\lambda_{pn}}{\gamma\lambda_p}} & \text{pentru } \frac{\gamma\lambda_p}{\gamma\lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma\lambda_{p\min}}{\gamma\lambda_{pn}}, 1\right] \end{cases} \quad (2.21)$$

Aceste relații sînt valabile la funcționarea motorului diesel pe caracteristica externă.

Cînd motorul diesel funcționează la sarcini parțiale, legea de variație a turației lui în funcție de viteza locomotivei depinde și de sistemul de reglaj al motorului.

La locomotivele diesel cu transmisie hidraulică compuse din transformatoare este avantajos să se utilizeze motoare diesel cu reglajul turației, deoarece la fracțiuni din turația maximă motorul se încarcă de asemenea cu fracțiuni din cuplul motor maxim și numai la turația maximă a motorului, transformatorul reclamă întregul cuplu motor și deci admisia completă [23].

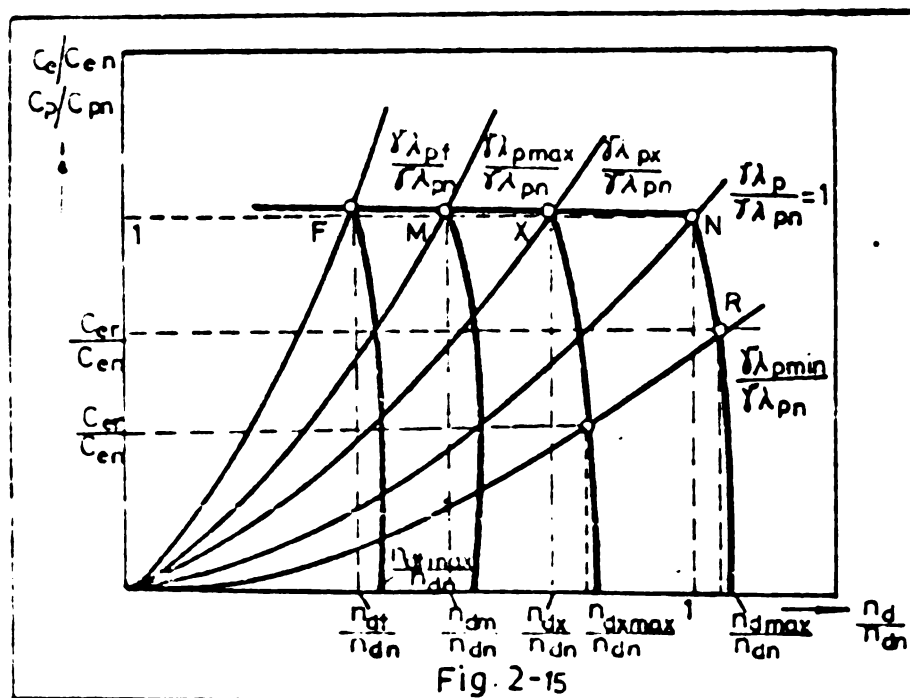
De altfel, în prezent, pe majoritatea locomotivelor cu transmisie hidraulică se utilizează motoare cu reglajul turației și de aceea în cele ce urmează se vor lua în considerare numai aceste motoare.

Caracteristicile de regulator, la sarcini parțiale ale motorului diesel (fig.2-15), sînt date de relația:

$$\frac{C_d}{C_{dx}} = a_{1x} - a_{2x} \frac{n_d}{n_{dx}} \quad (2.22)$$

în care:

$$a_{1x} = \frac{1}{\delta_{nx} - 1}; \quad a_{2x} = \frac{\delta_{nx}}{\delta_{nx} - 1} \quad \text{și} \quad \delta_{nx} = \frac{n_{dxmax}}{n_{dx}}$$



La determinarea caracteristicilor de comutare, pentru funcționarea motorului la sarcini parțiale pot apărea două cazuri de trecere pe caracteristica de regulator.

Cazul I : Turația motorului diesel corespunzătoare punctului X de intersecție a caracteristicii de regulator cu caracteristica exter-

nă este mai mare decât turația minimă n_{dm} (fig.2-15). Valoarea n_{dm} a turației motorului, corespunzătoare valorii maxime a coeficientului cuplului pompei din relația (2.20) pentru $\gamma\lambda_p = \gamma\lambda_{pmax}$:

$$n_{dm} = n_{dn} \sqrt{\frac{\gamma\lambda_{pn}}{\gamma\lambda_{pmax}}}$$

Coeficientul parabolei cuplului pompei $\gamma\lambda_{px}$, care trece prin punctul X este :

$$\frac{\gamma\lambda_{px}}{\gamma\lambda_{pn}} = \left(\frac{n_{dn}}{n_{dx}}\right)^2$$

Atunci ^{cind} $\gamma\lambda_p/\gamma\lambda_{pn} \geq \gamma\lambda_{px}/\gamma\lambda_{pn}$ turația motorului se calculează cu relația (2.20), iar pentru $\frac{\gamma\lambda_p}{\gamma\lambda_{pn}} < \frac{\gamma\lambda_{px}}{\gamma\lambda_{pn}}$ cu relația :

$$\frac{n_d}{n_{dn}} = \frac{n_{dx}}{n_{dn}} \left[-\frac{a_{1x}}{2} \cdot \frac{\gamma\lambda_{px}}{\gamma\lambda_p} + \sqrt{\left(\frac{a_{1x}}{2} \cdot \frac{\gamma\lambda_{px}}{\gamma\lambda_p}\right)^2 + a_{2x} \frac{\gamma\lambda_{px}}{\gamma\lambda_p}} \right] \quad (2.23)$$

în care:

$$a_{1x} = \frac{1}{\delta_{nx}-1} ; \quad a_{2x} = \frac{\delta_{nx}}{\delta_{nx}-1} \quad \text{și} \quad \delta_{nx} = \frac{n_{dxmax}}{n_{dx}}$$

Cazul II : Turația de funcționare a motorului diesel, corespunzătoare punctului de intersecție a caracteristicii externe cu caracteristica de regulator este mai mică decât turația minimă de funcționare, adică $n_{df} < n_{dm}$ (punctul F din figura 2-15). În acest caz, punctul F de intersecție a celor două caracteristici ale motorului, se găsește în exteriorul zonei de încărcare a motorului de către transformator. Pentru a păstra, însă, forma generală a formulelor de calcul, se determină coeficientul $\gamma\lambda_{pf}/\gamma\lambda_{pn}$ a parabolei fictive care trece prin punctul F :

$$\frac{\gamma\lambda_{pf}}{\gamma\lambda_{pn}} = \left(\frac{n_{dn}}{n_{df}}\right)^2$$

În acest caz, turația motorului diesel se poate determina cu relația (2.23) în care se înlocuiește n_{dx} prin n_{df} , $\gamma\lambda_{px}/\gamma\lambda_{pn}$ prin $\gamma\lambda_{pf}/\gamma\lambda_{pn}$ și coeficienții a_{1x} și a_{2x} prin valorile lor corespunzătoare caracteristicii de regulator respective:

$$\frac{n_d}{n_{dn}} = \frac{n_{df}}{n_{dn}} \left[-\frac{a_{1f}}{2} \cdot \frac{\gamma\lambda_{pf}}{\gamma\lambda_p} + \sqrt{\left(\frac{a_{1f}}{2} \cdot \frac{\gamma\lambda_{pf}}{\gamma\lambda_p}\right)^2 + a_{2f} \frac{\gamma\lambda_{pf}}{\gamma\lambda_p}} \right] \quad (2.24)$$

în care:

$$a_{1f} = \frac{1}{\delta_{nf}-1} ; \quad a_{2f} = \frac{\delta_{nf}}{\delta_{nf}-1} \quad \text{și} \quad \delta_{nf} = \frac{n_{dfmax}}{n_{df}}$$

Avînd în vedere cazurile arătate de funcționare a grupului motor diesel - transformator hidraulic se poate determina variația turației motorului în funcție de viteza locomotivei dacă se cunoaște dependența $\gamma\lambda_p/\gamma\lambda_{pn} = f(V)$. Această dependență se

poate stabili fie teoretic în funcție de parametrii principali ai transformatorului, fie plecând de la caracteristicile experimentale ale transformatorului.

Deoarece tema dată se referă la îmbunătățirea caracteristicilor de comutare ale locomotivelor cu transmisie hidraulică, stabilirea dependenței $f\lambda_p / f\lambda_{pn} = f(V)$ trebuie considerată pentru transmisiile hidraulice existente cu diferite curbe caracteristice stabilite experimental.

La sarcina nominală a motorului diesel dependența turației motorului diesel de viteza locomotivei, pe o anumită treaptă de viteze, rezultă din relațiile (2.14), (2.15), (2.20) și (2.21):

- în cazul utilizării unui transformator cu transparență liniară :

$$c_{1n} \frac{v}{v_x} + \sqrt{c_{1n}^2 \left(\frac{v}{v_x}\right)^2 + c_{2n}} \quad (2.25)$$

$$\text{pentru } \frac{f\lambda_p}{f\lambda_{pn}} \in \left[1, \frac{f\lambda_{pmax}}{f\lambda_{pn}} \right]$$

$$\frac{n_d}{n_{dn}} = \left\{ \begin{array}{l} c_{1n} \frac{v}{v_x} - c_{1r} + \sqrt{\left(c_{1n} \frac{v}{v_x} - c_{1r}\right)^2 + c_{2r}} \quad (2.26) \end{array} \right.$$

$$\text{pentru } \frac{f\lambda_p}{f\lambda_{pn}} \in \left[\frac{f\lambda_{pmin}}{f\lambda_{pn}}, 1 \right]$$

- în cazul utilizării unui transformator cu transparență parabolică :

$$-c'_{1n} \frac{v}{v_x} + \sqrt{\left[(c'_{1n})^2 - c'_{2n} \right] \left(\frac{v}{v_x}\right)^2 + \frac{1}{T_s}} \quad (2.27)$$

$$\text{pentru } \frac{f\lambda_p}{f\lambda_{pn}} \in \left[1, \frac{f\lambda_{pmax}}{f\lambda_{pn}} \right]$$

$$\frac{n_d}{n_{dn}} = \left\{ \begin{array}{l} -\left(c'_{1n} \frac{v}{v_x} + c'_{1r}\right) + \sqrt{\left(c'_{1n} \frac{v}{v_x} + c'_{1r}\right)^2 + c'_{2n} \left(\frac{v}{v_x}\right)^2 + c'_{2r}} \quad (2.28) \end{array} \right.$$

$$\text{pentru } \frac{f\lambda_p}{f\lambda_{pn}} \in \left[\frac{f\lambda_{pmin}}{f\lambda_{pn}}, 1 \right]$$

In aceste relații s-a notat:

$$c_{1n} = \frac{T_s - 1}{2T_s} \cdot \frac{V_x}{V_n} ; c_{2n} = \frac{1}{T_s} ; c'_{1n} = \frac{b_2}{2T_s} \cdot \frac{V_x}{V_n} ;$$

$$c'_{2n} = \frac{b_1}{T_s} \left(\frac{V_x}{V_n} \right)^2 ; c_{1r} = \frac{a_{1r}}{2T_s} ; c_{2r} = \frac{a_{2r}}{T_s} ;$$

$$c'_{1r} = \frac{a_{1r}}{2T_s} ; c'_{2r} = \frac{a_{2r}}{T_s}$$

La sarcini parțiale ale motorului diesel turația lui este :

- în cazul utilizării unui transformator cu transparență liniară :

$$c_{1n} \frac{V}{V_x} + \sqrt{c_{1n}^2 \left(\frac{V}{V_x} \right)^2 + c_{2n}} \quad (2.29)$$

$$\text{dacă } \frac{n_{dx}}{n_{dn}} \in \left[\frac{n_{dm}}{n_{dn}}, 1 \right] \text{ și } \frac{\gamma \lambda_p}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma \lambda_{px}}{\gamma \lambda_{pn}}, \frac{\gamma \lambda_{pmax}}{\gamma \lambda_{pn}} \right]$$

$$\frac{n_d}{n_{dn}} = \left\{ c_{1n} \frac{V}{V_x} - c_{1x} + \sqrt{\left(c_{1n} \frac{V}{V_x} - c_{1x} \right)^2 + c_{2x}} \quad (2.30)$$

$$\text{dacă } \frac{n_{dx}}{n_{dn}} \in \left[\frac{n_{dm}}{n_{dn}}, 1 \right] \text{ și } \frac{\gamma \lambda_p}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma \lambda_{pmin}}{\gamma \lambda_{pn}}, \frac{\gamma \lambda_{px}}{\gamma \lambda_{pn}} \right]$$

$$c_{1n} \frac{V}{V_x} - c_{1f} + \sqrt{\left(c_{1n} \frac{V}{V_x} - c_{1f} \right)^2 + c_{2f}} \quad (2.31)$$

$$\text{dacă } \frac{n_{dx}}{n_{dn}} \in \left(\frac{n_{dmin}}{n_{dn}}, \frac{n_{dm}}{n_{dn}} \right)$$

In aceste relații:

$$c_{1x} = \frac{a_{1x}}{2T_s} \cdot \frac{n_{dn}}{n_{dx}} ; c_{2x} = \frac{a_{2x}}{T_s} ; c_{1f} = \frac{a_{1f}}{2T_s} \cdot \frac{n_{dn}}{n_{df}} ; c_{2f} = \frac{a_{2f}}{T_s}$$

- în cazul utilizării unui transformator cu transparență parabolică :

$$-c'_{in} \frac{v}{v_x} + \sqrt{(c'_{in})^2 - c'_{2n} \left(\frac{v}{v_x}\right)^2 + \frac{i}{T_s}} \quad (2.32)$$

dacă $\frac{n_{dx}}{n_{dn}} \in \left[\frac{n_{dm}}{n_{dn}}, 1 \right]$ și $\frac{\gamma\lambda_p}{\gamma\lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma\lambda_{px}}{\gamma\lambda_{pn}}, \frac{\gamma\lambda_{pmax}}{\gamma\lambda_{pn}} \right]$

$$\frac{n_d}{n_{dn}} = \left\{ -\left(c'_{in} \frac{v}{v_x} + c'_{ix}\right) + \sqrt{\left(c'_{in} \frac{v}{v_x} + c'_{ix}\right)^2 - c'_{in} \left(\frac{v}{v_x}\right)^2 + c'_{2x}} \right. \quad (2.33)$$

dacă $\frac{n_{dx}}{n_{dn}} \in \left[\frac{n_{dm}}{n_{dn}}, 1 \right]$ și $\frac{\gamma\lambda_p}{\gamma\lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma\lambda_{pmin}}{\gamma\lambda_{pn}}, \frac{\gamma\lambda_{px}}{\gamma\lambda_{pn}} \right]$

$$-\left(c'_{in} \frac{v}{v_x} + c'_{if}\right) + \sqrt{\left(c'_{in} \frac{v}{v_x} + c'_{if}\right)^2 - c'_{2n} \left(\frac{v}{v_x}\right)^2 + c'_{2f}} \quad (2.34)$$

dacă $\frac{n_{dx}}{n_{dn}} \in \left(\frac{n_{dmin}}{n_{dn}}, \frac{n_{dm}}{n_{dn}} \right)$

în care:

$$c'_{ix} = \frac{a_{1x}}{2T_s} \cdot \frac{n_{dn}}{n_{dx}} \cdot \frac{C_{dx}}{C_{dn}} ; \quad c'_{2x} = \frac{a_{2x}}{T_s} \cdot \frac{C_{dx}}{C_{dn}} ;$$

$$c'_{if} = \frac{a_{1f}}{2T_s} \cdot \frac{n_{dn}}{n_{df}} ; \quad c'_{2f} = \frac{a_{2f}}{T_s}$$

Coeficientul de utilizare a puterii motorului diesel, pe o anumită treaptă de viteze, în funcție de regimul de funcționare a motorului diesel și de legea de variație a coeficientului de cuplu $\gamma\lambda_p/\gamma\lambda_{pn}$ a transformatorului hidraulic, rezultă :

- La sarcina nominală a motorului diesel:

$$\varphi_d = \frac{n_d}{n_{dn}} \quad \text{pentru} \quad \frac{n_d}{n_{dn}} \in \left[\frac{n_{dm}}{n_{dn}}, 1 \right] \quad (2.35)$$

în care n_d/n_{dn} se determină cu relația (2.25) pentru transformatoare cu transparență liniară, sau cu relația (2.27) pentru transformatoare cu transparență parabolică;

$$\varphi_d = (a_{2r} - a_{1r} \frac{n_d}{n_{dn}}) \frac{n_d}{n_{dn}} \text{ pentru } \frac{n_d}{n_{dn}} \in \left[1, \frac{n_{dmax}}{n_{dn}} \right] \quad (2.35)$$

în care n_d/n_{dn} se determină din relația (2.26) pentru transformatoare cu transparență liniară și respectiv din relația (2.28) pentru transparență parabolică.

- La sarcini parțiale ale motorului diesel:

$$\varphi_d = (a_{2x} - a_{1x} \frac{n_{dn}}{n_{dx}} \cdot \frac{n_d}{n_{dn}}) \cdot \frac{n_{dn}}{n_{dx}} \cdot \frac{n_d}{n_{dn}} \quad (2.37)$$

în care n_d/n_{dn} se determină din relațiile (2.29)...(2.34) în funcție de valoarea sarcinii parțiale a motorului diesel, de valoarea turației motorului diesel și de tipul transparenței transformatorului hidraulic.

Criteriul de comutare φ_k , la sarcina nominală a motorului diesel, așa cum rezultă din relațiile (2.3), (2.35) și (2.36) este :

$$\varphi_k = \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_I \cdot \left(\frac{n_{dn}}{n_d} \right)_{II} \quad (2.38)$$

$$\text{dacă } \frac{\gamma_{\lambda p I}}{\gamma_{\lambda p n}} \in \left[1, \frac{\gamma_{\lambda p I max}}{\gamma_{\lambda p n}} \right] \text{ și } \frac{\gamma_{\lambda p II}}{\gamma_{\lambda p n}} \in \left[1, \frac{\gamma_{\lambda p II max}}{\gamma_{\lambda p n}} \right]$$

$$\varphi_k = \frac{\left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_I \cdot \left(\frac{n_{dn}}{n_d} \right)_{II}}{a_{2r} - a_{1r} \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_{II}} \quad (2.39)$$

$$\text{dacă } \frac{\gamma_{\lambda p I}}{\gamma_{\lambda p n}} \in \left[1, \frac{\gamma_{\lambda p I max}}{\gamma_{\lambda p n}} \right] \text{ și } \frac{\gamma_{\lambda p II}}{\gamma_{\lambda p n}} \in \left[\frac{\gamma_{\lambda p II min}}{\gamma_{\lambda p n}}, 1 \right]$$

$$\varphi_k = \frac{a_{2r} - a_{1r} \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_I}{\left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_{II} \cdot \left(\frac{n_{dn}}{n_d} \right)_I} \quad (2.40)$$

$$\text{dacă } \frac{\gamma_{\lambda p I}}{\gamma_{\lambda p n}} \in \left[\frac{\gamma_{\lambda p I min}}{\gamma_{\lambda p n}}, 1 \right] \text{ și } \frac{\gamma_{\lambda p II}}{\gamma_{\lambda p n}} \in \left[1, \frac{\gamma_{\lambda p II max}}{\gamma_{\lambda p n}} \right]$$

$$\varphi_k = \frac{a_{2r} - a_{1r} \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_I}{a_{2r} - a_{1r} \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_{II}} \cdot \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_I \cdot \left(\frac{n_{dn}}{n_d} \right)_{II} \quad (2.41)$$

$$\text{dacă } \frac{\gamma\lambda_{pI}}{\gamma\lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma\lambda_{pImin}}{\gamma\lambda_{pn}}, 1 \right] \text{ și } \frac{\gamma\lambda_{pII}}{\gamma\lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma\lambda_{pIImin}}{\gamma\lambda_{pn}}, 1 \right]$$

In cazul cînd transmisia este formată din transformatoarele netransparente, turația motorului diesel nu depinde de viteza locomotivei. Motorul diesel poate, deci, funcționa practic la un regim constant atît timp cît injecția rămîne nemodificată :

$$\varphi_k = \varphi_{dI} = \varphi_{dII} = 1$$

2.3.3. Calculul coeficientului căderii randamentului transmisiei la comutare.

Căderea randamentului transmisiei $\delta\eta_t$ este definită prin relația (2.7).

In ansamblul transmisiei hidraulice, în majoritatea cazurilor, sînt incluse și angrenajul reductor (de la ieșirea din transmisie) și angrenajul multiplicator (de la intrarea în transmisie). De aceea la ridicarea pe stand a caracteristicilor, prin randamentul transmisiei se înțelege produsul $\eta_1 \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_2 = \eta_{th}$.

Randamentul transmisiei pe o treaptă depinde de turația pompei și de turația turbinei sau de $i_n = n_t/n_p$. Această funcție este apropiată de o parabolă și poate fi scrisă sub forma [5], [51], [52], [60], [65] :

$$\eta_{th} = A_t \frac{i_n}{i_{no}} + B_t \frac{i_n^2}{i_{no}^2} \quad (2.42)$$

Coeficienții A_t și B_t se pot determina prin metoda punctelor alese sau prin metoda lui Gauss [4], [74].

Dacă se alege de pe caracteristica randamentului punctul de randament maxim (i_{no}, η_{tho}) atunci :

$$\frac{d\eta_{th}}{d\left(\frac{i_n}{i_{no}}\right)} = A_t + 2 B_t \frac{i_n}{i_{no}} = 0 \quad (2.43)$$

de unde:

$$\frac{i_n}{i_{no}} = - \frac{A_t}{2 B_t} = 1 \quad (2.44)$$

Din punct de vedere fizic este clar că la $i_n = i_{no}$ funcția η_{th} are un maxim. Matematic acest lucru este evident deoarece $B_t < 0$ iar $d^2(\eta_{th})/d(\frac{i_n}{i_{no}})^2 = 2 B_t < 0$.

Pentru punctul de randament maxim, din relațiile (2.42) și (2.44), rezultă :

$$A_t = 2 \eta_{tho} \quad (2.45)$$

$$B_t = - \eta_{tho} \quad (2.46)$$

Prin metoda lui Gauss [4], [74] coeficienții A_t și B_t sînt:

$$A_t = \frac{\sum i_{nx}^4 \sum \eta_{thx}^{(m)} i_{nx} - \sum i_{nx}^3 \sum \eta_{thx}^{(m)} i_{nx}^2}{\sum i_{nx}^2 \sum i_{nx}^4 - (\sum i_{nx}^3)^2} \quad (4.47)$$

$$B_t = \frac{\sum i_{nx}^2 \sum \eta_{thx}^{(m)} i_{nx}^2 - \sum i_{nx}^3 \sum \eta_{thx}^{(m)} i_{nx}}{\sum i_{nx}^2 \sum i_{nx}^4 - (\sum i_{nx}^3)^2} \quad (2.48)$$

în care $\eta_{th}^{(m)}$ reprezintă valorile măsurate ale randamentului.

Din relația (2.42), în care se substituie

$$\frac{i_n}{i_{no}} = \frac{V}{V_0} \cdot \frac{n_{do}}{n_d} = \frac{V}{V_x} \cdot \frac{V_x}{V_0} \cdot \frac{n_{do}}{n_{dn}} \cdot \frac{n_{dn}}{n_d} \quad \text{rezultă :}$$

$$\eta_{th} = k_1 \left(2 \frac{n_d}{n_{dn}} - k_2 \frac{V}{V_x} \right) \frac{\frac{V}{V_x}}{\left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)^2} \quad (2.49)$$

în care:

$$k_1 = \eta_{tho} \frac{V_x}{V_0} \cdot \frac{n_{do}}{n_{dn}}$$

$$k_2 = \frac{V_x}{V_0} \cdot \frac{n_{do}}{n_{dn}}$$

n_{do} și V_0 - turația motorului diesel respectiv viteza locomotivei corespunzătoare randamentului maxim al

transformatorului $\eta_{th} = \eta_{tho}$.

Turația motorului diesel depinde, așa cum s-a arătat, de transparența transformatorului și de viteza locomotivei. Pentru cazurile admise de dependență a coeficientului cuplului pompei $(\delta\lambda_p / \delta\lambda_{pn}) = f(T_s, V/v_x)$ și pentru diferite regimuri de funcționare a motorului diesel randamentul transmisiei pe o treaptă de viteze, rezultă din relația (2.49) în care se înlocuiește turația motorului diesel n_d/n_{dn} cu expresiile date de relațiile (2.25)...
...(2.34).

La comutarea treptelor de viteze, căderea de randament rezultă din relația (2.49) scrisă pentru treptele de viteze învecinate și din relația (2.7) :

$$\delta\eta_t = \frac{\eta_{thII}}{\eta_{thI}}$$

sau:

$$\delta\eta_t = k_2 \frac{2\left(\frac{n_d}{n_{dn I}} - k_{2I} \frac{V}{V_x}\right)}{2\left(\frac{n_d}{n_{dn II}} - k_{2II} \frac{V}{V_x}\right)} \cdot \frac{\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)^2}{\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)^2} \quad (2.50)$$

în care:

$$k_2 = \frac{\eta_{thoI}}{\eta_{thoII}} \cdot \frac{n_{doI}}{n_{doII}} \cdot \frac{V_{oII}}{V_{oI}}$$

Pentru transmisile hidraulice compuse din transformatoare diferite, dar netransparente, turația motorului diesel nu depinde de viteza de mers deoarece motorul diesel funcționează practic la un regim constant dacă injecția rămâne nemodificată. În acest caz, căderea randamentului transmisiei este :

$$\delta\eta_t = \frac{\eta_{thoI}}{\eta_{thoII}} \cdot \frac{\left(\frac{V_{oII}}{V_x}\right)^2}{\left(\frac{V_{oI}}{V_x}\right)^2} \cdot \frac{2\left(\frac{n_d}{n_{dn I}} \cdot \frac{V_{oI}}{V_x} - \frac{V}{V_x} \left(\frac{n_{do}}{n_{dn I}}\right)\right)}{2\left(\frac{n_d}{n_{dn II}} \cdot \frac{V_{oII}}{V_x} - \frac{V}{V_x} \left(\frac{n_{do}}{n_{dn II}}\right)\right)} \cdot \frac{\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)^2}{\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)^2} \quad (2.51)$$

în care $n_d/n_{dn} = \text{const.}$ pentru o sarcină constantă a motorului.

În cazul transmisiei compuse din transformatoare netransparente [$\eta_{thoI} = \eta_{thoII}$, $n_{do} = n_{dn}$, $(n_d/n_{dn})_I = (n_d/n_{dn})_{II} = (n_d/n_{dn})$], criteriul de comutare $\delta\eta_t$ devine:

$$\delta \eta_t = \frac{\left(\frac{V_{oII}}{V_x}\right)^2}{\left(\frac{V_{pI}}{V_x}\right)^2} \cdot \frac{2 \frac{n_d}{n_{dn}} \cdot \frac{V_{oI}}{V_x} - \frac{V}{V_x}}{2 \frac{n_d}{n_{dn}} \cdot \frac{V_{oII}}{V_x} - \frac{V}{V_x}} \quad (2.52)$$

2.3.4. Calculul coeficientului de transmitere a puterii la obadă.

Coeficientul de transmitere a puterii la obadă, în zona de comutare a treptelor de viteze este definit prin relația (2.12). Scriind randamentul transmisiei hidraulice, dat de relația (2.47), pentru cele două trepte de viteze alăturate, și luînd în considerare relațiile (2.38)...(2.41) care definesc criteriul φ_k rezultă expresia coeficientului de transmitere a puterii la obadă în funcție de viteza de mers a locomotivei și de valoarea sarcinii motorului diesel. Astfel la sarcina nominală a motorului diesel, coeficientul φ_k este :

$$k_7 \frac{2\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - k_{2I} \frac{V}{V_x}}{2\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) - k_{2II} \frac{V}{V_x}} \cdot \frac{\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)}{\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)} \quad (2.53)$$

pentru $\frac{\gamma \lambda_{pI}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[1, \frac{\gamma \lambda_{pI \max}}{\gamma \lambda_{pn}}\right]$ și $\frac{\gamma \lambda_{pII}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[1, \frac{\gamma \lambda_{pII \max}}{\gamma \lambda_{pn}}\right]$

$$\varphi_k = \left\{ k_7 \frac{2\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - k_{2I} \frac{V}{V_x}}{2\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) - k_{2II} \frac{V}{V_x}} \cdot \frac{\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)}{\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) \left[a_{2r} - a_{1r} \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) \right]} \quad (2.54)$$

pentru $\frac{\gamma \lambda_{pI}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[1, \frac{\gamma \lambda_{pI \max}}{\gamma \lambda_{pn}}\right]$ și $\frac{\gamma \lambda_{pII}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma \lambda_{pII \min}}{\gamma \lambda_{pn}}, 1 \right]$

$$k_7 \frac{2\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - k_{2I} \frac{V}{V_x}}{2\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) - k_{2II} \frac{V}{V_x}} \cdot \frac{\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) \left[a_{2r} - a_{1r} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) \right]}{\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)} \quad (2.55)$$

pentru $\frac{\gamma \lambda_{pI}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma \lambda_{pI \min}}{\gamma \lambda_{pn}}, 1 \right]$ și $\frac{\gamma \lambda_{pII}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[1, \frac{\gamma \lambda_{pII \max}}{\gamma \lambda_{pn}}\right]$

$$\Psi_k = k_\eta \frac{2\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - k_{2I} \frac{V}{V_x}}{2\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) - k_{2II} \frac{V}{V_x}} \cdot \frac{a_{2r} - a_{1r} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)}{a_{2r} - a_{1r} \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)} \cdot \frac{\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)}{\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)} \quad (2.56)$$

pentru $\frac{\gamma \lambda_{pI}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma \lambda_{pImin}}{\gamma \lambda_{pn}}, 1 \right]$ și $\frac{\gamma \lambda_{pII}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma \lambda_{pIImin}}{\gamma \lambda_{pn}}, 1 \right]$

La sarcini parțiale ale motorului diesel coeficientul Ψ_k se determină cu ajutorul relației (2.37) scrisă pentru treapta I și II de viteze și a relației (2.50) :

$$\Psi_k = k_\eta \frac{2\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - k_{2I} \frac{V}{V_x}}{2\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) - k_{2II} \frac{V}{V_x}} \cdot \frac{a_{2x} - a_{1x} \frac{n_{dn}}{n_{dx}} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)}{a_{2x} - a_{1x} \frac{n_{dn}}{n_{dx}} \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)} \cdot \frac{\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)}{\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)} \quad (2.57)$$

În aceste relații turația n_d/n_{dn} este dată de relațiile (2.25)...(2.28) când motorul diesel funcționează la sarcina nominală, respectiv din relațiile (2.29)...(2.34) când motorul diesel funcționează la sarcini parțiale.

Pentru transmisile hidraulice compuse din transformatoare diferite și netransparente, $\varphi_k = 1$ și coeficientul Ψ_k rezultă :

$$\Psi_k = \frac{\eta_{thoI}}{\eta_{thoII}} \cdot \frac{\left(\frac{V_{oII}}{V_x}\right)^2}{\left(\frac{V_{oI}}{V_x}\right)^2} \cdot \frac{2\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) \cdot \frac{V_{oI}}{V_x} - \frac{V}{V_x} \left(\frac{n_{do}}{n_{dn I}}\right)}{2\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) \cdot \frac{V_{oII}}{V_x} - \frac{V}{V_x} \left(\frac{n_{do}}{n_{dn II}}\right)} \cdot \frac{\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)^2}{\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)^2} \quad (2.58)$$

În cazul transmisiei compuse din transformatoare netransparente și identice, coeficientul Ψ_k devine :

$$\Psi_k = \frac{\left(\frac{V_{oII}}{V_x}\right)^2}{\left(\frac{V_{oI}}{V_x}\right)^2} \cdot \frac{2 \frac{n_d}{n_{dn}} \cdot \frac{V_{oI}}{V_x} - \frac{V}{V_x}}{2 \frac{n_d}{n_{do}} \cdot \frac{V_{oII}}{V_x} - \frac{V}{V_x}} \quad (2.58)$$

După cum rezultă din relațiile (2.51) și (2.52) respectiv (2.52) și (2.59), pentru transmisile compuse din transformatoare netransparente, coeficientul de transmitere a puterii la oboadă Ψ_k este egal cu căderea randamentului locomotivei $\delta \eta_t$.

3. DETERMINAREA CARACTERISTICILOR DE COMUTARE.

Stabilirea caracteristicilor de comutare, astfel încât să se obțină caracteristici de tracțiune ridicate în condiții de economicitate optimă, se face în funcție de parametrii grupului motor diesel - transmisie hidraulică pe baza criteriilor de comutare stabilite și la condițiile de exploatare pe care trebuie să le îndeplinească tipul dat de locomotivă.

3.1. Funcționarea transmisiei la comutare în condiții de utilizare maximă a forței de tracțiune.

3.1.1. Transmisia hidraulică compusă din transformatoare transparente.

Utilizarea maximă a forței de tracțiune, așa cum rezultă din caracteristicile de tracțiune ale locomotivei (fig.2-6), se obține la comutarea treptelor de viteze în punctul A de intersecție a caracteristicilor forței de tracțiune ale celor două trepte de viteze alăturate la sarcina nominală a motorului diesel și respectiv în punctele B, C și D pentru sarcini parțiale ale motorului diesel. Caracteristica de comutare este reprezentată, în acest caz, prin curba ABCD. În orice punct de pe această curbă, căderea forței de tracțiune

$$\int F_0 = \frac{F_{0I}}{F_{0II}} = 1$$

sau, așa cum rezultă din relația (2.10) :

$$\psi_k = \varphi_k \cdot \frac{\eta_{thI}}{\eta_{thII}} = 1.$$

Deci, forțe de tracțiune ridicate se obțin dacă schimbarea treptelor de viteze se face la vitezele de mers și turațiile motorului diesel, determinate de ecuația :

$$\psi_k - 1 = 0. \quad (3.1)$$

In cazul funcționării motorului diesel la sarcina nominală și transmisia hidraulică formată din transformatoare cu transparență liniară, viteza de mers V/V_x și turația motorului diesel n_d/n_{dn} pentru care este îndeplinită condiția (3.1), rezultă din relațiile (2.53)...(2.56) și din relațiile (2.25), (2.26), adică din unul din sistemele de ecuații:

$$\left. \begin{aligned} \frac{V}{V_x} - 2\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) \cdot \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) \cdot \frac{1 - k_2}{k_{2II}\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - k_{2I} k_2 \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)} &= 0 \\ \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)^2 - 2 c_{1nI} \frac{V}{V_x} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - c_{2nI} &= 0 \\ \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)^2 - 2 c_{1nII} \frac{V}{V_x} \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) - c_{2nII} &= 0 \\ \text{dacă } \frac{\gamma \lambda_{pI}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[1, \frac{\gamma \lambda_{pI\max}}{\gamma \lambda_{pn}} \right] \text{ și } \frac{\gamma \lambda_{pII}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[1, \frac{\gamma \lambda_{pII\max}}{\gamma \lambda_{pn}} \right] \end{aligned} \right\} (3.2)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{V}{V_x} - \frac{2\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) \cdot \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) \left[a_{2r} - a_{1r} \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) - k_2 \right]}{k_{2II}\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) \cdot \left[a_{2r} - a_{1r} \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) \right] - k_{2I} k_2 \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)} &= 0 \\ \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)^2 - 2 c_{1nI} \frac{V}{V_x} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - c_{2nI} &= 0 \\ \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)^2 - 2 \left(c_{1nII} \frac{V}{V_x} \right) \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) - c_{2nII} &= 0 \\ \text{dacă } \frac{\gamma \lambda_{pI}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[1, \frac{\gamma \lambda_{pI\max}}{\gamma \lambda_{pn}} \right] \text{ și } \frac{\gamma \lambda_{pII}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma \lambda_{pII\min}}{\gamma \lambda_{pn}}, 1 \right] \end{aligned} \right\} (3.3)$$

$$\frac{v}{V_x} - \frac{2\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) \cdot \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) \left\{ 1 - k_\gamma \left[a_{2r} - a_{1r} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) \right] \right\}}{k_{2II} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - k_{2I} k_\gamma \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) \left[a_{2r} - a_{1r} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) \right]} = 0$$

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)^2 - 2\left(c_{1nI} \frac{v}{V_x} - c_{1nII}\right) \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - c_{2nI} = 0$$

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)^2 - 2 c_{1nII} \frac{v}{V_x} \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) - c_{2nII} = 0$$

dacă $\frac{\gamma \lambda_{pI}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma \lambda_{pImin}}{\gamma \lambda_{pn}}, 1 \right]$ și $\frac{\gamma \lambda_{pII}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[1, \frac{\gamma \lambda_{pIImax}}{\gamma \lambda_{pn}} \right]$

(3.4)

$$\frac{v}{V_x} - \frac{2\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) \cdot \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) \left\{ 1 - k_\gamma \left[a_{2r} - a_{1r} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) \right] \right\}}{k_{2II} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - k_{2I} k_\gamma \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) \left[a_{2r} - a_{1r} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) \right]} = 0$$

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - 2\left(c_{1nI} \frac{v}{V_x} - c_{1rI}\right) \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - c_{2nI} = 0$$

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) - 2\left(c_{1nII} \frac{v}{V_x} - c_{1rII}\right) \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) - c_{2nII} = 0$$

dacă $\frac{\gamma \lambda_{pI}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma \lambda_{pImin}}{\gamma \lambda_{pn}}, 1 \right]$ și $\frac{\gamma \lambda_{pII}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma \lambda_{pIImin}}{\gamma \lambda_{pn}}, 1 \right]$

(3.5)

Pentru transmisiile hidraulice formate din transformatoare cu transparență parabolică, ecuația a doua și ecuația a treia din fiecare sistem se înlocuiesc cu ecuațiile:

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)^2 + 2 c'_{1n} \frac{v}{V_x} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) + c'_{2n} \left(\frac{v}{V_x}\right)^2 - \frac{1}{T_s} = 0$$

(3.6)

dacă $\frac{\gamma \lambda_{pI}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[1, \frac{\gamma \lambda_{pImax}}{\gamma \lambda_{pn}} \right]$

sau

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)^2 + 2\left(c'_{lnI} \frac{v}{V_x} + c'_{lrI}\right)\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) + c'_{2n}\left(\frac{v}{V_x}\right)^2 - c'_{2r} = 0 \quad (3.7)$$

$$\text{dacă } \frac{\gamma\lambda_{pI}}{\gamma\lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma\lambda_{pImin}}{\gamma\lambda_{pn}}, 1 \right];$$

și

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)^2 + 2c'_{lnII} \frac{v}{V_x} \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) + c'_{2n}\left(\frac{v}{V_x}\right)^2 - \frac{1}{T_s} = 0 \quad (3.8)$$

$$\text{dacă } \frac{\gamma\lambda_{pII}}{\gamma\lambda_{pn}} \in \left[1, \frac{\gamma\lambda_{pIImax}}{\gamma\lambda_{pn}} \right]$$

sau

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)^2 + 2\left(c'_{lnII} \frac{v}{V_x} + c'_{lrII}\right)\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) + c'_{2n}\left(\frac{v}{V_x}\right)^2 - c'_{2r} = 0 \quad (3.9)$$

$$\text{dacă } \frac{\gamma\lambda_{pII}}{\gamma\lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma\lambda_{pIImin}}{\gamma\lambda_{pn}}, 1 \right]$$

La funcționarea motorului diesel la sarcini parțiale, în cazul transmisiei formată din transformatoare cu transparență liniară, viteza de mers și turația motorului diesel pentru care, la comutare nu există cădere de forță de tracțiune, se determină cu ajutorul relațiilor (3.1); (2.57); (2.37) și (2.29)...(2.31), adică din unul din sistemele format din ecuația:

$$\frac{v}{V_x} - \frac{2\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) \cdot \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) \left[\varphi_{dII} - k_2 \varphi_{dI} \right]}{k_{2II} \varphi_{dII} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - k_{2I} k_2 \varphi_{dI} \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)} = 0 \quad (3.10)$$

și ecuațiile:

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)^2 - 2c_{lnI} \frac{v}{V_x} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - c_{2nI} &= 0 \\ \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)^2 - 2c_{lnII} \frac{v}{V_x} \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) - c_{2nII} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

$$\text{dacu } \frac{\gamma \lambda_{pI}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma \lambda_{pIx}}{\gamma \lambda_{pn}}, \frac{\gamma \lambda_{pI\max}}{\gamma \lambda_{pn}} \right], \frac{\gamma \lambda_{pII}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma \lambda_{pIIx}}{\gamma \lambda_{pn}}, \frac{\gamma \lambda_{pII\max}}{\gamma \lambda_{pn}} \right]$$

$$\text{si } \frac{n_{dx}}{n_{dn}} \in \left[\frac{n_{dm}}{n_{dn}}, 1 \right].$$

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_I^2 - 2 c_{lnI} \frac{v}{V_x} \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_I - c_{2nI} &= 0 \\ \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_{II}^2 - 2(c_{lnII} \frac{v}{V_x} - c_{lxII}) \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_{II} - c_{2xII} &= 0 \end{aligned} \right\} (3.12)$$

$$\text{dacu } \frac{\gamma \lambda_{pI}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma \lambda_{pIx}}{\gamma \lambda_{pn}}, \frac{\gamma \lambda_{pI\max}}{\gamma \lambda_{pn}} \right], \frac{\gamma \lambda_{pII}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma \lambda_{pII\min}}{\gamma \lambda_{pn}}, \frac{\gamma \lambda_{pIIx}}{\gamma \lambda_{pn}} \right]$$

$$\text{si } \frac{n_{dx}}{n_{dn}} \in \left[\frac{n_{dm}}{n_{dn}}, 1 \right];$$

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_I^2 - 2(c_{lnI} \frac{v}{V_x} - c_{lxI}) \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_I - c_{2xI} = 0 \quad (3.13)$$

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_{II}^2 - 2 c_{lnII} \frac{v}{V_x} \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_{II} - c_{2nII} = 0$$

$$\text{dacu } \frac{\gamma \lambda_{pI}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma \lambda_{pI\min}}{\gamma \lambda_{pn}}, \frac{\gamma \lambda_{pIx}}{\gamma \lambda_{pn}} \right], \frac{\gamma \lambda_{pII}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma \lambda_{pIIx}}{\gamma \lambda_{pn}}, \frac{\gamma \lambda_{pII\max}}{\gamma \lambda_{pn}} \right]$$

$$\text{si } \frac{n_{dx}}{n_{dn}} \in \left[\frac{n_{dm}}{n_{dn}}, 1 \right].$$

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_I^2 - 2(c_{lnI} \frac{v}{V_x} - c_{lxI}) \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_I - c_{2xI} &= 0 \\ \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_{II}^2 - 2(c_{lnII} \frac{v}{V_x} - c_{lxII}) \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_{II} - c_{2xII} &= 0 \end{aligned} \right\} (3.14)$$

$$\text{dacu } \frac{\gamma \lambda_{pI}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma \lambda_{pI\min}}{\gamma \lambda_{pn}}, \frac{\gamma \lambda_{pIx}}{\gamma \lambda_{pn}} \right], \frac{\gamma \lambda_{pII}}{\gamma \lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma \lambda_{pII\min}}{\gamma \lambda_{pn}}, \frac{\gamma \lambda_{pIIx}}{\gamma \lambda_{pn}} \right]$$

$$\text{si } \frac{n_{dx}}{n_{dn}} \in \left[\frac{n_{dm}}{n_{dn}}, 1 \right]$$

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{n_d}{n_{dn\ I}}\right)^2 - 2\left(c_{1ni\ I} \frac{v}{V_x} - c_{1fi\ I}\right)\left(\frac{n_d}{n_{dn\ I}}\right) - c_{2fi\ I} &= 0 \\ \left(\frac{n_d}{n_{dn\ II}}\right)^2 - 2\left(c_{1ni\ II} \frac{v}{V_x} - c_{1fi\ II}\right)\left(\frac{n_d}{n_{dn\ II}}\right) - c_{2fi\ II} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.15)$$

dacă $\frac{n_{dx}}{n_{dn}} \in \left(\frac{n_{dmin}}{n_{dn}}, \frac{n_{dm}}{n_{dn}}\right)$.

Dacă transmisia este formată din transformatoare cu *transparență parabolică atunci*, la funcționarea motorului la sarcini parțiale, ecuațiile din sistemele (3.11)...(3.15) se înlocuiesc prin următoarele ecuații scrise pe o treaptă de viteze i :

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn\ i}}\right)^2 + 2 c'_{1ni} \frac{v}{V_x} \left(\frac{n_d}{n_{dn\ i}}\right) + c'_{2ni} \left(\frac{v}{V_x}\right)^2 - \frac{1}{T_{si}} = 0 \quad (3.16)$$

dacă $\frac{\gamma\lambda_{pi}}{\gamma\lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma\lambda_{pix}}{\gamma\lambda_{pn}}, \frac{\gamma\lambda_{pimax}}{\gamma\lambda_{pn}}\right]$ și $\frac{n_{dx}}{n_{dn}} \in \left[\frac{n_{dm}}{n_{dn}}, 1\right]$

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn\ i}}\right)^2 + 2\left(c'_{1ni} \frac{v}{V_x} + c'_{1xi}\right)\left(\frac{n_d}{n_{dn\ i}}\right) + c'_{2ni} \left(\frac{v}{V_x}\right)^2 - c'_{2xi} = 0 \quad (3.17)$$

dacă $\frac{\gamma\lambda_{pi}}{\gamma\lambda_{pn}} \in \left[\frac{\gamma\lambda_{pimin}}{\gamma\lambda_{pn}}, \frac{\gamma\lambda_{pix}}{\gamma\lambda_{pn}}\right]$ și $\frac{n_{dx}}{n_{dn}} \in \left[\frac{n_{dm}}{n_{dn}}, 1\right]$

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn\ i}}\right)^2 + 2\left(c'_{1ni} \frac{v}{V_x} + c'_{1fi}\right)\left(\frac{n_d}{n_{dn\ i}}\right) + c'_{2ni} \left(\frac{v}{V_x}\right)^2 - c'_{2fi} = 0 \quad (3.18)$$

dacă $\frac{n_{dx}}{n_{dn}} \in \left[\frac{n_{dm}}{n_{dn}}, 1\right]$

În funcție de tipul transformatoarelor utilizate și de caracteristica lor de *transparență*, din sistemul de ecuații care descrie funcționarea acestor transformatoare, se determină vitezele de comutare (V_f/V_x) și turația motorului diesel la comutare n_{dr}/n_{dn} pentru care nu există *cădere de forță de tracțiune* (în ipoteza că timpul de comutare este zero).

Prin rezolvarea sistemului de ecuații corespunzător transformatorului considerat se obțin două șiruri diferite de

turații ale motorului diesel la comutare și anume $(n_{df}/n_{dn})_I$ atunci când transmisia funcționează la trecerea de la transformatorul I la transformatorul II și $(n_{df}/n_{dn})_{II}$ atunci când transmisia funcționează la trecerea de pe transformatorul II pe transformatorul I.

Corozpuzător celor două moduri de funcționare se obțin două programe de comutare:

$$\left(\frac{n_{df}}{n_{dn}}\right)_I = f_1\left(\frac{n_{2f}}{n_{2x}}\right) \quad \text{- la comutarea directă ;}$$

și

$$\left(\frac{n_{df}}{n_{dn}}\right)_{II} = f_2\left(\frac{n_{2f}}{n_{2x}}\right) \quad \text{- la comutarea inversă}$$

(în ipoteza că timpul de comutare este zero) și o singură caracteristică de comutare $F_{of}/F_{oi} = f(V/V_x)$ (curba ABCD din figura 2-5). Pentru determinarea caracteristicii de comutare F_{of}/F_{oi} se stabileștemai întâi, expresia forței de tracțiune în funcție de viteza de mers și de turația motorului diesel.

Majoritatea uzinelor constructoare de transmisii hidraulice pentru vehicule feroviare, determină caracteristicile de tracțiune sub formă adimensională adică F_o/F_{oi} . Forța de tracțiune ideală F_{oi} este forța de tracțiune dezvoltată la viteza maximă și la puterea disponibilă maximă a motorului diesel, în cazul unei transmisii fără pierderi ($\eta_{th} = 1$), adică :

$$F_{oi} = \frac{k P_{lmax}}{V_x}$$

Pentru eliminarea influenței pierderilor aleatorii din atacurile de osii și reductorul-inversor asupra caracteristicilor de comutare se raportează forța de tracțiune, nu la obțin ei la ieșirea din transmisia hidraulică, făcînd astfel posibilă compararea caracteristicilor teoretice cu cele experimentale.

Forța de tracțiune relativă este :

$$\frac{F_o}{F_{oi}} = \frac{\frac{P_2}{P_{dmax}}}{\frac{V}{V_x}}$$

Deoarece:

$$P_2 = \eta_{th} \cdot P_d$$

$$\eta_1 P_d = P_p = \gamma \lambda_p D^5 n_p^3$$

$$\eta_1 P_{dmax} = P_{pn} = \gamma \lambda_{pn} D^5 n_{pn}^3$$

și

$$\frac{n_p}{n_{pn}} = \frac{n_d}{n_{dn}}$$

rezultă :

$$\frac{F_o}{F_{oi}} = \eta_{th} \frac{\gamma \lambda_p}{\gamma \lambda_{pn}} \cdot \frac{\left(\frac{n_d}{n_{dn}}\right)^3}{\frac{V}{V_x}} \quad (3.19)$$

La viteza de comutare V_f/V_x și la turația motorului diesel n_{df}/n_{dn} corespunzătoare acestei viteze, randamentul transmisiei dat de relația (2.49) se scrie :

$$\eta_{thf} = k_1 \left(2 \frac{n_{df}}{n_{dn}} - k_2 \frac{V_f}{V_x} \right) \cdot \frac{\frac{V_f}{V_x}}{\left(\frac{n_{df}}{n_{dn}}\right)^2}$$

iar forța de tracțiune (relația 3.19) este:

$$\frac{F_{of}}{F_{oi}} = k_1 \frac{n_{df}}{n_{dn}} \left(\frac{\gamma \lambda_p}{\gamma \lambda_{pn}} \right)_f \left[2 \frac{n_{df}}{n_{dn}} - k_2 \frac{V_f}{V_x} \right] \quad (3.20)$$

relație care definește caracteristicile de comutare. În această relație $\left(\frac{\gamma \lambda_p}{\gamma \lambda_{pn}}\right)_f$ se determină din relația (2.14) sau (2.15) în funcție de transparența transformatorului utilizat pe treapta de viteză pe care se calculează forța de tracțiune, luând pentru viteza V/V_x și turația n_d/n_{dn} valorile date de programul de comutare.

3.1.2. Transmisia hidraulică compusă din transformatoare netransparente.

În cazul transmisiei hidraulice compusă din transformatoare diferite netransparente, a căror caracteristici experimentale sînt date în valori relative $F_o/F_{oi}(V/V_x)$; $P_1/P_{1max}(V/V_x)$ și $\eta_{th}(V/V_x)$ determinate la o turație de intrare $n_d/n_{dn} = 1$, vitezele de comutare la care se obțin caracteristici ale forței de tracțiune fără discontinuități (în ipoteza că timpul de comutare este zero) se determină din ecuația (3.1) și relația (2.58).

Luind în considerare că, în acest caz, raportul turațiilor motorului diesel n_{dI}/n_{dII} este aproximativ egal cu unitatea (la sarcină constantă a motorului), viteza de comutare rezultă :

$$\left(\frac{V_f}{V_x}\right) = 2 \frac{n_d}{n_{dn}} \cdot \frac{V_{oI}}{V_x} \cdot \frac{V_{oII}}{V_x} \cdot \frac{\eta_{thoII} \frac{V_{oI}}{V_x} - \eta_{thoI} \frac{V_{oII}}{V_x}}{\eta_{thoII} \left(\frac{V_{oI}}{V_x}\right)^2 - \eta_{thoI} \left(\frac{V_{oII}}{V_x}\right)^2} \quad (3.21)$$

Deoarece $\frac{V}{V_x} = \frac{n_1}{n_{2x}}$, relația (3.21) se poate scrie :

$$\left(\frac{n_{df}}{n_{dn}}\right) = m \left(\frac{n_2}{n_{2x}}\right) \quad (3.22)$$

care determină programul de comutare.

Rezultă, deci, că în cazul transformatoarelor netransparente, programul de comutare $n_d = f(n_2)$ reprezintă o dreaptă ce trece prin origine avind coeficientul unghiular :

$$m = \frac{1}{2 \frac{V_{oI}}{V_x} \cdot \frac{V_{oII}}{V_x}} \cdot \frac{\eta_{thoII} \left(\frac{V_{oI}}{V_x}\right)^2 - \eta_{thoI} \left(\frac{V_{oII}}{V_x}\right)^2}{\eta_{thoII} \left(\frac{V_{oI}}{V_x}\right) - \eta_{thoI} \left(\frac{V_{oII}}{V_x}\right)} \quad (3.23)$$

Pentru transmisiile compuse din transformatoare identice netransparente ($\eta_{thoI} = \eta_{thoII}$) coeficientul unghiular al dreptei ce reprezintă programul de comutare rezultă din relația (2.23) și anume :

$$m = \frac{\frac{V_{oI}}{V_x} + \frac{V_{oII}}{V_x}}{2 \frac{V_{oI}}{V_x} \cdot \frac{V_{oII}}{V_x}} \quad (3.24)$$

Relația (3.22) se poate scrie :

$$\frac{n_t}{n_p} = i_n = m i_1 i_2 \frac{n_{2x}}{n_{dn}} = i_{nk} = \text{const.} \quad (3.25)$$

adică, la comutare, raportul de transformare al turațiilor are o valoare constantă.

La transformatoarele netransparente $\eta_{lp}/\eta_{pn} = 1$, iar la comutare, pe baza relației (3.25), randamentul rămâne

constant $\eta_{th} = \eta_{thk} = \text{const.}$, astfel că relația (3.19) devine :

$$\frac{F_{of}}{F_{oi}} = \frac{\eta_{thk} \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)^3}{\frac{V}{V_x}} \quad (3.26)$$

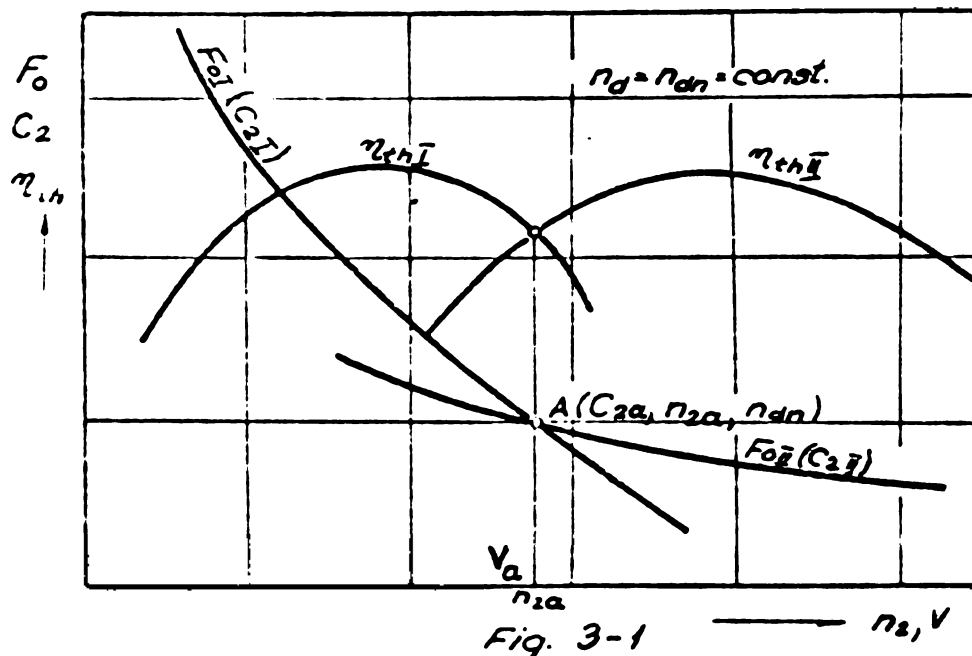
Din relația (3.22) rezultă :

$$\frac{n_d}{n_{dn}} = m \frac{V}{V_x}$$

Substituind expresia lui n_d/n_{dn} în relația (3.26) rezultă caracteristica de comutare :

$$\frac{F_{of}}{F_{oi}} = m \eta_{thk} \left(\frac{V}{V_x} \right)^2 \quad (3.27)$$

Dacă caracteristicile transmisiei sînt date în funcție de turația de ieșire din transmisie (sau de i_n) la o turație de intrare constantă ($n_d = n_{dn} = \text{const.}$) (fig.3-1), programul de comutare și caracteristica de comutare care asigură caracteristici continue ale forței de tracțiune pe întregul domeniu de viteze ale locomotivei, se pot stabili în funcție de coordonatele punctului A.



Programul de comutare și caracteristica de comutare care asigură caracteristici continue ale forței de tracțiune pe întregul domeniu de viteze ale locomotivei, se pot stabili în funcție de coordonatele punctului A. Acest punct este determinat

de intersecția caracteristicilor cuplului C_2 la arborele de ieșire din transmisie a celor două trepte de viteze.

La o turația n_d a motorului diesel, corespunzătoare funcționării motorului diesel la sarcini parțiale, caracteristicile cuplului C_2 se intersectează într-un punct cărui îi corespunde o turație a turbinei n_{t1} :

$$n_{tr} = \frac{n_{df}}{n_{pa}} n_{ta} = i_{na} n_p \quad (3.28)$$

sau

$$\frac{n_{tr}}{n_{pf}} = i_{nf} = i_{na} = \text{const.} \quad (3.29)$$

In funcție de turațiile n_d și n_2 , relația (3.28) se poate scrie sub forma :

$$n_{df} = \frac{n_{2f}}{n_{2a}} n_{dn} \quad (3.30)$$

care determină programul de comutare (relație identică cu 3.22).

Forța de tracțiune la comutare, ținând seama de relațiile (3.29) și (3.30) este :

$$F_o = \frac{k i_2^3 \eta_{th} \gamma \lambda_p D^5}{i_{na}^3} n_2^2$$

Deoarece la comutare $i_n = i_{na} = \text{const.}$, $\eta_{th} = \eta_{tha} = \text{const.}$ și $\gamma \lambda_p D^5 = \gamma \lambda_{pa} D^5 = \text{const}$, rezultă la comutare :

$$F_k = \text{const.} n_2^2 \quad (3.31)$$

Exprimind forța de tracțiune la comutare in funcție de coordonatele punctului (F_{oa} , V_a) ale punctului A de comutare, din relația (3.31) rezultă :

$$F_k = \frac{F_{oa}}{n_{2a}^2} n_2^2$$

Deoarece $n_2/n_{2a} = V/V_a$, caracteristica de comutare care asigură o variație continuă a forței de tracțiune este:

$$F_k = \frac{F_{oa}}{V_a^2} V^2 \quad (3.32)$$

In concluzie, pentru transmisiile compuse din transformatoare netransparente, se obțin la comutare caracteristici continue ale forței de tracțiune, dacă programul de comutare este dat de dreapta (3.22) sau (3.30), iar caracteristica de comutare de parabola (3.27) sau (3.32).

3.2. Funcționarea transmisiei la comutare în condiții de economicitate optimă.

3.2.1. Transmisia hidraulică compusă din transformatoare transparente.

Funcționarea economică a locomotivelor în zona de comutare se asigură dacă comutarea treptelor de viteze se realizează la vitezele de mers și turațiile motorului diesel corespunzătoare punctelor de intersecție a caracteristicilor randamentului transmisiei pe cele două trepte de viteze învecinate (v.fig.2-6).

Aceste mărimi se pot determina din ecuația :

$$\zeta \eta_t - 1 = 0 \quad (3.33)$$

sau luind în considerare relația (2.50) rezultă :

$$\frac{V}{V_x} - 2 \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_I \cdot \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_{II} \cdot \frac{\left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_I - k_\eta \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_{II}}{k_{2II} \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_I^2 - k_{2I} k_\eta \left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)_{II}^2} = 0 \quad (3.34)$$

Turația motorului diesel pe cele două trepte de viteze $(n_d/n_{dn})_I$ și $(n_d/n_{dn})_{II}$, la sarcina nominală a motorului, se determină din ultimele două ecuații ale sistemelor (3.2), (3.3), (3.4) sau (3.5) pentru transmisiile compuse din transformatoare hidraulice cu transparență liniară, sau din ecuațiile (3.6)...(3.9) în cazul transparenței parabolice, în funcție de valorile coeficientului $f\lambda_{pI}/f\lambda_{pn}$ și $f\lambda_{pII}/f\lambda_{pn}$.

La funcționarea motorului diesel la sarcini parțiale, în cazul transmisiei formate din transformatoare cu transparență liniară, cele două turații ale motorului se determină din sistemele de ecuații (3.11)...(3.15), iar în cazul transparenței parabolice din ecuațiile (3.16)...(3.18) în funcție de valorile coeficientului $f\lambda_{pI}/f\lambda_{pn}$ și $f\lambda_{pII}/f\lambda_{pn}$.

Prin rezolvarea sistemului format din aceste ecuații se pot obține două turații diferite ale motorului diesel la o viteză de comutare V/V_x și anume $(n_d/n_{dn})_I$ și $(n_d/n_{dn})_{II}$. Cele două moduri de funcționare a motorului determină două programe de comutare :

$$\left(\frac{n_{d2}}{n_{dn}} \right)_I = f_1 \left(\frac{n_{d2}}{n_{2x}} \right) - \text{la comutarea directă și}$$

$$\left(\frac{n_{d1}}{n_{dn}}\right)_{II} = f_2\left(\frac{n_{d2}}{n_{dx}}\right) \quad - \text{ la comutarea inversă.}$$

Corespunzător acestor două programe de comutare, rezultă două caracteristici de comutare :

$$\left(\frac{F_{o1}}{F_{oi}}\right)_I = g_1\left(\frac{V}{V_x}\right) \quad - \text{ la comutarea directă (curba } A_1 B_1 C_1 D_1 \text{ din figura 2-6),}$$

$$\left(\frac{F_{o1}}{F_{oi}}\right)_{II} = g_2\left(\frac{V}{V_x}\right) \quad - \text{ la comutarea inversă (curba } A_2 B_2 C_2 D_2 \text{ din figura 2-6).}$$

Forța de tracțiune corespunzătoare vitezelor de comutare este :

- la comutarea directă,

$$\left(\frac{F_{o1}}{F_{oi}}\right)_I = \left[2\left(\frac{n_{d1}}{n_{dn}}\right)_I - k_{2I} \frac{V_2}{V_x}\right] k_{1I} \left(\frac{n_{d1}}{n_{dn}}\right)_I \cdot \left(\frac{\gamma \lambda_{pI}}{\gamma \lambda_{pn}}\right)_I \quad (3.35)$$

- la comutare inversă,

$$\left(\frac{F_{o1}}{F_{oi}}\right)_{II} = \left[2\left(\frac{n_{d1}}{n_{dn}}\right)_{II} - k_{2II} \frac{V_2}{V_x}\right] k_{1II} \left(\frac{n_{d1}}{n_{dn}}\right)_{II} \cdot \left(\frac{\gamma \lambda_{pII}}{\gamma \lambda_{pn}}\right)_{II} \quad (3.36)$$

în care $(\gamma \lambda_{pI} / \gamma \lambda_{pn})_I$ și $(\gamma \lambda_{pII} / \gamma \lambda_{pn})_{II}$ se determină din relația (2.14) sau (2.15) în funcție de transparența transformatorului respectiv, luând pentru viteza V/V_x și turația n_d/n_{dn} valorile date de programul de comutare.

Comparînd expresia vitezei V/V_x determinată, pe de o parte din ecuația (3.34), și din prima ecuație a oricărui sistem (3.2)...(3.5) și din ecuația (3.10) pe de altă parte, rezultă că viteza de comutare pentru care nu avem cădere de forță de tracțiune este în general diferită de viteza la care se obține o funcționare în condiții economice a transmisiei. Rezultă, deci, și caracteristici și programe de comutare diferite în cele două cazuri. Așa dar, în zona de comutare, la utilizarea transformatorilor transparente, nu se pot obține în același timp proprietăți de tracțiune corespunzătoare și economicitate ridicată. Din această cauză, stabilirea caracteristicilor de comutare se face și în funcție de condițiile concrete de exploatare ale tipului dat de locomotivă, fie prin luarea în considerare în primul rînd

a unaia din aceste proprietăți, fie mergînd pe o soluție medie.

Pentru locomotivele destinate liniilor principale, motorul funcționînd un procent de timp relativ ridicat în sarcini apropiate de cea maximă sau la sarcina maximă [68], este indicată o caracteristică de comutare $F_{of}/F_{oi}(V/V_x)$ care să nu producă căderi de forță de tracțiune și o utilizare cît mai completă a puterii motorului.

Locomotivele de viteze mari lucrează majoritatea timpului pe transformatorul de mers, la viteze mult superioare vitezei de comutare. Timpul de funcționare a acestor locomotive în zona de comutare este egal cu durata schimbării treptelor de viteze și de aceea trebuie luată în considerare în primul rînd căderea forței de tracțiune care produce sarcini în tren influențînd negativ confortul. Deci, la aceste locomotive comutarea treptelor de viteze este bine să se facă la intersecția caracteristicilor forței de tracțiune atît la sarcina maximă cît și la sarcini parțiale ale motorului diesel.

Pentru locomotivele de marfă la sarcini parțiale ale motorului, cînd condițiile de utilizare impun utilizarea numai a unei anumite părți din puterea nominală a motorului, rolul hotărîtor îl are obținerea unui randament maxim și de aceea caracteristica de comutare aleasă trebuie să asigure realizarea acestei condiții, dar fără căderi mari ale forței de tracțiune. Deci pentru aceste locomotive este indicată caracteristica de comutare $F_{of}/F_{oi}(V/V_x)$ atunci cînd motorul diesel funcționează la sarcina totală sau apropiată de aceasta, iar în regimurile de sarcini parțiale ale motorului este indicată caracteristica de comutare $F_{o2}/F_{oi}(V/V_x)$.

Obținerea unui randament mare și limitarea căderii forței de tracțiune în zona de comutare, la funcționarea motorului diesel la sarcini parțiale, sînt condiții de mare importanță care dau puncte de vedere.

În primul rînd locomotiva, în anumite condiții de exploatare, poate circula o perioadă de timp la viteze corespunzătoare zonei de comutare.

În al doilea rînd, în exploatarea feroviară nu se poate utiliza întotdeauna întreaga putere a motorului diesel datorită : profilului variat al căii; tonajului insuficient al trenului pentru tipul de locomotivă și sectorul de cale dat; limitările de

viteză impuse de curbe, lucrări, grafic de circulație etc.

Din experimentările efectuate într-o serie de țări a reșit că frecvența regimurilor de încărcare parțială a motorului în exploatarea feroviară, este destul de ridicată. Astfel, unele din rezultatele încercărilor desfășurate în R.F.G. Germaniei arată că regimul de încărcare totală a motorului (regimul nominal) reprezintă, în diverse situații, 0,1-35 % din timpul total de funcționare, regimul de puteri parțiale 5...60%, iar restul timpului fiind consumat la mersul în gol [50]. Aproximativ aceleași procente s-au obținut și în urma încercărilor efectuate în URSS [53], [63]. Din măsurătorile efectuate la noi în țară cu locomotiva 060 DA a reșit că regimurile de încărcare parțiale a motorului diesel reprezintă în medie 41% din timpul total de mers [50].

Rezultă, că regimurile de funcționare a motorului la sarcini parțiale, chiar în cazul unei exploatare normale, reprezintă în mod obiectiv un procent însemnat din durata de funcționare a motorului, fiind necesară asigurarea funcționării locomotivelor, la sarcini parțiale ale motorului cu randament cât mai mare, nu numai în domeniul de viteze al treptei respective ci și în zona de comutare.

La locomotivele utilizate în serviciul de manevră sau pe liniile secundare, unde puterea mare este puțin utilizată [68], timpul de funcționare al motorului la sarcini parțiale este și mai mare și ca urmare se aleg acele caracteristici de comutare care permit realizarea unui randament ridicat, adică $F_0 / F_{01}(V/V_x)$. La aceste locomotive vitezele de exploatare sînt mici, iar forțele de tracțiune sînt mari, astfel-că la sarcina totală a motorului diesel comutarea trebuie să se facă după caracteristica $F_{0f} / F_{01}(V/V_x)$.

3.2.2. Transmisia hidraulică compusă din transformatoare netransparente.

Programul de comutare și caracteristica de comutare pentru transmisia a cărei caracteristici sînt date în valori relative la o turație de intrare constantă, se determină din ecuația (3.33) și relația (2.51) sau (2.52).

Pentru transformatoarele diferite (netransparente) viteza de comutare la care nu apare căderea randamentului este:

$$\frac{V}{V_x} = 2 \frac{n_d}{n_{dn}} \cdot \frac{V_{oI}}{V_x} \cdot \frac{V_{oII}}{V_x} \cdot \frac{\eta_{thoII} \frac{V_{oI}}{V_x} - \eta_{thoI} \frac{V_{oII}}{V_x}}{\eta_{thoII} \left(\frac{V_{oI}}{V_x}\right)^2 - \eta_{thoI} \left(\frac{V_{oII}}{V_x}\right)^2} \quad (3.37)$$

Deoarece această relație este identică cu relația (3.21) programul de comutare și caracteristica de comutare, care asigură o variație a randamentului, sînt date de ecuația (3.22) și respectiv (3.27).

Coeficientul unghiular al dreptei care definește programul de comutare este dat de relația (3.27) pentru transformatoare diferite și de relația (3.24) pentru transformatoare identice.

Dacă caracteristicile transmisiei sînt date în funcție de turația de ieșire din transmisie, programul de comutare este determinat de ecuația (3.30) iar caracteristica de comutare de ecuația (3.32).

În concluzie, pentru transmisiile compuse din transformatoare netransparente rezultă o caracteristică de comutare unică dată de parabola (3.27) sau (3.32), care asigură continuitatea atât a forței de tracțiune, cît și a randamentului (în ipoteza că timpul de comutare este practic egal cu zero). Deci, în cazul în care se poate asigura o funcționare stabilă la comutarea transmisiei după această caracteristică de comutare, saltul sau căderea forței de tracțiune, a randamentului și a puterii disponibile a motorului (cauzate de caracteristicile de comutare) sînt egale cu zero.

În cazul în care transmisia hidraulică este antrenată, pentru determinarea caracteristicilor ei, de un motor diesel, caracteristicile determinate la sarcina constantă a motorului reprezintă de fapt caracteristicile reale de exploatare ale transmisiei la funcționarea în comun cu acel motor. Pentru transmisiile compuse din transformatoare netransparente, deosebiri între caracteristicile ridicate la $n_1 = \text{const.}$ (cazul antrenării cu motor diesel) sînt neînsemnate, practic inexistente. Deci caracteristica de comutare și programul de comutare sînt date de relațiile (3.27) sau (3.32), respectiv (3.22) sau (3.30) indiferent de mărimea de intrare menținută constantă la determinarea caracteristicilor transmisiei.

3.3. Funcționarea în comun a motorului diesel cu transmisia hidraulică în comutarea treptelor de viteze.

3.3.1. Caracteristicile motorului diesel și ale transmisiei hidraulice.

Caracteristicile de comutare se determină pentru locomotiva diesel hidraulică de 350 CP, construită la Intreprinderea "23 August" București, pe baza criteriilor de comutare stabilite anterior. Instalația de forță este compusă din motorul diesel M583 de 350 CP la turația $n_{dn} = 1350$ rot/min și transmisia hidraulică TH1. Controlerul locomotivei are 8 poziții, din care pozițiile 1...7 sînt de mers.

Valorile coeficienților caracteristicilor motorului diesel $C_d/C_{dn}(n_d/n_{dn})$ determinate de relațiile (2.18) și (2.22) sînt date în tabela 3-1.

Tabela 3-1.

Pozițiile controlerului	7	6	5	4	3	2
$\delta_{nx} = \frac{n_{dxmax}}{n_{dx}}$	1,074*	1,081	1,092	1,121	1,151	1,186
$a_{1x} = \frac{1}{\delta_{nx} - 1}$	13,513*	12,346	10,869	8,224	6,60	5,365
$a_{2x} = a_{1x} \delta_{nx}$	14,513*	13,346	11,869	9,224	7,60	6,365

*Pentru caracteristica nr.7: $\delta_{nx} = \delta_{nr}$; $a_{1x} = a_{1r}$ și $a_{2x} = a_{2r}$.

Caracteristicile transmisiei hidraulice ridicate pe standul uzinal al Intreprinderii "Hidrodinamica" Brașov sînt date în figura 3-2. Mărimea de referință care s-a menținut constantă la stabilirea acestor caracteristici, a fost turația de intrare în transmisie ($n_p/n_{pn} = 1$), astfel că:

$$\frac{P_1}{P_{1n}} = \frac{\gamma \lambda_p n_p^3 D^5}{\gamma \lambda_{pn} n_{pn}^3 D^5} = \frac{\gamma \lambda_p}{\gamma \lambda_{pn}}$$

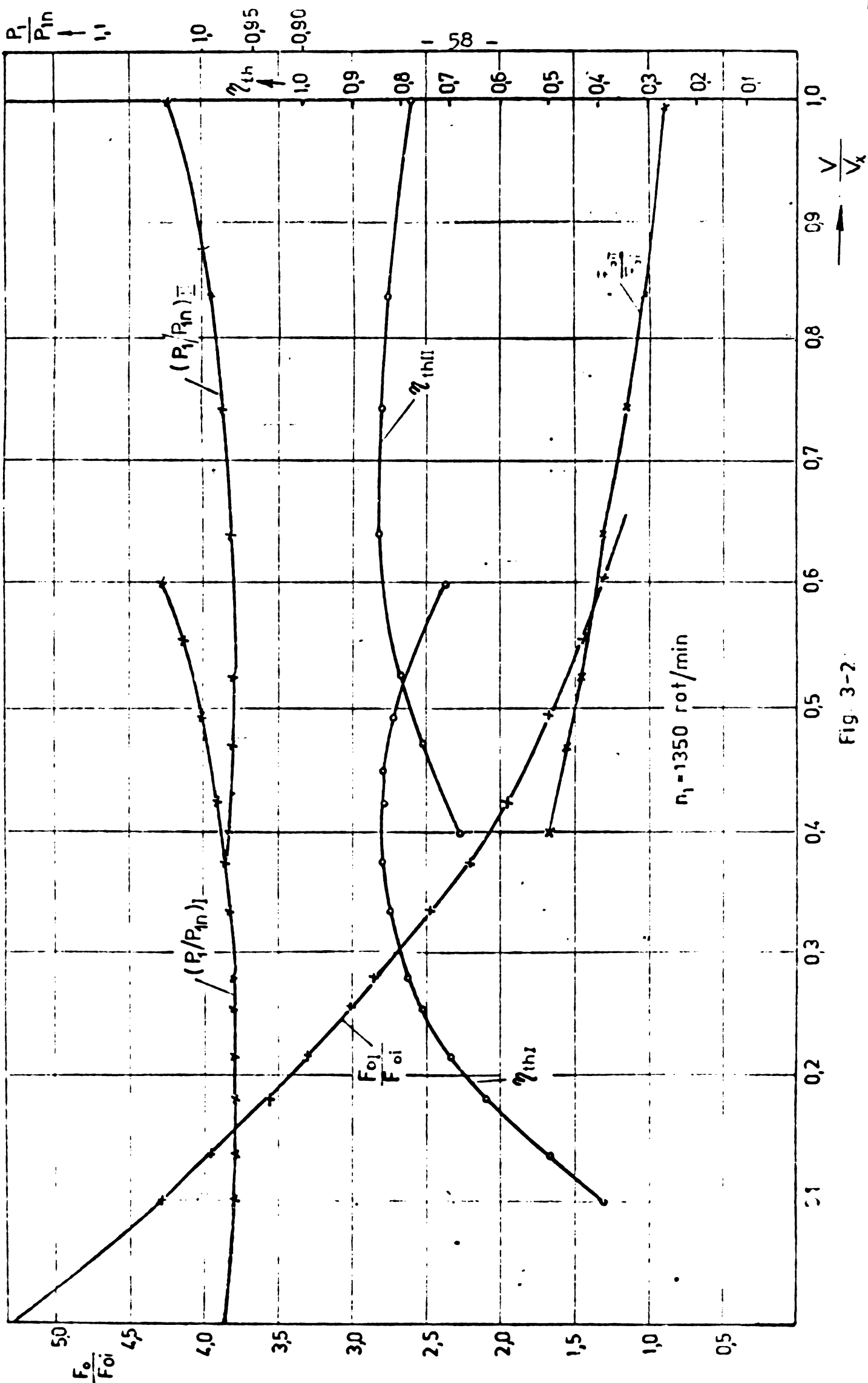


Fig. 3-2

Caracteristicile $\eta_{pI}/\eta_{pn}(V/V_x)$ pentru această transmisie sînt de forma funcției (2.15). Valorile coeficienților care intră în această funcție, determinați prin metoda punctelor alese, sînt date pentru cele două transformatoare hidraulice în tabela 3-2.

Tabela 3-2

Trans- forma- torul	$\frac{V_o}{V_x}$	$\frac{V_n}{V_x}$	η_{th}	T_B	T_o	$\frac{b_1}{(V_x/V_n)^2}$	$\frac{b_2}{(V_n/V_x)^2}$	k_1	k_2	k_3
I (T.P)	0,38	0,49	0,840	0,98	0,975	0,48	0,194	2,045	2,403	1,691
II (T.M)	0,89	0,70	0,845	1,05	0,975	0,268	0,295	1,210	1,431	1,691

Cu valorile din tabela 3-2 se obține:

- pentru transformatorul I (de primire),

$$\frac{\eta_{pI}}{\eta_{pn}} = 0,48 \frac{\left(\frac{V}{V_x}\right)^2}{\left(\frac{n_d}{n_{dn}}\right)^2} - 0,194 \frac{\frac{V}{V_x}}{\frac{n_d}{n_{dn}}} + 0,98 \quad (3.38)$$

- pentru transformatorul II (de mers),

$$\frac{\eta_{pII}}{\eta_{pn}} = 0,268 \frac{\left(\frac{V}{V_x}\right)^2}{\left(\frac{n_d}{n_{dn}}\right)^2} - 0,295 \frac{\frac{V}{V_x}}{\frac{n_d}{n_{dn}}} + 1,05 \quad (3.39)$$

Coeficienții k_1 și k_2 din expresia randamentului transmisiei hidraulice $\eta_{th}(V/V_x)$ s-au determinat prin metoda lui Gauss. Cu valorile acestor coeficienți, date în tabela 3-2, rezultă :

- pentru transformatorul I ,

$$\eta_{thI} = 2,045 \left(2 \frac{n_d}{n_{dn}} - 2,403 \frac{V}{V_x} \right) \frac{\frac{V}{V_x}}{\left(\frac{n_d}{n_{dn}}\right)^2} \quad (3.40)$$

- pentru transformatorul II,

$$\eta_{thII} = 1,21 \left(2 \frac{n_d}{n_{dn}} - 1,431 \frac{v}{v_x} \right) \frac{\frac{v}{v_x}}{\left(\frac{n_d}{n_{dn}} \right)^2} \quad (3.41)$$

Analiza calculelor efectuate (tabela 3-3 și figura 3-2) arată că pentru coeficientul $\delta\lambda_p / \delta\lambda_{pn}$ și pentru randamentul transmisiei η_{th} se pot utiliza relațiile (3.38), (3.39) și respectiv (3.40), (3.41) deoarece abaterile valorilor calculate față de cele obținute experimental, sînt foarte mici în special pentru valorile vitezelor din vecinătatea vitezei de comutare $(V_k/V_x) = 0,5...0,57$, iar în cazul de față se studiază funcționarea în comun a motorului diesel cu transmisia hidraulică la aceste viteze de mers.

Tabela 3-3.

Transformatorul I						
$\frac{v}{v_x}$	η_{thI}			$\delta\lambda_{pI} / \delta\lambda_{pn}$		
	Cu formula (3.40)	După datele experiment.	Eroarea relativă %	Cu formula (3.38)	După datele experimentale	Eroarea relativă %
0,20	0,620	0,650	4,61	0,960	0,970	1,0
0,30	0,785	0,80	1,87	0,965	0,970	0,50
0,35	0,829	0,830	0,12	0,871	0,975	0,41
0,40	0,849	0,840	0,12	0,979	0,980	0,10
0,45	0,845	0,835	1,19	0,989	0,990	0,10
0,50	0,816	0,810	0,7	1,003	1,004	0,09
0,55	0,763	0,760	0,39	1,020	1,025	0,48
0,60	0,685	0,69	2,83	1,036	1,040	0,38
Transformatorul II						
	η_{thII}			$\delta\lambda_{pII} / \delta\lambda_{pn}$		
	Cu formula (3.41)	După datele experiment.	Eroarea relativă %	Cu formula (3.39)	După datele experimentale	Eroarea relativă %
0,40	0,690	0,685	0,73	0,975	0,972	0,31
0,45	0,738	0,730	1,09	0,972	0,970	0,21
0,50	0,776	0,780	0,51	0,969	0,970	0,10
0,55	0,807	0,810	0,37	0,969	0,970	0,10
0,60	0,828	0,830	0,24	0,970	0,970	0
0,70	0,845	0,845	0	0,975	0,976	0,10
0,80	0,827	0,835	0,96	0,986	0,987	0,10

3.3.2. Funcționarea în comun a motorului diesel cu transmisia hidraulică.

Legea de variație a turației motorului diesel la funcționarea în comun cu transmisia hidraulică depinde de gradul de transparență a transformatorului hidraulic și de caracteristica motorului diesel.

La funcționarea motorului diesel la sarcina maximă, turația motorului diesel pe prima treaptă de viteză (funcționarea pe transformatorul de pornire) este dată de ecuația (3.7) pentru $(V/V_x) \in [0,1; 0,49]$ și de ecuația (3.6) pentru $(V/V_x) \in [0,49; 0,6]$, iar pe treapta a doua de viteză (funcționarea pe transformatorul de mers) de ecuația (3.9) pentru $(V/V_x) \in [0,4; 0,8]$.

La sarcini parțiale ale motorului diesel, pe ambele trepte de viteză, turația motorului diesel este dată de ecuația (3.17) pentru orice valoare posibilă a vitezei de mers.

Valorile coeficienților constanți din aceste ecuații, calculate cu relațiile date în par.2.3.2, sînt prezentate în tabela 3-4.

Tabela 3-4.

Poziția controlerului.	Transformator	c'_{in}	c'_{2n}	c'_{1r}	c'_{2r}	c'_{ix}	c'_{2x}
7	I	-0,0992	0,4897	6,8928	14,8061	-	-
	II	-0,1404	0,2555	6,4333	13,8190	-	-
6	I	-0,0992	0,4897	-	-	6,8096	13,8180
	II	-0,1404	0,2555	-	-	6,3957	12,7104
5	I	-0,0992	0,4897	-	-	6,8048	12,1112
	II	-0,1404	0,2555	-	-	6,3511	11,3047
4	I	-0,0992	0,4897	-	-	5,6701	9,4122
	II	-0,1404	0,2555	-	-	5,2921	8,7287
3	I	-0,0992	0,4897	-	-	5,1020	7,7252
	II	-0,1404	0,2555	-	-	4,7619	7,2281
	I	-0,0992	0,4897	-	-	4,5466	6,7288
	II	-0,1404	0,2555	-	-	4,2435	6,2288

3.3.3. Determinarea caracteristicilor de comutare la utilizarea integrală a forței de tracțiune.

Vitezele de mers (V/V_x) la care trebuie să se facă schimbarea treptelor de viteze pentru a putea obține o variație continuă a forței de tracțiune, se determină în funcție de valoarea transparenței celor două transformatoare corespunzătoare vitezei $(V/V_x)_k$.

La funcționarea motorului diesel la sarcina maximă dacă viteza de comutare $(V/V_x)_k \in [0,209; 0,49]$, atunci ea se determină din sistemul de ecuații (3.5) în care ecuația a doua și a treia se înlocuiesc cu ecuațiile (3.7) și (3.9), deoarece în acest interval de viteze $\gamma\lambda_{pI}/\gamma\lambda_{pn} \in [0,96; 1]$ și

$\gamma\lambda_{pII}/\gamma\lambda_{pn} \in [0,969; 1]$, iar dacă viteza de comutare $(V/V_x)_k \in [0,49; 0,89]$ ea se determină din sistemul (3.3) în care ecuația a doua și a treia se înlocuiesc cu ecuațiile (3.6) și (3.9), deoarece în acest interval $\gamma\lambda_{pI}/\gamma\lambda_{pn} \in [1; 1,036]$ și $\gamma\lambda_{pII}/\gamma\lambda_{pn} \in [0,969; 1]$.

La funcționarea motorului diesel la sarcini parțiale, viteza de comutare se determină din sistemul format de ecuația (3.10) și ecuația (3.17) scrisă pentru cele două trepte de viteze.

Pentru locomotiva diesel hidraulică de 350 CP, sistemele de ecuații din care se determină vitezele de comutare, luând în considerare valorile coeficienților, date în tabelele

3-1 și 3-2 sînt:

- la funcționarea motorului diesel la sarcina maximă:

$$\left. \begin{aligned} \frac{V}{V_x} - \frac{2\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)\left[22,85\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - 23,54\right]}{54,92\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) + 1,43\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - 58,98\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)} &= 0 \\ \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)^2 + (13,78 - 0,19 \frac{V}{V_x})\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) + 0,49\left(\frac{V}{V_x}\right)^2 - 14,81 &= 0 \\ \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)^2 + (12,86 - 0,28 \frac{V}{V_x})\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) + 0,25\left(\frac{V}{V_x}\right)^2 - 13,82 &= 0 \end{aligned} \right\} (3.42)$$

dacă $\left(\frac{V}{V_x}\right) \in [0,209; 0,49]$

sau

$$\frac{v}{V_x} - \frac{2\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) \left(\frac{n_{dn}}{n_{dn II}}\right) \left[12,82 - 15,51\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) \right]}{20,76\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - 4,06\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) - 19,33\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)} = 0$$

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)^2 - 0,198 \frac{v}{V_x} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) + 0,49\left(\frac{v}{V_x}\right)^2 - 1,02 = 0$$

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)^2 + (12,86 - 0,28 \frac{v}{V_x}) \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) + 0,25\left(\frac{v}{V_x}\right)^2 - 13,82 = 0$$

dacă $\left(\frac{v}{V_x}\right)_k \in [0,49; 0,8]$;

- la funcționarea motorului diesel la sarcini parțiale,

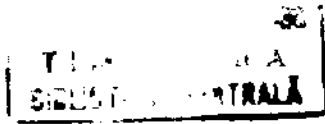
$$\frac{v}{V_x} - 2\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) - \frac{1,69 a_{1x} \frac{n_{dn}}{n_{dx}} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - a_{1x} \frac{n_{dn}}{n_{dx}} \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) - 0,69 a_{2x}}{1,43 a_{2x} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - 4,06 a_{2x} \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) + 2,63 a_{1x} \frac{n_{dn}}{n_{dx}} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)} = 0$$

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)^2 + 2(c'_{1xI} - 0,099 \frac{v}{V_x}) \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) + 0,49\left(\frac{v}{V_x}\right)^2 - c'_{2xI} = 0$$

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)^2 + 2(c'_{1xII} - 0,14 \frac{v}{V_x}) \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) + 0,25\left(\frac{v}{V_x}\right)^2 - c'_{2xII} = 0$$

Forța de tracțiune corespunzătoare vitezelor de comutare $(V/V_x)_k$ determinate din sistemele de ecuații (3.42)...
 ...(3.44) se calculează cu relația (3.20). Pentru locomotiva luată în considerare rezultă:

$$\frac{F_{of}}{F_{oi}} = 2,918\left(\frac{v}{V_x}\right)_k^2 - 5,611\left(\frac{v}{V_x}\right)_k \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - 2,358 \frac{\left(\frac{v}{V_x}\right)_k^3}{\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)} + 4 \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)^2$$



unde $(n_d/n_{dn})_I$ se determină, la sarcina nominală a motorului, din ecuația a doua din sistemul (3.42) dacă $(V/V_x)_k \in [0,209; 0,49]$ sau din ecuația a doua din sistemul (3.43) dacă $(V/V_x)_k \in [0,49; 0,8]$, iar la sarcini parțiale ale motorului din ecuația a doua a sistemului (3.44).

Prin rezolvarea sistemelor (3.42), (3.43) și a ecuației (3.45) se obțin rezultatele din tabela 3-5.

Tabela 3-5.

$(V_f/V_x)_d$	0,530	0,515	0,454	0,420	0,384	0,355
$(n_{dr}/n_{dn})_I$	0,993	0,933	0,836	0,775	0,708	0,652
$(n_{dr}/n_{dn})_{II}$	1,002	0,936	0,839	0,777	0,711	0,653
$\lambda_{pI}/\lambda_{pn}$	1,013	1,019	1,016	1,016	1,016	1,015
$\lambda_{pII}/\lambda_{pn}$	0,969	0,969	0,969	0,969	0,969	0,969
F_{of}/F_{oi}	1,46	1,22	0,997	0,87	0,73	0,61
η_{thI}	0,783	0,760	0,772	0,773	0,773	0,773
η_{thII}	0,795	0,807	0,802	0,802	0,802	0,802
$\delta\eta_{th}$	0,985	0,940	0,962	0,963	0,963	0,963

Pentru verificarea acestei metode de calcul a caracteristicii de comutare care poate asigura o variație continuă a forței de tracțiune la schimbarea treptelor de viteze, s-a determinat experimental caracteristica de comutare. Măsurătorile s-au făcut pe standul de transmisii hidraulice al Catedrei de material rulant de la Institutul politehnic București. Acest stand este echipat cu motorul diesel și transmisia hidraulică pentru care s-au efectuat calculele teoretice. S-au măsurat cuplul și turațiile la intrarea și ieșirea din transmisie la sarcina maximă și la diferite sarcini parțiale. Metodologia încercărilor și instalația de măsurare se prezintă în capitolul 5.

Deoarece calculele sînt făcute în mărimi relative, cuplurile și turațiile măsurate se raportează la valorile de referință: cuplul C_{2i} la arborele de ieșire corespunzător forței de tracțiune ideale F_{oi} , turația arborelui de ieșire n_{2x} corespunzătoare vitezei maxime V_x și turația nominală a motorului n_{dn} .

Deoarece: $C_2/C_{2i} = F_o/F_{oi}$ și $n_2/n_{2x} = V/V_x$ în diagrame se trasează $F_o/F_{oi}(V/V_x)$ și nu $C_2/C_{2i}(n_2/n_{2x})$.

Pentru locomotiva menționată :

$$C_{21} = C_o \frac{n_{ox}}{n_{2x}} = F_{oi} \frac{n_{ox}}{n_{2x}} \cdot \frac{D}{2} = 130 \text{ daN.m}$$

în care:

$$F_{oi} = \frac{270 P_{dmax}}{V_x} = 2314 \text{ daN}$$

$$V_x = 35 \text{ km/h}$$

$$P_{dmax} = 300 \text{ CP}$$

$$D = 0,75 \text{ m} - \text{diametrul roții}$$

$$n_{2x} = 1650 \text{ rot/min.}$$

În diagrama din figura 3-3 sînt date caracteristicile forței de tracțiune determinate experimental pe cele două trepte de viteze pentru diferite sarcini ale motorului diesel. Punctele A, B, C, D, E de intersecție a caracteristicilor forței de tracțiune de pe cele două trepte de viteze, sînt puncte ale caracteristicii de comutare F_{of}/F_{oi} care poate asigura o variație continuă a caracteristicilor forței de tracțiune. Coordonatele acestor puncte de comutare precum și randamentele celor două transformatoare și căderea de randament la comutare, sînt date în tabela 3-6.

Tabela 3-6.

Caracteristica de comutare determinată experimental în condiția $\psi_k - 1 = 0$

n_d/n_{dn}	$(V/V_x)_k$	F_{of}/F_{oi}	η_{thI}	η_{thII}	η_{ct}
1	0,535	1,47	0,783	0,792	0,988
0,925	0,51	1,24	0,7	0,737	0,949
0,815	0,44	0,970	0,754	0,775	0,973
0,704	0,375	0,726	0,73	0,77	0,948
0,63	0,34	0,57	0,737	0,775	0,951

În figura 3-3 s-a trasat, cu datele din tabela 3-5, caracteristica de comutare teoretică (curba ABCDE - linie întreruptă).

Din comparația celor două caracteristici de comutare

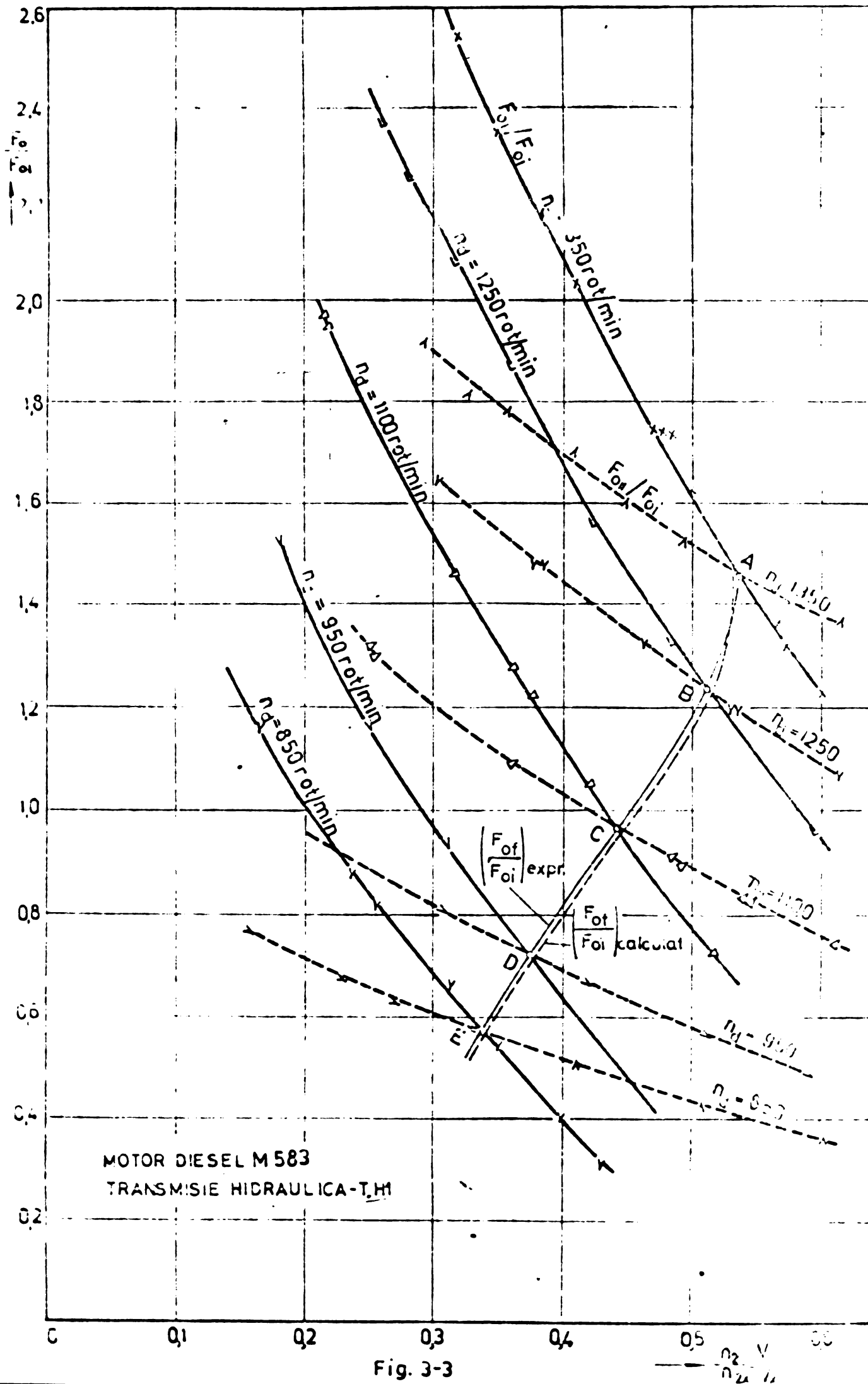


Fig. 3-3

(experimentală și teoretică), rezultă că metoda de calcul prezentată oferă o precizie suficientă pentru determinarea caracteristicii de comutare F_{of}/F_{oi} pe baza caracteristicilor transmisiei hidraulice ridicate pe stand, transmisia fiind antrenată de un motor electric asincron.

Pentru vitezele de comutare, se determină, din ultimele două ecuații ale sistemelor (3.42)...(3.44), valorile turației motorului diesel la comutare. Corespunzător caracteristicii de comutare F_{of}/F_{oi} se obțin două diagrame de comutare și anume:

$(n_{df}/n_{dn})_I$ la comutarea directă (curbe 2 din figura 3-4) și

$(n_{df}/n_{dn})_{II}$ la comutarea inversă (curba 1 din figura 3-4). Dife-

rența dintre cele două programe de comutare este destul de mică

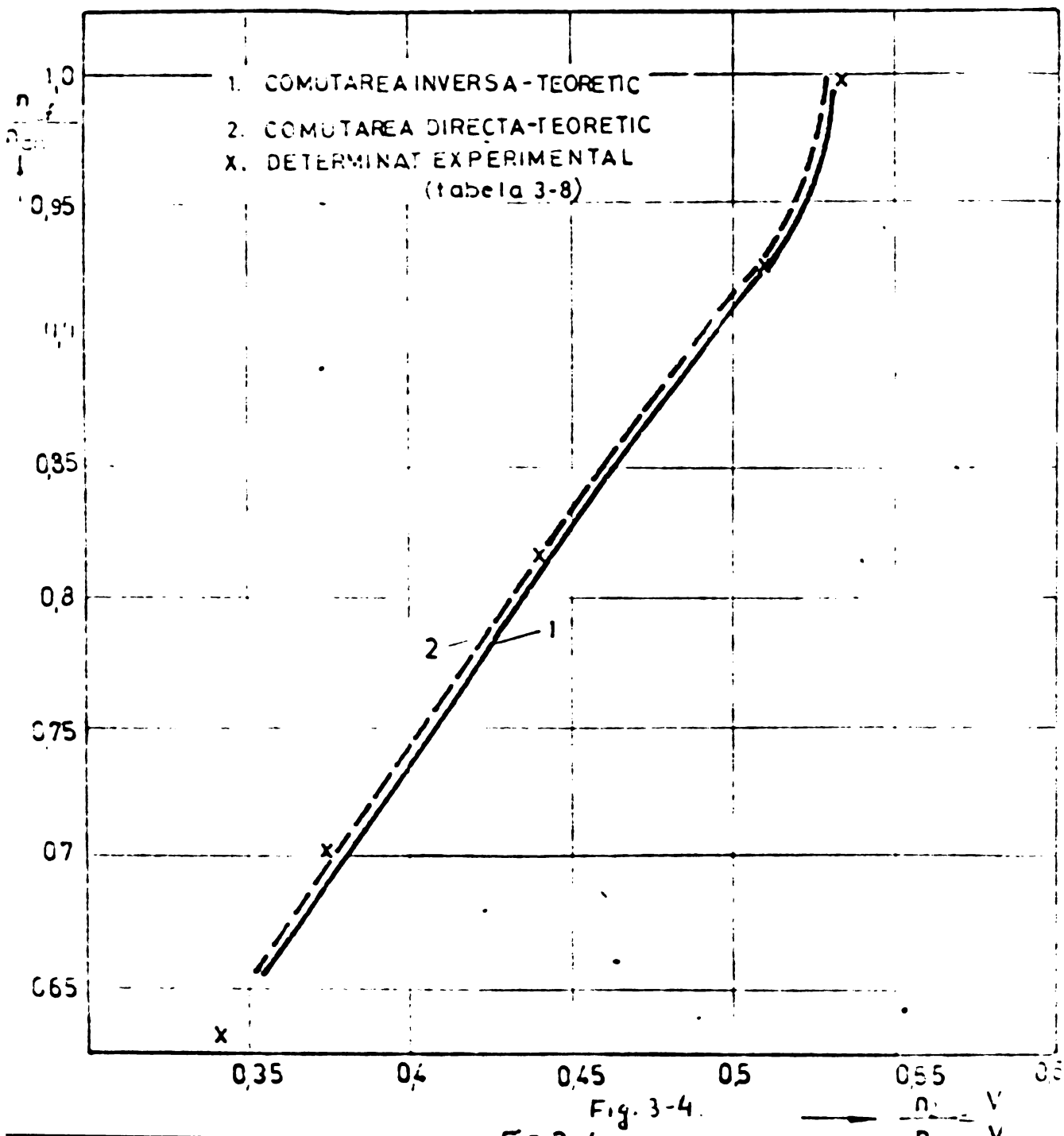


Fig. 3-4.

deoarece gradul de transparență a celor două transformatoare este mic. Din această cauză, la efectuarea măsurătorilor nu a fost posibil să se determine separat cele două programe de comutare. Pe figura 3-4 s-au marcat și punctele programului de comutare determinat experimental pentru comutarea directă.

Comutarea după caracteristica F_{o2}/F_{o1} determină un salt de randament la comutarea directă sau o cădere a randamentului la comutarea inversă. Valorile căderii de randament $\delta \eta_t$ sînt date în tabela 3-6.

3.3.4. Determinarea caracteristicilor de comutare la randament optim.

Caracteristicile de comutare $F_{o2}/F_{o1}(V/V_x)$ care pot asigura o variație continuă a randamentului transmisiei, se determină din relația (3.34).

Pentru grupul motor diesel - transmisie hidraulică, care echipază locomotiva LDH 350 CP, rezultă :

$$\frac{V}{V_x} - 2\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) \cdot \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) \cdot \frac{\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - 1,69\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)}{1,43\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)^2 - 4,06\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)^2} = 0 \quad (3.46)$$

Turația n_d/n_{dn} la funcționarea transmisiei pe transformatorul I și pe transformatorul II, se determină din unul din sistemele de ecuații:

- pentru funcționarea motorului diesel la sarcina maximă,

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)^2 + (13,78 - 0,19 \frac{V}{V_x})\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) + 0,49\left(\frac{V}{V_x}\right)^2 - 14,81 = 0$$

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)^2 + (12,86 - 0,28 \frac{V}{V_x})\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) + 0,25\left(\frac{V}{V_x}\right)^2 - 13,82 = 0 \quad (3.47)$$

$$\text{dacă } \left(\frac{V}{V_x}\right) \in [0,209; 0,49]$$

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)^2 - 0,198 \frac{v}{v_x} \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) + 0,49 \left(\frac{v}{v_x}\right)^2 - 1,02 = 0$$

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)^2 + (12,86 + 0,28 \frac{v}{v_x}) \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) + 0,25 \left(\frac{v}{v_x}\right)^2 - 13,82 = 0 \quad (3.48)$$

$$\text{dacă } \left(\frac{v}{v_x}\right)_k \in [0,49; 0,8]$$

- pentru funcționarea motorului diesel la sarcini parțiale:

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)^2 + 2(c'_{lxI} - 0,099 \frac{v}{v_x}) \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) + 0,49 \left(\frac{v}{v_x}\right)^2 - c'_{2xI} = 0$$

$$\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)^2 + 2(c'_{lxII} - 0,14 \frac{v}{v_x}) \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) + 0,25 \left(\frac{v}{v_x}\right)^2 - c'_{2xII} = 0 \quad (3.49)$$

Pentru fiecare valoare a vitezei de comutare $(v/v_x)_k$, determinată din ecuația (3.46) și relațiile (3.47)...(3.49), rezultă două valori ale forței de tracțiune, una pentru comutarea directă și alta pentru comutarea inversă.

La comutarea directă, forța de tracțiune dată de relația (3.35), pentru grupul considerat motor diesel - transmisie hidraulică, este :

$$\begin{aligned} \left(\frac{F_o}{F_{oi I}}\right) &= 2,918 \left(\frac{v}{v_x}\right)_k^2 - 5,611 \left(\frac{v}{v_x}\right)_k \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right) - \\ &- 2,358 \frac{\left(\frac{v}{v_x}\right)_k^3}{\left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)} + 4 \left(\frac{n_d}{n_{dn I}}\right)^2 \end{aligned} \quad (3.50)$$

iar pentru comutare inversă (relația 3.36) :

$$\begin{aligned} \left(\frac{F_o}{F_{oi II}}\right) &= 1,159 \left(\frac{v}{v_x}\right)_k^2 - 2,531 \left(\frac{v}{v_x}\right)_k \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right) - \\ &- 0,464 \frac{\left(\frac{v}{v_x}\right)_k^3}{\left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)} + 2,541 \left(\frac{n_d}{n_{dn II}}\right)^2 \end{aligned} \quad (3.51)$$

Prin rezolvarea sistemelor formate din ecuațiile (3.40) și (3.41) se obțin rezultatele din tabela 3-7.

Tabela 3-7.

$(V/V_x)_k$	0,522	0,49	0,439	0,407	0,372	0,342
$(n_{d7}/n_{dn})_I$	0,994	0,934	0,837	0,775	0,709	0,652
$(n_{d7}/n_{dn})_{II}$	1,002	0,936	0,838	0,777	0,711	0,653
$(F_{o7}/F_{o1})_I$	1,51	1,33	1,08	0,92	0,79	0,65
$(F_{o7}/F_{o1})_{II}$	1,43	1,28	1,03	0,88	0,74	0,62
$\delta P_o = \gamma_k$	1,020	1,039	1,087	1,045	1,067	1,048

Caracteristicile de randament ale transmisiei TH1, determinate experimental pentru diferite sarcini ale motorului diesel, sînt prezentate în diagramele din figura 3-5. Punctele de intersecție ale caracteristicilor de randament de pe cele două trepte de viteze determină vitezele de mers care pot asigura o comutare fără căderi sau salturi de randament. Pentru aceste viteze de comutare, se determină din diagrama din figura 3-3 forțele de tracțiune la începutul comutării cînd se găsește în funcțiune primul transformator $(F_o/F_{o1})_I$ și respectiv cel de al 2-lea transformator $(F_o/F_{o1})_{II}$ (tabela 3-8) și deci caracteristicile de comutare în cazul cînd nu există căderi de randament. Aceste caracteristici de comutare (determinate pe baza datelor obținute experimental) sînt date în figura 3-6 - curbele 4 și 6. Tot aici sînt trasate și caracteristicile de comutare teoretice - curbele 3 și 5.

Tabela 3-8.

Caracteristicile de comutare determinate experimental în condiția $\delta \eta_c - 1 = 0$					
n_d/n_{dn}	$(V/V_x)_k$	$(F_{o7}/F_{o1})_I$	$(F_{o7}/F_{o1})_{II}$	$\eta_{thI} = \eta_{thII}$	$\delta P_o = \gamma_k$
1	0,528	1,50	1,47	0,775	1,02
0,925	0,490	1,31	1,28	0,730	1,02
0,815	0,428	1,01	0,98	0,770	1,03
0,704	0,350	0,76	0,74	0,755	1,02
0,63	0,325	0,66	0,58	0,76	1,13

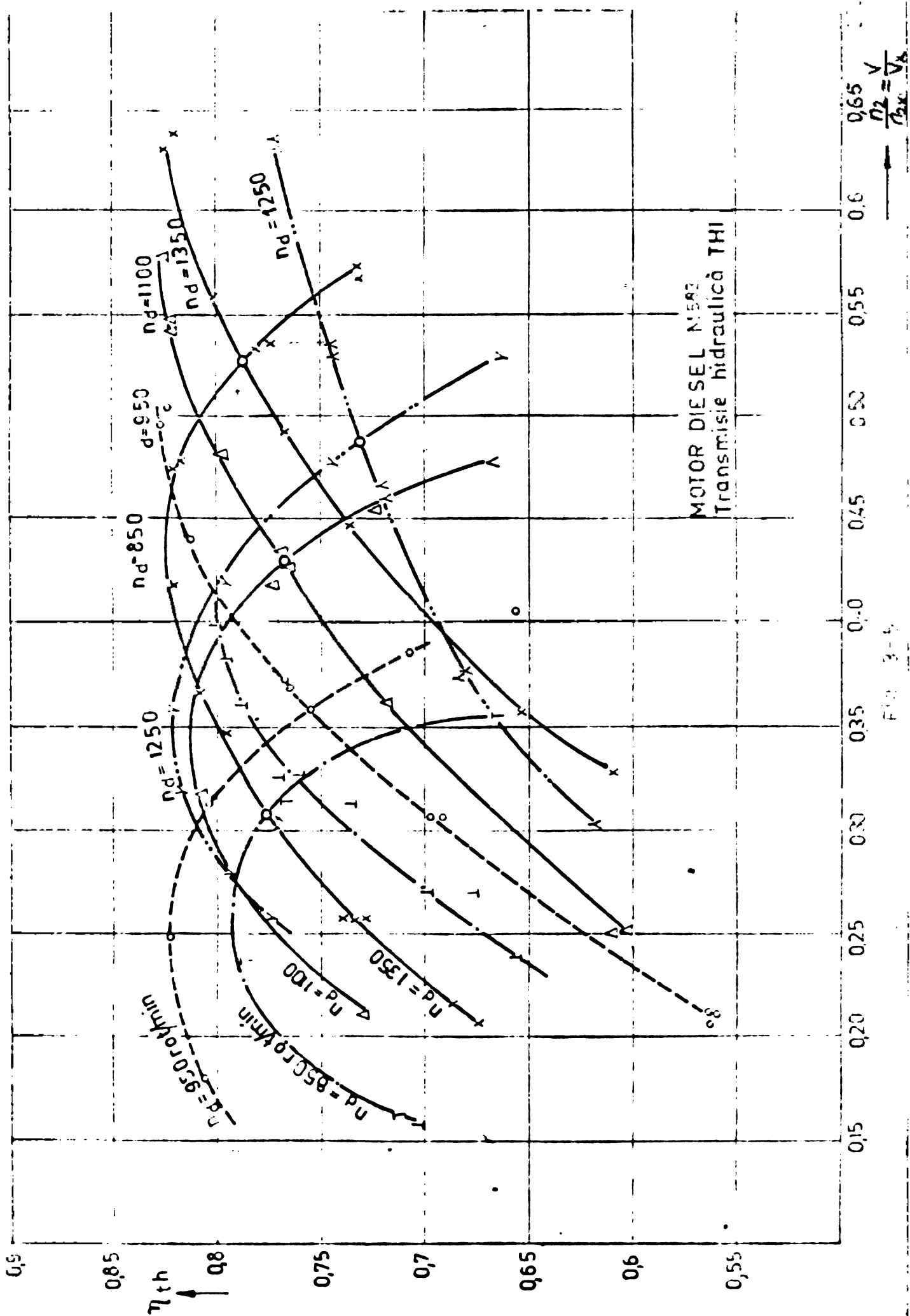


FIG. 3-5

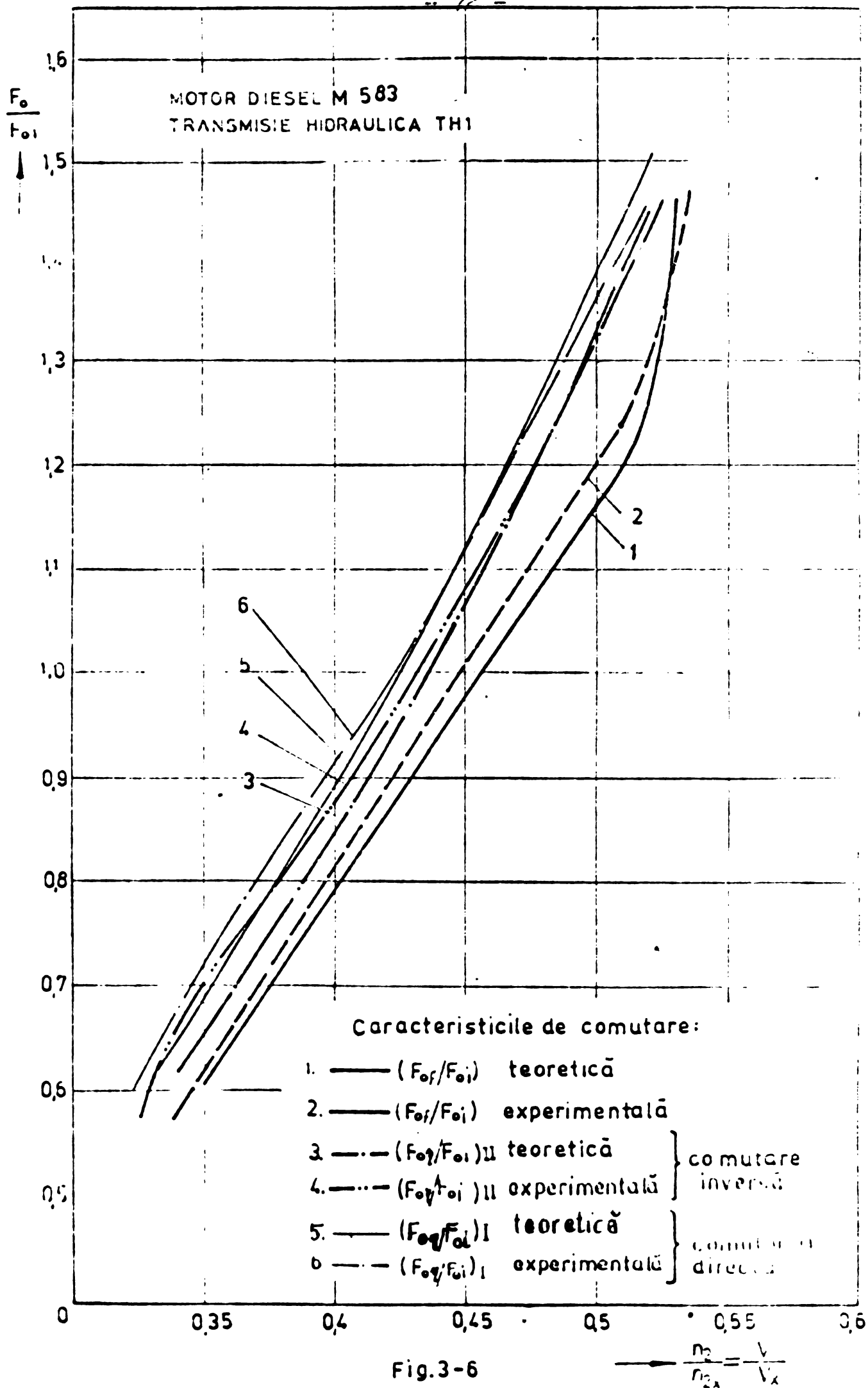
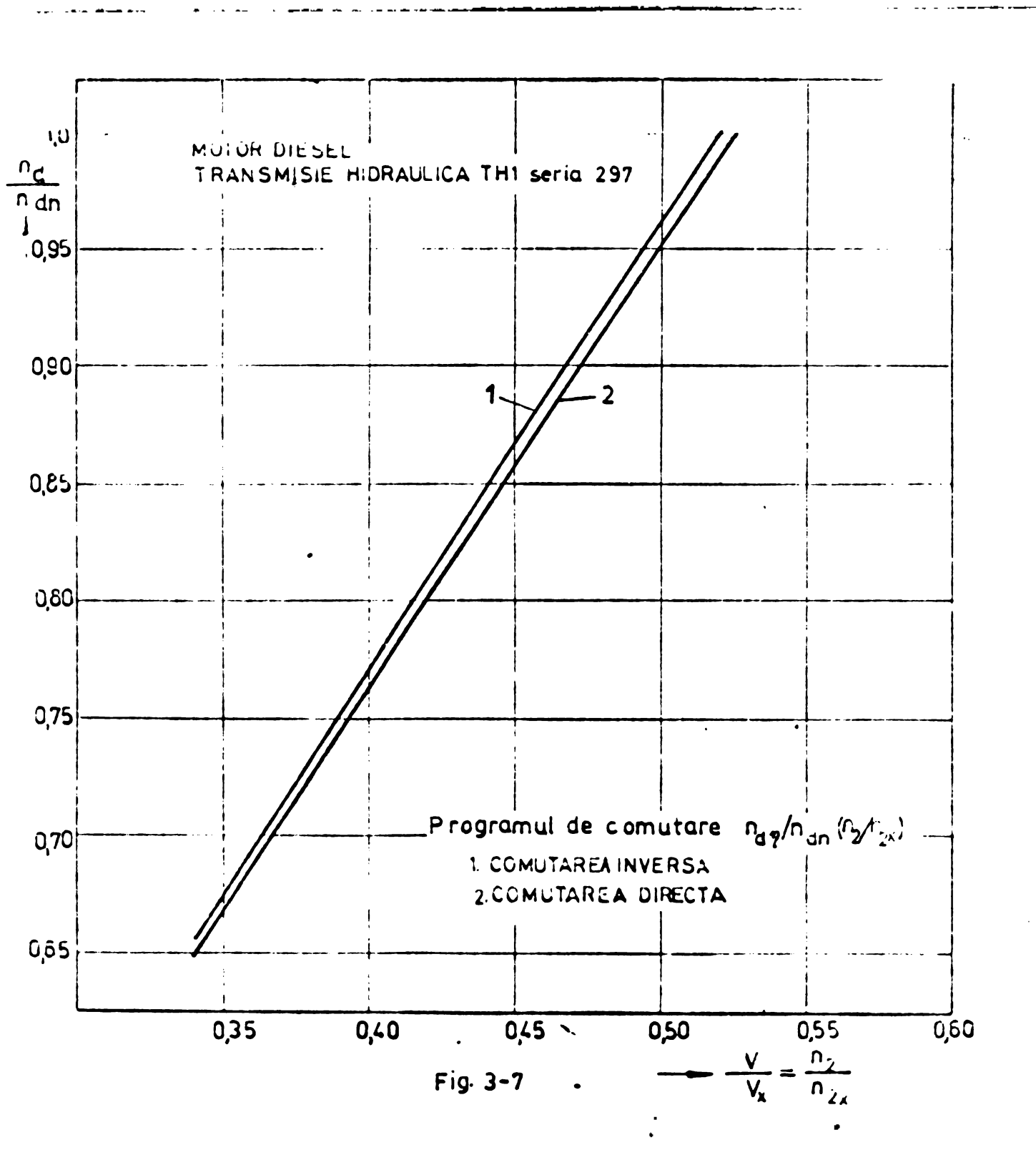


Fig.3-6

Programele de comutare $(n_d / n_{dn})_I$ la comutarea de pe transformatorul I pe II și $(n_d / n_{dn})_{II}$ - la comutarea de pe transformatorul II pe I, corespunzător celor două caracteristici de comutare sînt date în figura 3-7. Si în acest caz, diferența între cele două programe de comutare este mică deoarece gradul de transparență a celor două transformatoare, la viteze de comutare, are valori mici.



3.3.5. Alegerea caracteristicii de comutare la creșterea vitezei locomotivei.

În paragraful 3.3.3. s-a stabilit caracteristica de comutare $F_{of}/F_{oi} = f_1(V/V_x)$ care poate asigura caracteristici ale forței de tracțiune favorabile, iar în paragraful 3.3.4. caracteristica $(F_{o7}/F_{oi})_d = f_2(V/V_x)$ care poate asigura caracteristici de randament oprin la comutarea directă.

Evident, că numai una din aceste caracteristici, sau o combinație a celor două caracteristici, poate fi aleasă pentru o anumită locomotivă.

După cum s-a arătat în paragraful 3.2, pentru locomotive destinate serviciului de manevră, se alege caracteristica $(F_{o7}/F_{oi})_d$ la funcționarea motorului diesel la sarcini parțiale adică pentru vitezele de comutare $(V/V_x)_k \in [(V/V_x)_{min}, (V/V_x)_{max}]$ și F_{of}/F_{oi} la funcționarea motorului diesel la sarcina nominală și la sarcini apropiate de aceasta, adică pentru viteza de comutare $(V/V_x)_k = (V/V_x)_{max} = 0,535$ și în vecinătatea inferioară a acesteia.

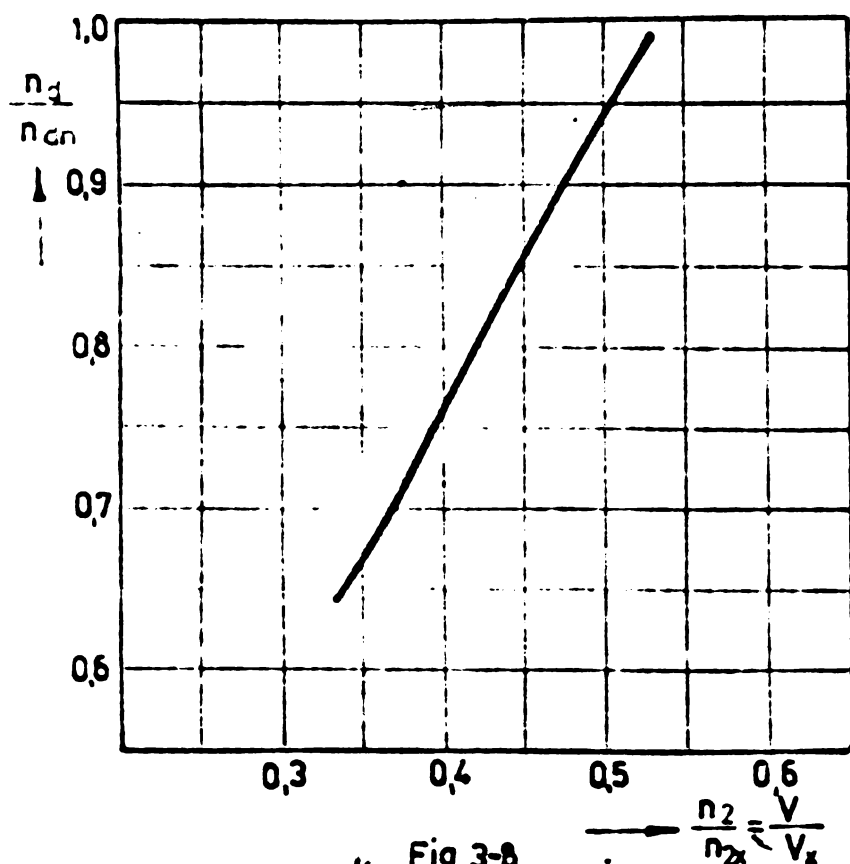


Fig 3-8

Programul de comutare corespunzător acestei caracteristici de comutare rezultă din programele de comutare $(n_{di}/n_{dn})_d$ (curba 2 din figura 3-4) și $(n_{d7}/n_{dn})_d$ (curba 2 din figura 3-7) și este dat în figura 3-8.

Programul de comutare poate fi considerat cu suficientă precizie ca fiind dat de dreapta a cărei ecuație este:

$$80 \frac{n_d}{n_{dn}} - 150 \left(\frac{V}{V_x} \right)_d - 1 = 0 \quad (3.52)$$

Dacă comutarea directă se realizează după acest program, criteriile de comutare au valorile din tabela 3-9. Valorile suficient de apropiate de valoarea unitate a acestor criterii justifică metodologia de calcul utilizată și ipotezele făcute la alegerea caracteristicii de comutare.

Tabela 3-9.

$(V/V_x)_k$	0,535	0,49	0,439	0,407	0,372	0,342
$\delta F_0 = Y_k$	1,0	1,039	1,087	1,045	1,067	1,048
$\delta \tau_t$	0,987	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

La determinarea caracteristicilor de comutare inversă trebuie să se ia în considerare, pe lângă criteriile calculate, condițiile de funcționare stabilă a transmisiei la comutare, și de aceea aceste caracteristici se determină în capitolul 4.

4. COMUTAREA INVERSA.

4.1. Variația forței de tracțiune în procesul de comutare.

4.1.1. Analiza procesului de comutare.

Funcționarea concomitentă în timpul comutării a agregatelor hidraulice din care este compusă transmisia reprezintă un proces complicat, deoarece fiecare agregat, funcționând individual influențează regimul de lucru a celorlalte agregate hidraulice. Această influență reciprocă a agregatelor hidraulice depinde de turația motorului diesel, de viteza locomotivei, de gradul de umplere al agregatelor hidraulice la un moment dat al procesului de comutare și de parametrii sistemului de comutare.

Din cauza complexității fenomenului din cavitatea de lucru a agregatelor hidraulice la umplerea și golirea lor de ulei, determinarea analitică a caracteristicilor grupului motor diesel - transmisie hidraulică și deci a caracteristicilor de tracțiune ale locomotivei în timpul procesului de comutare este dificilă, iar rezultatele obținute pot fi nesigure. De aceea, forța de tracțiune în procesul de comutare se va determina din caracteristicile transmisiei hidraulice ridicate experimental la golirea și umplerea ei.

În timpul procesului de comutare are loc atât o redistribuire a puterii transmisă de motorul diesel pe cele două agregate hidraulice, cât și o variație însemnată a ei. Variația puterii produce modificarea forței de tracțiune și ca urmare, poate să apară, în anumite condiții de exploatare, un regim instabil de funcționare care se manifestă prin imposibilitatea trecerii pe treapta următoare de viteze (v. paragraful 2.2.4). De aceea, parametrii instalației de umplere și golire trebuie astfel aleși încât să asigure menținerea constantă a puterii care se transmite de la motorul diesel la arborele de ieșire din transmisie.

În timpul comutării treptelor de viteze, la arborele de intrare și la cel de ieșire, ca urmare a suprapunerii procesului de umplere și de golire, se însumează cuplurile date de ambele agregate. Astfel la arborele de intrare în transmisie se obține:

$$C_1 = C_{1I} + C_{1II} \quad (4.1)$$

iar la arborele de ieșire din transmisie :

$$C_2 = C_{2I} + C_{2II} \quad (4.2)$$

în care:

C_{1I} și C_{2I} reprezintă cuplul la arborele de intrare în transmisie și respectiv la arborele de ieșire din transmisie, date de agregatul hidraulic de pe prima treaptă de viteze;

C_{1II} și C_{2II} - cuplul la arborele de intrare în transmisie și respectiv la arborele de ieșire din transmisie, date de agregatul hidraulic de pe treapta a doua de viteze.

În ceea ce privește redistribuirea cuplului de ieșire din transmisie, pe cele două agregate hidraulice, sînt posibile trei variante:

1). Golirea primului agregat hidraulic se face mai repede decît umplerea celui de al doilea agregat hidraulic, așa cum se vede din figura 4-1, în care sã de oscilograma procesului de comutare ridicatã la regimul ușor de funcționare a locomotivei CFR 040 DHC, viteza de mișcare în timpul comutãrii menținându-se constantã.

Cuplul total C_1 la arborele de intrare în transmisia hidraulică se micșorează:

$$C_{1I} + C_{1II} < C_1^{(0)}$$

Motorul diesel se descarcã iar turația lui (n_d) crește.

Cuplul total C_2 la arborele de ieșire din transmisia hidraulică (forța de tracțiune) se micșorează:

$$C_{2I} + C_{2II} < C_2^{(0)}$$

$C_1^{(0)}$ și $C_2^{(0)}$ reprezintă cuplurile la arborele de intrare și respectiv la arborele de ieșire din transmisia hidraulică la începutul comutãrii ($t = 0$).

Această variantă de comutare este utilizatã în general la locomotivele diesel-hidraulice construite la noi în țarã și la majoritatea locomotivelor diesel cu trepte de viteze hidraulice construite în Europa în ultimii ani.

2). Golirea primului agregat hidraulic se face mai încet decît umplerea celui de al doilea agregat hidraulic.

În această variantă cuplul total C_1 la arborele de

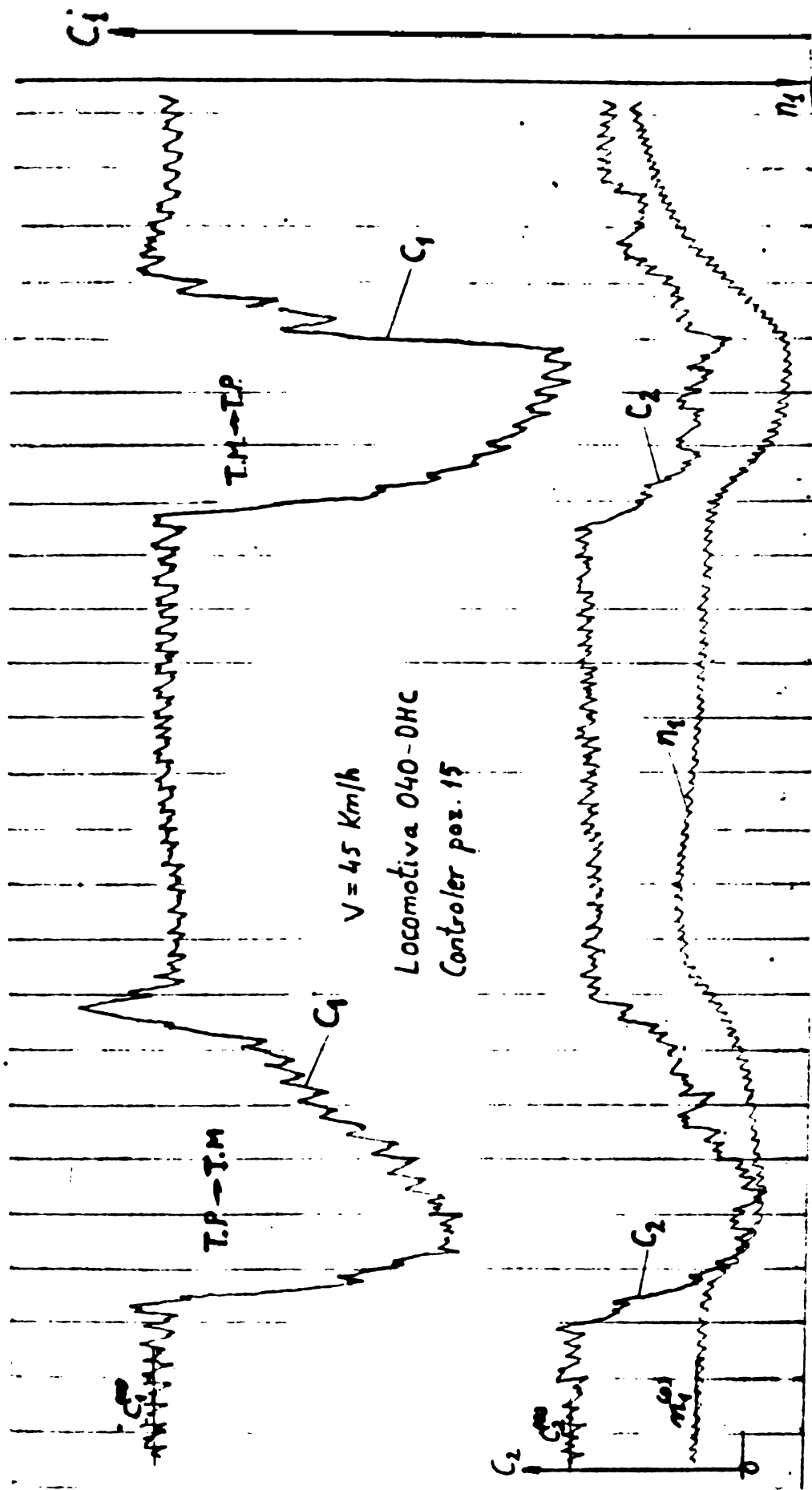


Fig. 4-1

intrare crește, iar motorul diesel se supraîncarcă. Turația motorului diesel, și ca urmare, șiturația rotorului pompei se micșorează, ceea ce determină micșorarea cuplului rotorului turbinei. Cuplul total C_2 la arborele de ieșire din transmisia hidraulică. (forța de tracțiune) se micșorează.

În cazul acestei variante sistemul de reglare trebuie astfel realizat încât inițial se conectează cel de al doilea agregat hidraulic și numai după un anumit interval de timp Δt se deconectează, adică începe golirea primului agregat hidraulic. Pe intervalul de timp Δt cele două agregate hidraulice funcționează paralel.

Această variantă poate să apară și spre sfârșitul procesului de comutare dacă viteza de umplere al celui de al doilea agregat este mare în raport cu viteza de golire a primului, chiar dacă umplerea unui agregat și golirea celuilalt au început concomitent.

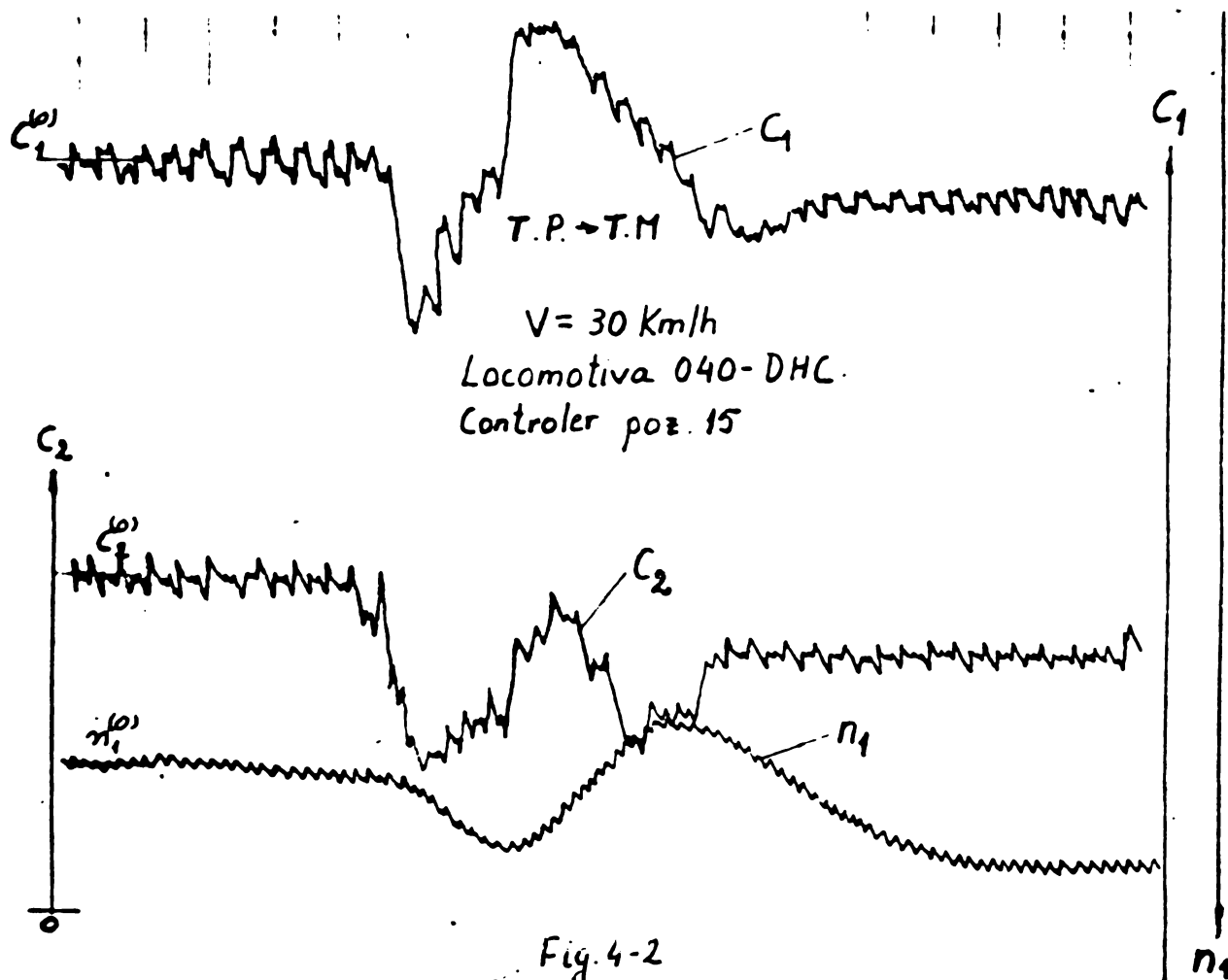
Un astfel de caz se întâlnește la unele locomotive CFR din seria 040 DHB (fig.4-2). În timpul experimentărilor locomotiva a funcționat la regimul ușor. Oscilograma s-a ridicat pe o porțiune de linie unde viteza de mișcare s-a menținut constantă în timpul comutării.

Neajunsul principal al acestei variante de comutare îl reprezintă pericolul unei supraîncărcări mari a motorului cu urmările ei - o micșorare însemnată a puterii motorului și a forței de tracțiune a locomotivei, în special la funcționarea motorului la sarcina nominală. Supraîncărcarea motorului diesel ca urmare a funcționării în paralel a celor două agregate hidraulice duce la micșorarea turației motorului.

Având în vedere că apare, pe de o parte, o supraîncărcare a motorului diesel (care dacă se prelungește poate fi periculoasă), iar pe de altă parte o micșorare a forței de tracțiune, această variantă de comutare se apreciază ca dezavantajoasă în comparație cu prima variantă.

3). Golirea primului agregat hidraulic și umplerea celui de al doilea agregat hidraulic este astfel reglată încât cuplul total C_1 la arborele de intrare în transmisie se menține constant în timpul comutării :

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= C_1^{(0)} = C_{1II} + C_{1III} \\ n_d &= \text{const.} \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$



Dacă relațiile (4.3) sînt satisfăcute, atunci și cuplul la arborile de ieșire din transmisia hidraulică, deci și forța de tracțiune, sînt constante în timpul comutării, adică :

$$C_2 = C_2^{(0)} = C_{2I} + C_{2II} \quad (4.4)$$

Relațiile (4.3) și (4.4) sînt satisfăcute numai la o corelare judicioasă a golirii și umplerii celor două agregate hidraulice. Dacă acest lucru este posibil de realizat la orice regim de funcționare a motorului diesel, această variantă reprezintă cazul ideal de comutare.

În cele ce urmează se vor analiza mai amănunțit aceste variante de comutare. La baza analizei stau rezultatele experimentale pe care le-am obținut pe standul de încercat transmisii

hidraulice al Catedrei de material rulant de la Institutul politehnic București. Acest stand a fost echipat, în timpul măsurătorilor efectuate, cu un motor diesel M 583 de 350 CP la turația de 1350 rot/min și cu transmisia hidraulică TH1 seria 297.

Pe stand s-au ridicat caracteristicile grupului motor diesel - transmisie hidraulică în următoarele variante:

- 1). Umplerea separat a transformatorului de pornire și separat a celui de mers.
- 2). Golirea separat a transformatorului hidraulic de pornire și separat a celui de mers.
- 3). Comutarea directă, adică trecerea de la prima treaptă de viteze pe treapta a doua.
- 4). Comutarea inversă, adică trecerea de pe treapta a doua de viteze pe treapta întâia.

Măsurătorile s-au făcut pentru diferite regimuri de funcționare a motorului diesel și diferite turații ale rotorului turbinei.

Pe stand, sarcina corespunzătoare procesului de comutare, s-a realizat prin frînarea arborelui de ieșire din transmisie și prin modificarea sarcinii motorului diesel.

4.1.2. Procesul de umplere a transformatoarelor hidraulice.

În figura 4-3 se dă oscilograma procesului de umplere a transformatorului hidraulic de pornire, iar în figura 4-4 oscilograma procesului de umplere a transformatorului hidraulic de mers la sarcina nominală a motorului diesel și la o turație a arborelui de ieșire din transmisia hidraulică în momentul inițial al procesului de umplere ($t = 0$).

Rezultatele obținute prin prelucrarea oscilogramelor ridicate la umplerea transformatorului de pornire pentru diferite regimuri de încărcare a motorului diesel și diferite turații ale arborelui de ieșire din transmisia hidraulică sunt prezentate în diagramele din figurile 4-5 și 4-7 pentru transformatorul de pornire, iar în diagramele din figurile 4-6 și 4-8 pentru transformatorul de mers.

În diagramele din figurile 4-5 și 4-7 s-a reprezentat variația în funcție de timp a cuplului relativ C_1/C_{11} la arborele de intrare în transmisie la umplerea și la golirea celor două transformatoare.

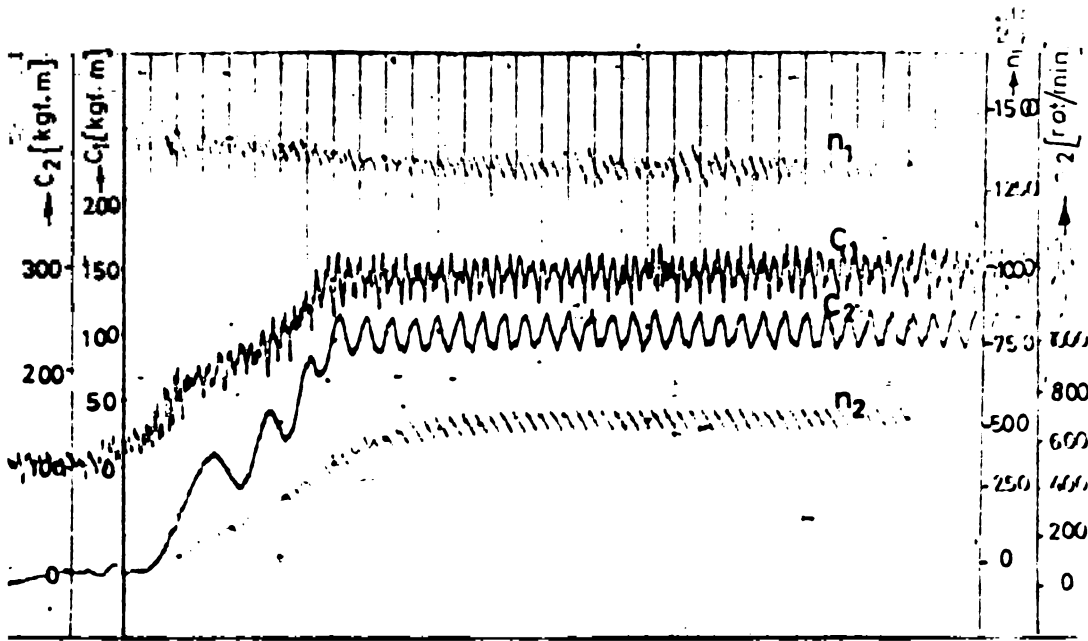


Fig. 4-3

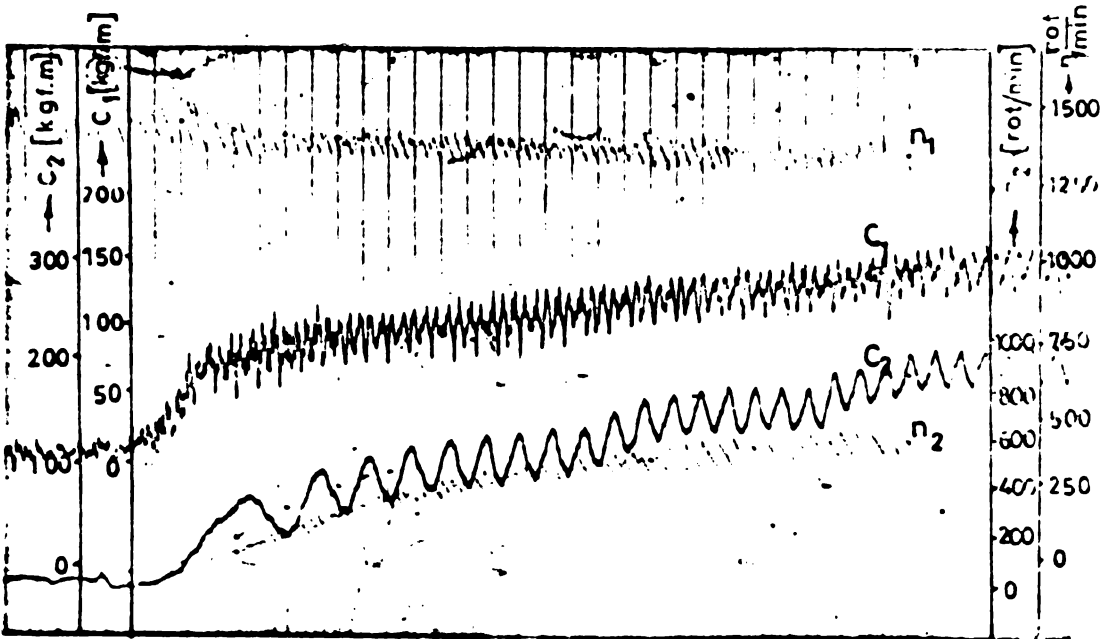
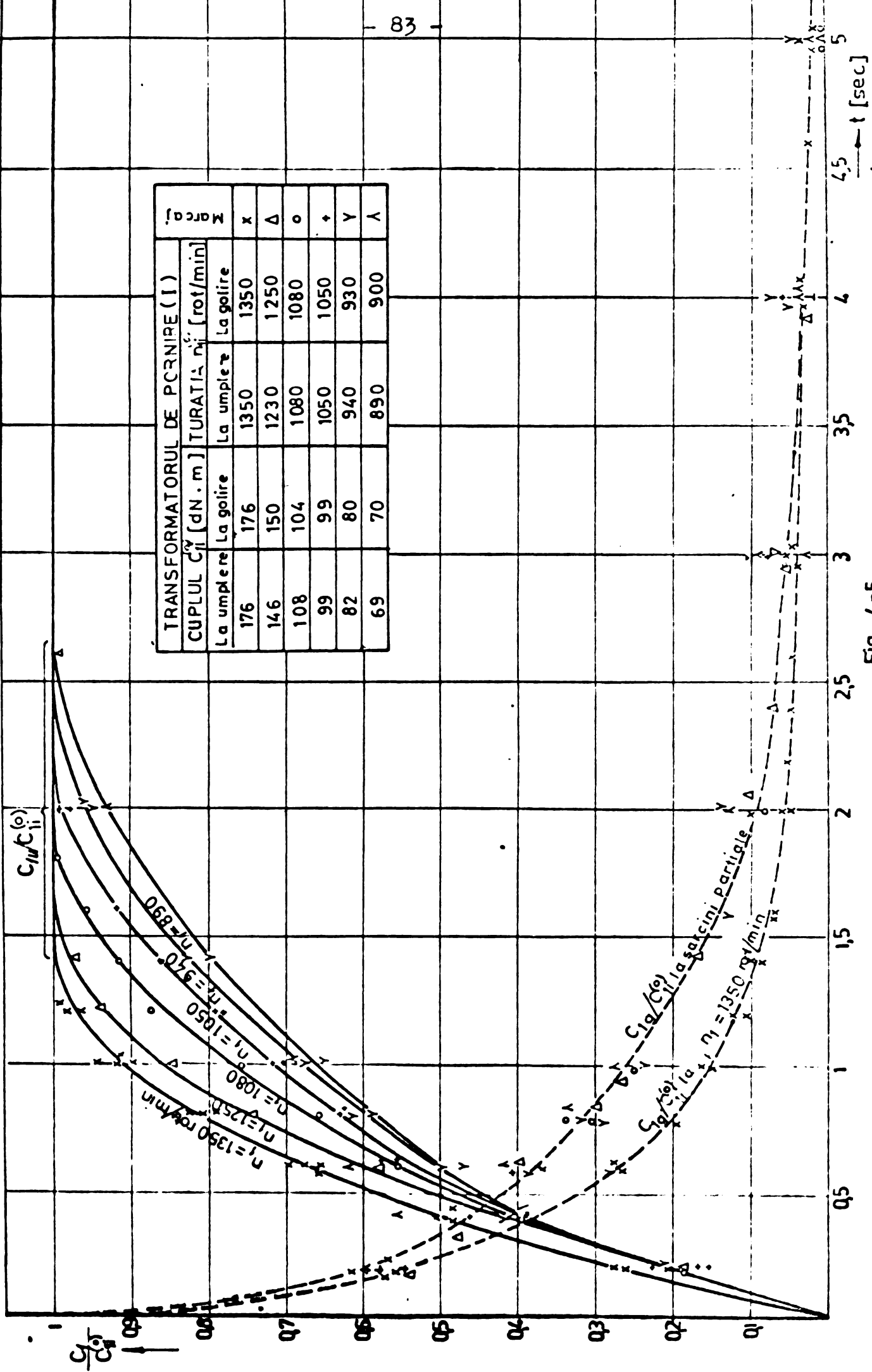


Fig. 4-4



TRANSFORMATORUL DE PCRNIRE (I)

CUPUL C _{II} [dn . m]		TURATIA n ₁ [rot/min]		Marcaj
La umplere	La goliire	La umplere	La goliire	
176	176	1350	1350	x
146	150	1230	1250	Δ
108	104	1080	1080	o
99	99	1050	1050	•
82	80	940	930	Y
69	70	890	900	λ

Fig. 4-5

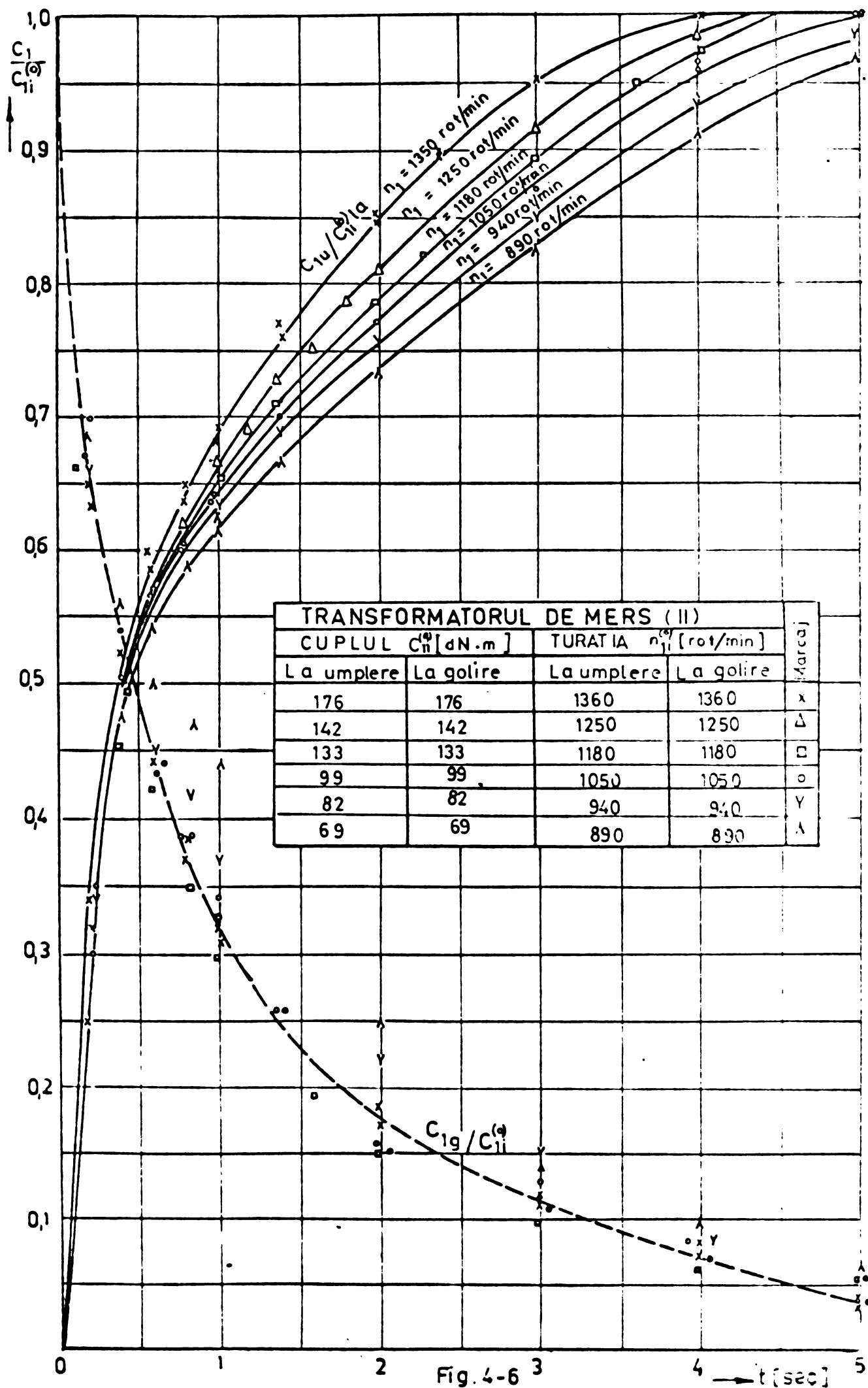
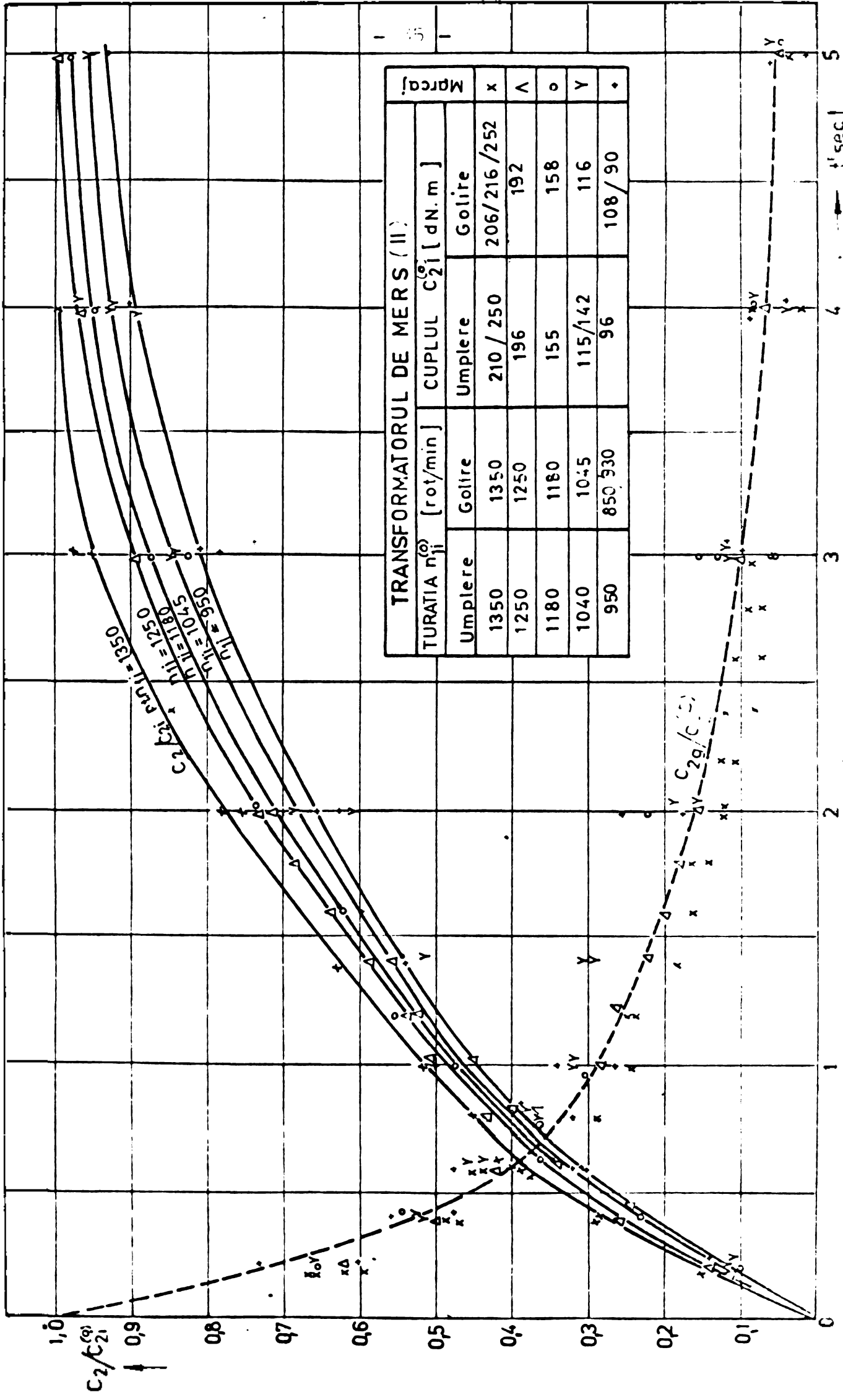


Fig. 4-6 3



TRANSFORMATORUL DE MERS (II)

TURATIA n _{ii} ⁽⁰⁾ [rot/min]		CUPLUL C _{2i} ⁽⁰⁾ [dN.m]		Marcaj
Umplere	Golire	Umplere	Golire	
1350	1350	210 / 250	206 / 216 / 252	x
1250	1250	196	192	Δ
1180	1180	155	158	o
1040	1045	115 / 142	116	Y
950	850 / 930	96	108 / 90	•

Fig. 4-7

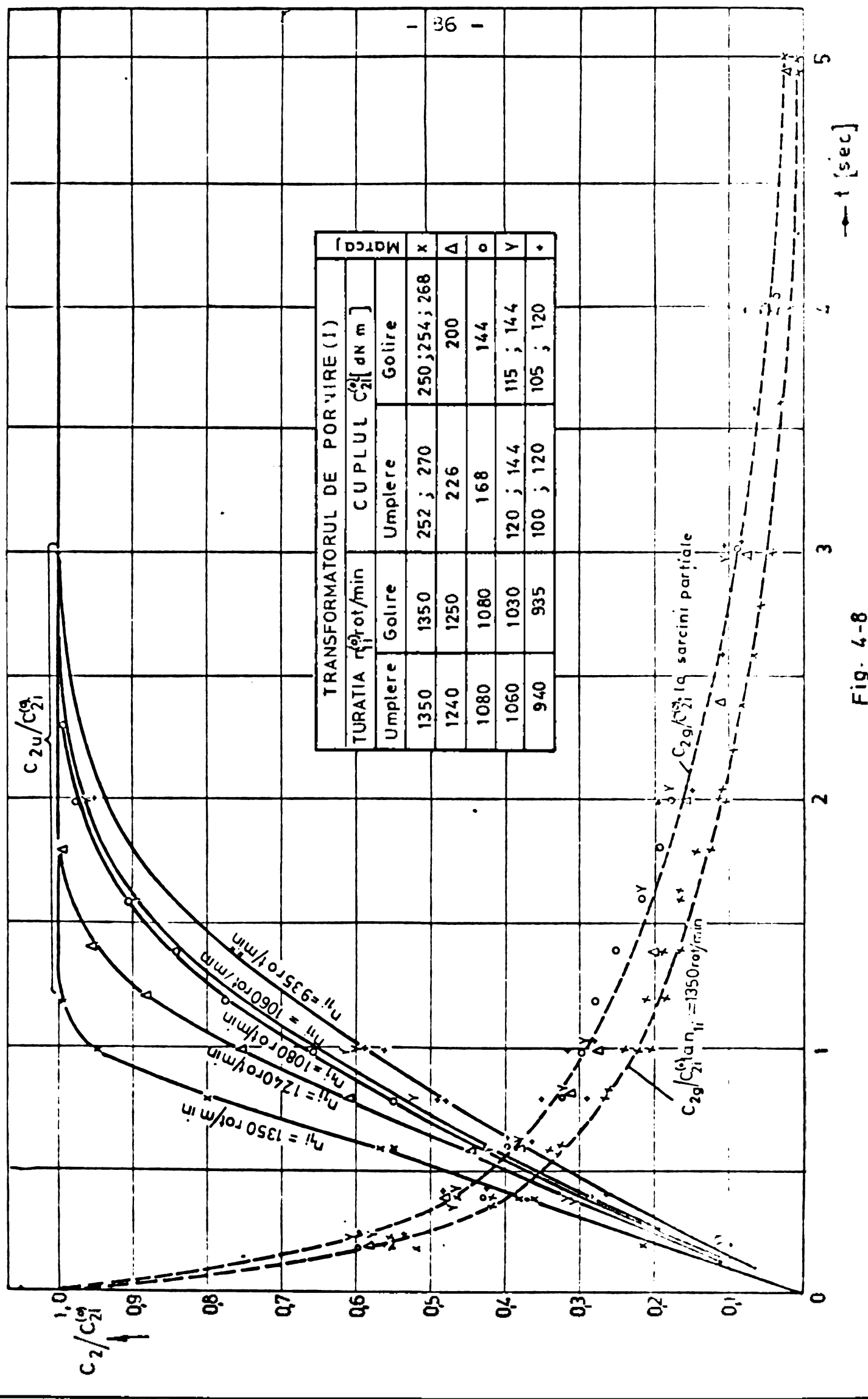


Fig. 4-8

In diagramele din figurile 4-6 și 4-8 s-a reprezentat variația cuplului relativ C_2/C_{21} la arborele de ieșire din transmisia hidraulică, în timpul umplerii și golirii celor două transformatoare hidraulice. Pentru mărimile de referință C_{1i} , C_{2i} , n_{1i} , n_{2i} , s-au ales valorile corespunzătoare momentului inițial de umplere respectiv de golire.

Din aceste diagrame rezultă că durata de umplere depinde de turația motorului și este diferită pentru cele două agregate hidraulice. Transformatorul de pornire se umple în 1,3 secunde la turația motorului de 1350 rot/min. și în 3 secunde la turația de 935 rot/min, iar transformatorul de mers în circa 4...6 secunde în funcție de turația motorului diesel. Dacă turația motorului diesel, în momentul inițial al umplerii, se reduce, atunci durata procesului de comutare se mărește din cauza micșorării debitului pompei de alimentare, turația căreia este proporțională cu turația motorului diesel.

De asemenea viteza de creștere a cuplului la arborele de ieșire (cuplul C_{2u}/C_{2i}) este diferită la cele două transformatoare la aceeași turație n_{1i} a motorului diesel. La același transformator viteza de creștere aproape că nu este influențată de turația motorului diesel în prima secundă a procesului de comutare, diferențe mai mari de la o turație la alta fiind aproximativ la mijlocul intervalului de umplere.

In timpul umplerii transformatorului, sarcina motorului diesel crește iar turația lui se micșorează în concordanță cu caracteristica de regulator pe care funcționează motorul (poziția controlerului) și cu gradul de transparență al transformatorului.

4.1.3. Procesul de golire a transformatoarelor hidraulice.

In figura 4-9 se prezintă un exemplu de oscilogramă a golirii transformatorului de pornire, iar în figura 4-10 - pentru transformatorul de mers. Astfel de oscilograme s-au ridicat pentru diferite regimuri de funcționare a motorului diesel și pentru diferite regimuri de încărcare a arborelui de ieșire din transmisia hidraulică.

Rezultatele obținute prin prelucrarea oscilogramelor sînt prezentate în diagramele din figurile 4-5...4-8. Din aceste diagrame rezultă că durata de golire a celor două transformatoare

este aproximativ aceeași. Cuplul la arborele de ieșire se micșorează la zero în circa 5 secunde de la începutul procesului de golire.

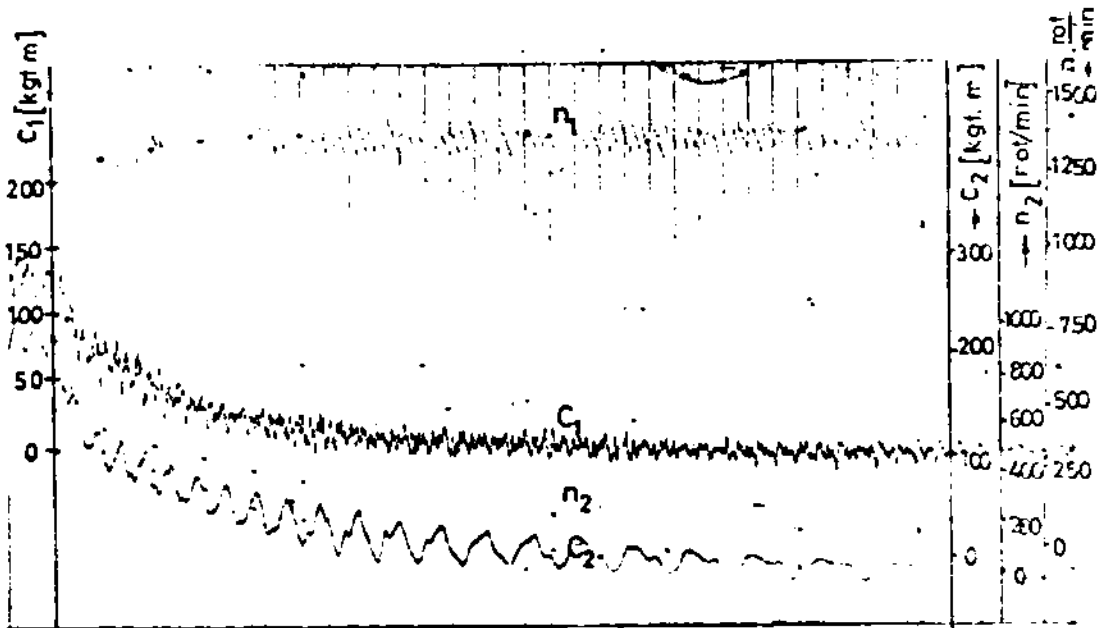


Fig. 4-9

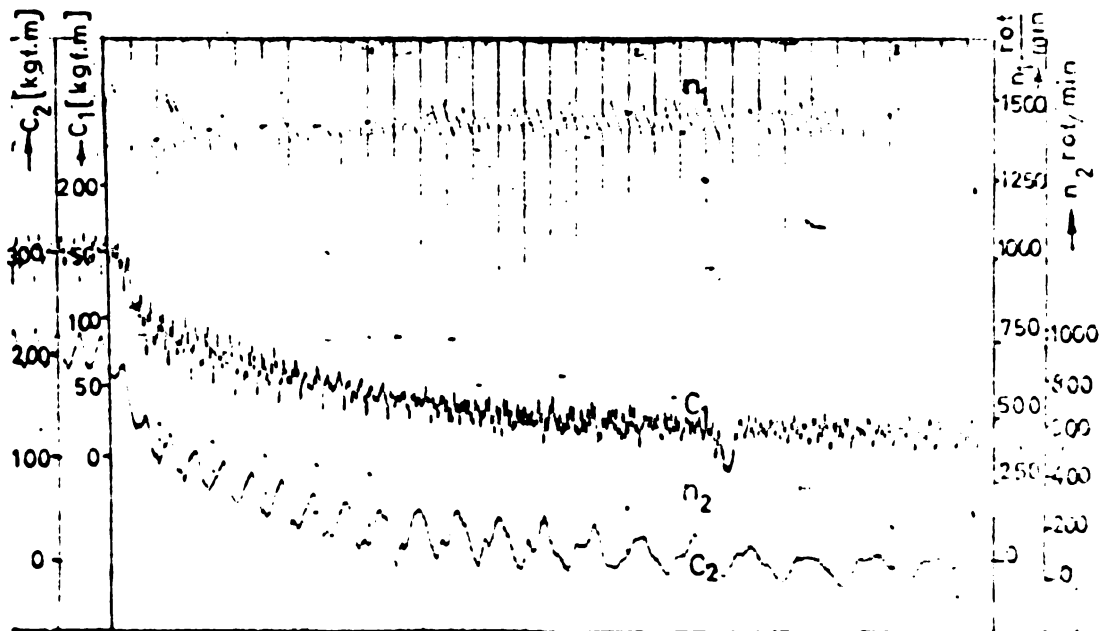


Fig. 4-10

Variația cuplului relativ $C_{2g}/C_{21}^{(a)}$ în timpul procesului de golire, așa cum rezultă din analiza datelor experimentale obținute la încercarea transmisiei hidraulice TH1, nu depinde de turația arborelui de ieșire din transmisia hidraulică (regimul de

mişcare a locomotivei) și de regimul de funcționare a motorului diesel (fig.4-7 și 4-8). Cu toate că la sarcina nominală a motorului diesel valorile cuplului relativ sînt cu ceva mai scăzute decît la sarcini parțiale ale motorului, diferența este așa de mică că practic se poate considera că și aceste valori fac parte din zona care definește caracteristica cuplului la arborele de ieșire din transmisia hidraulică. Cu suficientă precizie cuplul transformatorului care se golește se poate aproxima prin funcția:

$$\frac{C_{2g}}{C_{21}^{(0)}} = e^{-a_1 t^2 + a_2 t} \quad (4.5)$$

în care a_1 și a_2 sînt constante determinate de caracteristicile experimentale (fig.4-6 și 4-7).

4.1.4. Comutarea de la treapta I la treapta II.

Procesul de comutare a fost oscilografiat la diferite regimuri de funcționare a motorului și la diferite turații ale arborelui de ieșire din transmisie.

În figura 4-11 se arată variația cuplului la arborele de intrare C_1 și la arborele de ieșire C_2 raportat la valoarea respectivă a cuplului în momentul inițial al comutării ($C_1 = C_1$ și $C_2 = C_2$ la $t = 0$), în trecerea de pe treapta I pe treapta II. Comutarea reprezentată în figura 4-11, a s-a făcut la sarcina nominală a motorului diesel și la două turații ale arborelui de ieșire din transmisie, în momentul inițial al comutării, $n_2 = 717$ rot/min. și $n_2 = 800$ rot/min; iar în figurile 4-11, b...f la regimuri parțiale ale motorului și turații $n_2^{(0)}$ la ieșire respectiv de 780, 490 și 370 rot/min. Comutările au fost efectuate stabilindu-se un regim de funcționare al motorului, iar prin frînarea arborelui de ieșire - o anumită turație $n_2^{(c)}$.

Analiza oscilogramelor și a graficelor arată că variația cuplului C_1 și C_2 la diferite regimuri de funcționare ale motorului diesel și la diferite turații ale arborelui de ieșire din transmisie are loc după legi destul de apropiate.

În toate regimurile cercetate de funcționare a motorului diesel, se observă la comutare o creștere a turației motorului diesel, ca urmare a micșorării cuplului C_1 , deci a deschiderii motorului.

Pe toate oscilogramele se observă o micșorare a

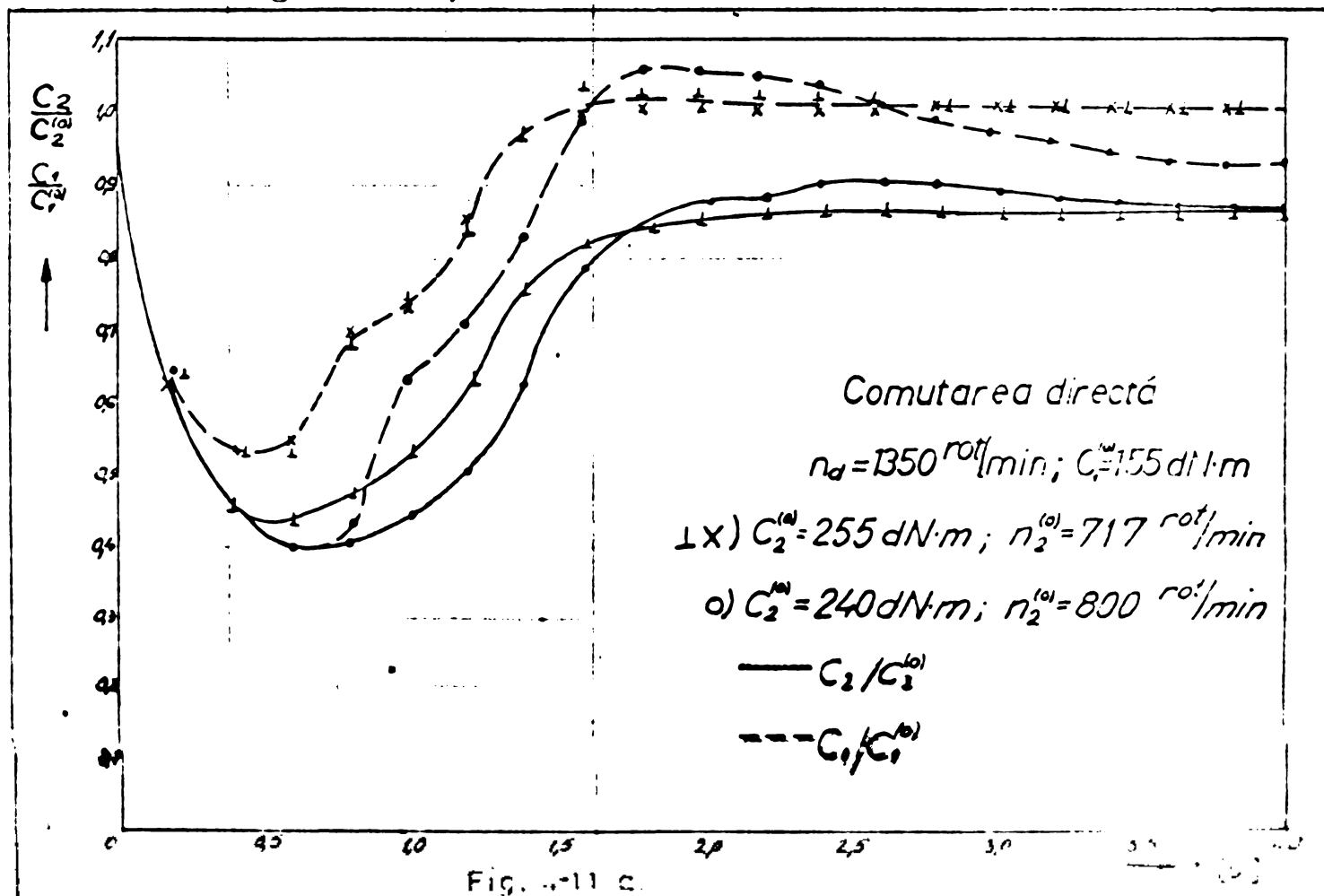
cuplului la arborele de ieșire pînă la valoarea minimă $C_{2min} \approx 0,42 C_2^{(0)}$ la toate regimurile de funcționare ale motorului diesel și la diferite turații ale arborelui de ieșire din transmisie.

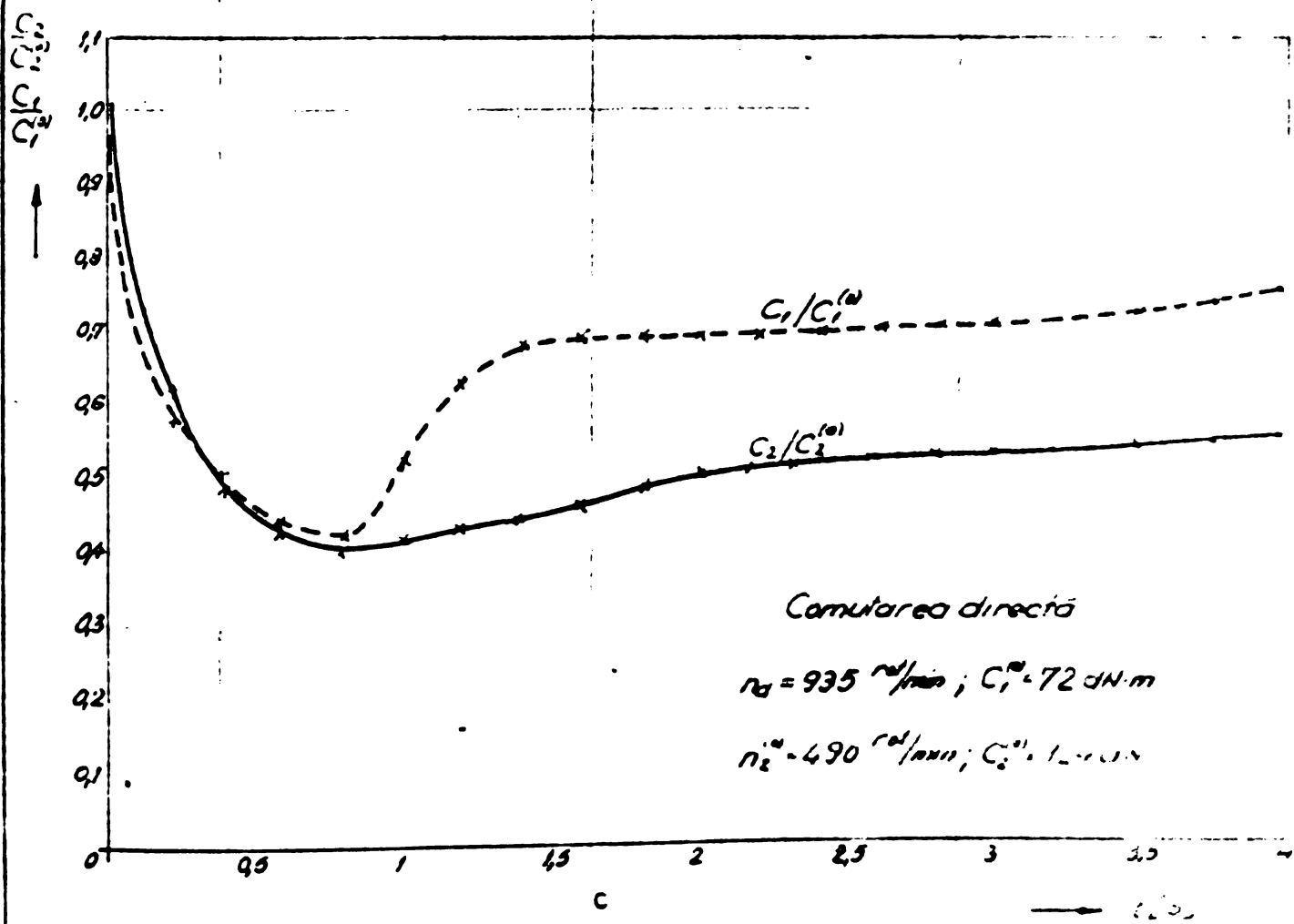
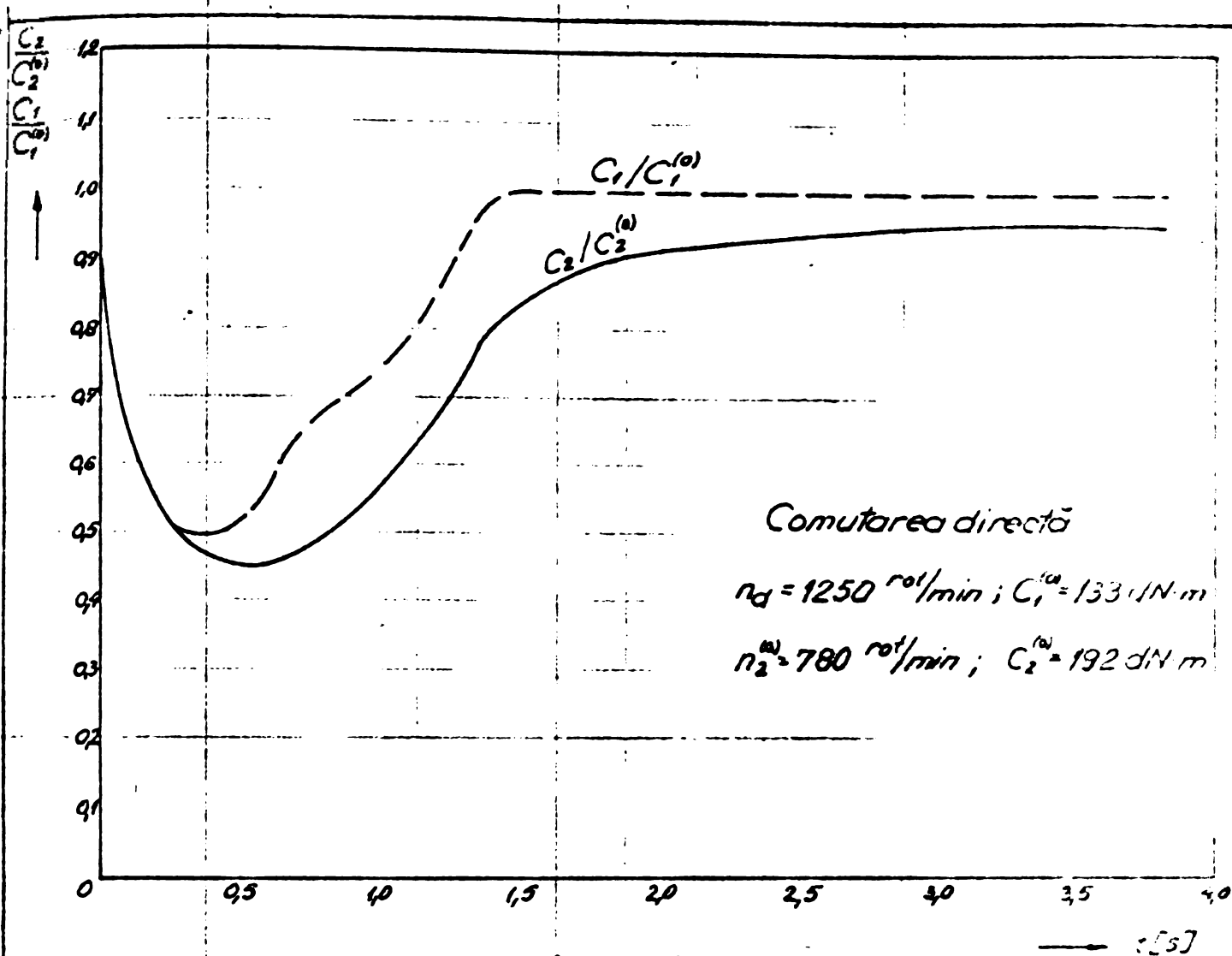
Cuplul la arborele de intrare C_1 se micșorează în timpul comutării pînă la valoarea minimă $C_{1min} \approx 0,5 C_1^{(0)}$. Valoarea minimă a cuplului se menține aproximativ aceeași la toate regimurile de funcționare a motorului și la diferite turații ale arborelui de ieșire din transmisie.

La toate regimurile cercetate valoarea minimă a celor două cupluri are loc la circa 0,7 secunde de la începutul procesului de comutare. Aceasta se explică prin variația cuplului respectiv la golire, care are o scădere bruscă la începutul procesului (fig.4-5 și 4-6), în timp ce umplerea celuilalt transformator se desfășoară mai lent (fig.4-7 și 4-8). Spre sfîrșitul perioadei de comutare suprapunerea umplerii și golirii celor două transformatoare este mai judicioasă, suma ($C_{2g} + C_{2n}$) și respectiv ($C_{1g} + C_{1n}$) are valoarea apropiată de valoarea staționară a cuplului C_2 și respectiv C_1 după terminarea procesului de comutare.

Valoarea staționară a cuplului C_2 , după terminarea comutării, la un anumit regim de lucru al motorului diesel, s-a stabilit prin alegerea turației corespunzătoare n_2 .

Un exemplu de oscilogramă ridicată la comutarea directă se arată în figura 4-11,e.





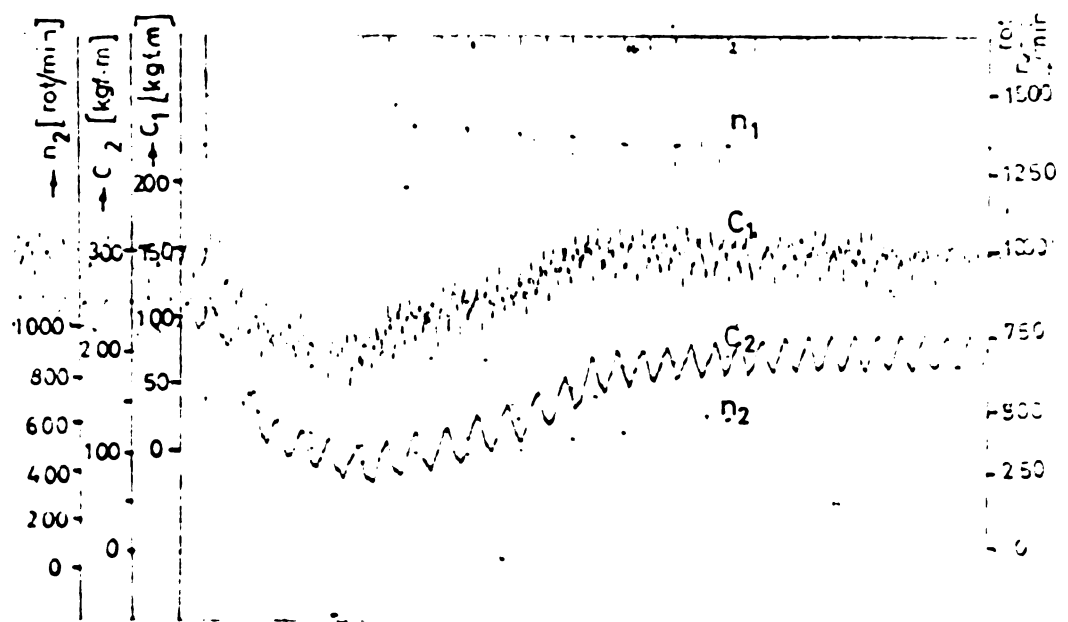
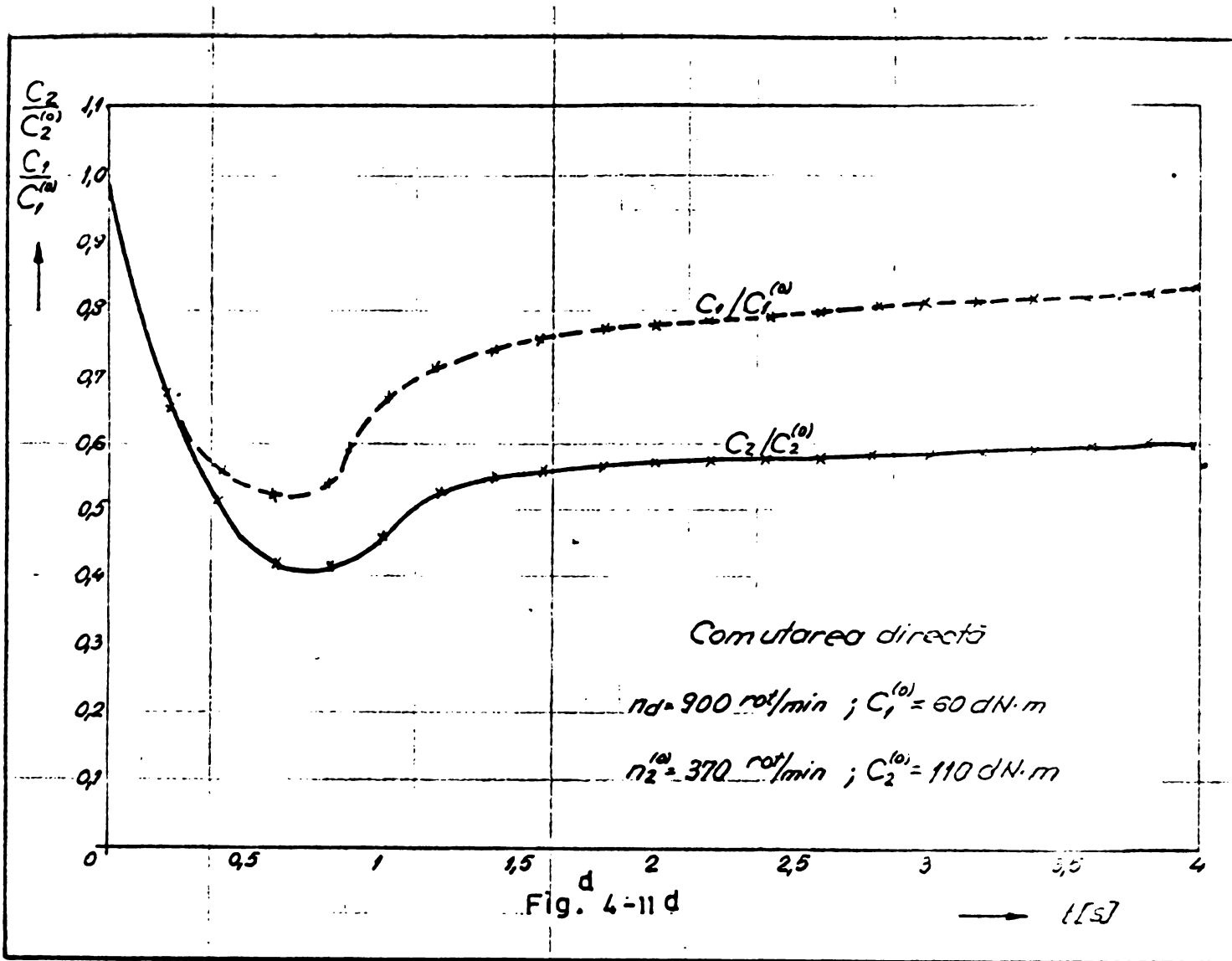


Fig. 4-11

4.1.5. Stabilirea legii de comutare care asigură forță de tracțiune constantă în procesul de comutare.

Ecuațiile de mișcare ale sistemului motor diesel - transmisie hidraulică - tren, reducând întregul sistem la un sistem echivalent cu două mase (fig.4-12), sînt :

$$\begin{aligned} I_1 \frac{d\omega_1}{dt} + C_1 &= C_d \\ I_2 \frac{d\omega_2}{dt} + C_r &= C_2 \end{aligned} \quad (4.6)$$

în care:

- I_1 este momentul de inerție al pompei și al roților dințate de la amplificatorul de turație redus la arborele de intrare în transmisie;
- I_2 - momentul de inerție al turbinei și al maselor în mișcare legate de arborele turbinei, redus la arborele de ieșire din transmisia hidraulică;
- C_r - cuplul rezistent, redus la arborele de ieșire din transmisia hidraulică.

La comutarea directă a treptelor de viteze cuplul la arborele de ieșire este dat de relația (4.2), astfel că ecuația a doua a sistemului (4.6), în acest caz se poate scrie sub formă:

$$I_2 \frac{d\omega_2}{dt} + C_r = C_{2gI} + C_{2uII} \quad (4.7)$$

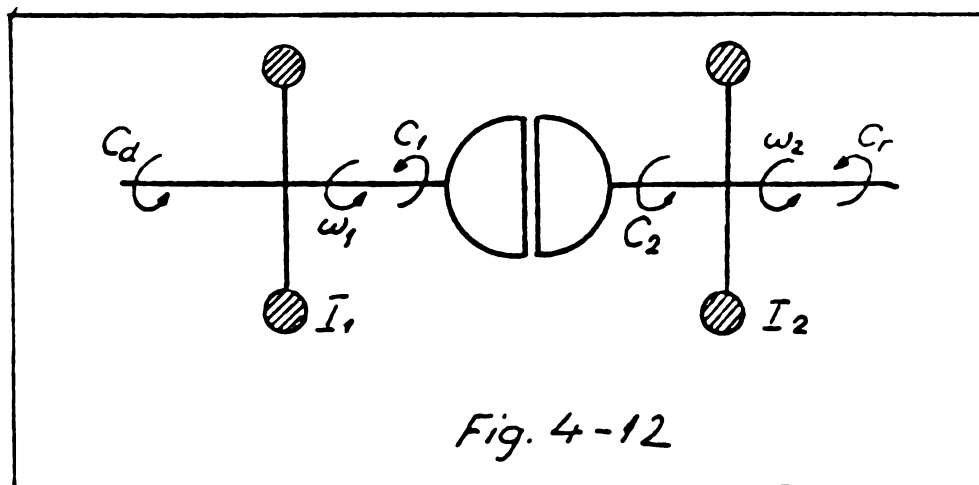


Fig. 4-12

Cuplul transformatorului care se umple (C_{2uII}) depinde de gradul relativ q de umplere cu ulei a profilului circuitului

și de viteza unghiulară a rotorului pompei și a rotorului turbinii, adică:

$$C_{2uII} = f(q, \omega_1, \omega_2)$$

Considerînd că la trecerea de pe un transformator pe următorul, viteza trenului se modifică neînsemnat, în momentul comutării viteza unghiulară ω_2 se poate lua constantă $\omega_2 = \omega_{2d} = \text{const.}$ Această condiție, în anumite regimuri de mișcare a locomotivei, este pe deplin satisfăcută, datorită inerției mari a trenului.

Viteza de umplere și golire a celor două transformatoare depinde de timpul de deplasare a sertarului sistemului de comandă (care reglează curgerea lichidului din profilul circuitului transformatorului I și trecerea lichidului în profilul circuitului transformatorului II) și de debitul pompei de alimentare.

Un proces de comutare ideal se obține atunci cînd forța de tracțiune rămîne constantă în timpul comutării, ca urmare a suprapunerii raționale a procesului de umplere și golire a celor două transformatoare, deci atunci cînd:

$$C_2 = C_{2gI} + C_{2uII} = \text{const.} \quad (4.6)$$

În acest caz trebuie ca:

$$C_d = C_1 = C_{1gI} + C_{1uII} = \frac{C_{2gI}}{K_I} + \frac{C_{2uII}}{K_{II}}$$

Din sistemul de ecuații (4.6) rezultă, că aceste condiții se îndeplinesc numai dacă :

$$\omega_1 = \text{const.} \quad (4.9)$$

În acest caz pentru un anumit regim de funcționare a motorului diesel :

$$C_{2uII} = f(q)$$

Gradul de umplere relativ q depinde de deplasarea x a sertarului, care reglează curgerea lichidului de lucru din profilul circuitului transformatorului I și trecerea lui în profilul circuitului transformatorului II de la pompa de alimentare a transmisiei hidraulice [12] :

$$q = 1 - e^{-\frac{x}{x_0}} \quad (4.10)$$

în care x_0 - constantă care depinde de parametrii constructivi ai sertarului.

Deoarece viteza locomotivei, în timpul procesului de comutare, s-a presupus constantă sau în orice caz se modifică puțin luând valori în vecinătatea vitezei de comutare V_k , turația n_{2k} se menține și ea aproximativ constantă. La această turație, cuplul C_{2u} a transformatorului care se umple, devine zero la un grad de umplere relativ q_k ($0 < q_k < 1$) (fig.4-13,a).

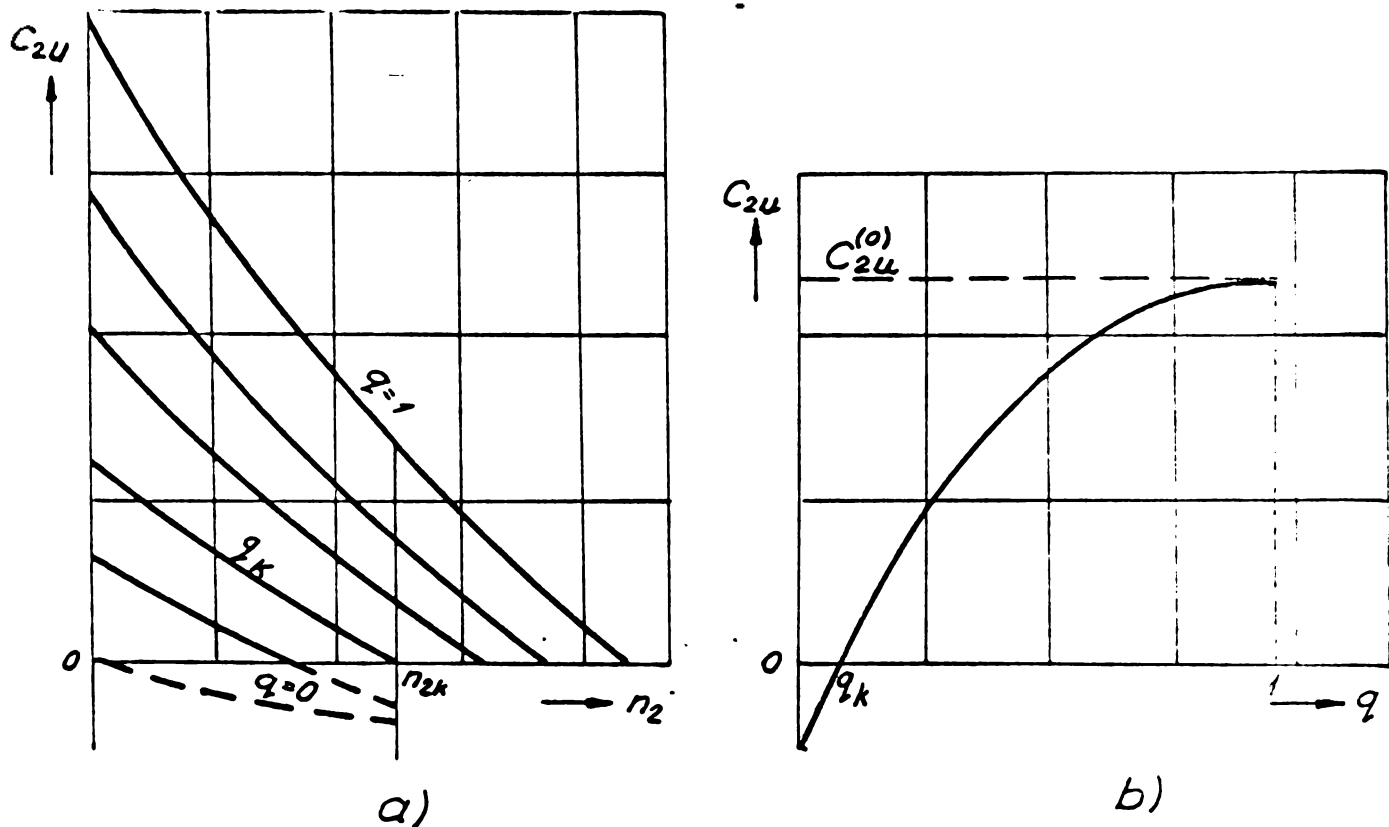


Fig. 4-13

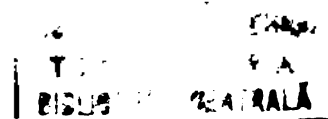
Pentru valori ale gradului relativ de umplere $q \in [0, q_k)$, cuplul C_{2u} a transformatorului care se umple la turația n_{2k} devine negativ. Acest cuplu, se poate exprima, cu suficientă precizie, pentru scopul urmărit, prin ecuația :

$$C_{2ur} = -(C_{2ur}^{(0)} - b q) \quad (4.11)$$

în care $C_{2ur}^{(0)}$ reprezintă valoarea cuplului C_{ur} la $q = 0$ și $n_2 = n_{2k}$.

La $q = q_k$ cuplul $C_{2ur} = 0$ și $b = \frac{C_{2ur}^{(0)}}{q_k}$.

Înlocuind relațiile (4.5), (4.10) și (4.11) în ecuațiile



(4.6) și luând în considerare condiția (4.9), rezultă :

$$C_d - \frac{C_{2gI}^{(o)}}{K_I} e^{-a_1 t^2 + a_2 t} + \frac{C_{2ur}^{(o)}}{K_{II}} - \frac{b}{K_{II}} \left(1 - e^{-\frac{x}{x_0}}\right) = 0$$

Din această ecuație rezultă că la $q \in [0, q_k)$, pentru îndeplinirea condiției $n_1 = \text{const}$, sertarul care asigură golirea și umplerea transformatoarelor trebuie să se deplaseze după legea:

$$x = -x_0 \ln \left[1 - \frac{C_{2ur}^{(o)}}{b} + \frac{K_{II}}{b} \left(\frac{C_{2gI}^{(o)}}{K_I} e^{-a_1 t^2 + a_2 t} - C_d \right) \right] \quad (4.12)$$

La $q \in [q_k, 1]$ cuplul C_{2u} se modifică în funcție de gradul de umplere q , cum rezultă din analiza datelor experimentale, după o lege apropiată de o funcție exponențială [18] :

$$C_{2uII} = C_{2uII}^{(o)} \left(1 - e^{-\frac{q_k - q}{c}} \right) \quad (4.13)$$

unde c este o constantă care se determină din caracteristicile experimentale.

Inlocuind relațiile (4.5) și (4.13) în ecuațiile (4.6) și luând în considerare condiția (4.9) se obține:

$$C_d - \frac{C_{2gI}^{(o)}}{K_I} e^{-a_1 t^2 + a_2 t} - \frac{C_{2uII}^{(o)}}{K_{II}} \left(1 - e^{-\frac{q_k - q}{c}} \right) = 0$$

de unde:

$$q = q_k - c \ln \left[\frac{K_{II}}{C_{2uII}^{(o)}} \left(\frac{C_{2gI}^{(o)}}{K_I} e^{-a_1 t^2 + a_2 t} - C_d \right) + 1 \right] \quad (4.14)$$

Eliminând pe q din relațiile (4.10) și (4.14) rezultă legea de deplasare a sertarului de comandă pentru $q \in [q_k, 1]$ și $n_1 = \text{const}$:

$$x = -x_0 \ln \left\{ 1 - q_k + c \ln \left[\frac{K_{II}}{C_{2uII}^{(o)}} \left(\frac{C_{2gI}^{(o)}}{K_I} e^{-a_1 t^2 + a_2 t} - C_d \right) + 1 \right] \right\} \quad (4.15)$$

Constantele a_1, a_2, c și x_0 depind numai de parametrii constructivi ai transmisiei hidraulice și ai sistemului de comandă a comutării.

Parametrii K_I și K_{II} au valori constante la $n_{2k} = \text{const.}$ și la un anumit regim de funcționare a motorului diesel.

Cuplul la ieșirea din transmisia hidraulică C_{2u} în timpul umplerii cu ulei a transformatorului depinde, așa cum rezultă din caracteristicile ridicate experimental (fig.4-6 și 4-7), de turațiile n_1 și n_2 . De asemenea cuplul motorului diesel C_d , cuplul rezistent C_{2ur} și q_k depind de aceste turații, care se modifică și ele la schimbarea regimului de funcționare a motorului diesel. De aceea, pentru satisfacerea condiției (4.9) la fiecare regim de funcționare a motorului diesel, trebuie ca deplasarea x a sertarului de comandă să se modifice în timpul procesului de comutare după diferite legi date de ecuațiile (4.12) și (4.15). Deci, pentru realizarea unui proces de comutare în care forța de tracțiune să rămână constantă, trebuie ca fiecărui regim de funcționare a motorului diesel să-i corespundă o anumită lege de deplasare a sertarului de comandă. Realizarea practică a acestei condiții este foarte dificilă; sistemul de comandă necesar ar fi prea complicat.

Chiar și la un singur regim de funcționare a motorului satisfacerea condiției (4.9) este dificilă deoarece pentru valori ale gradului relativ de umplere $q \in [0, q_k]$ sertarul trebuie să se deplaseze cupă legea dată de ecuația (4.12) iar pentru $q \in [q_k, 1]$ după legea dată de ecuația (4.15).

Deplasarea sertarului după legile (4.12) și (4.15) reprezintă numai o condiție necesară dar nu și suficientă pentru realizarea unei comutări fără variația forței de tracțiune, deoarece mai trebuie îndeplinită și condiția (3.1). În schimb dacă schimbarea treptelor de viteze nu se face la parametrii rezultați din condiția (3.1) ci la parametrii rezultați din condiția (3.33), atunci, așa cum a rezultat în cap.3, menținerea unei forțe de tracțiune constante la comutare este practic imposibilă. De aceea, în cele ce urmează se va lua în considerare căderea forței de tracțiune care apare ca urmare a procesului de umplere și golire și se va cerceta influența ei asupra vitezei de mers și asupra caracteristicilor de comutare.

4.2. Variația vitezei de mers în procesul de comutare.

4.2.1. Determinarea căderii de viteză în funcție de regimul de circulație.

În paragraful 2.2.4 s-a arătat că în anumite condiții

de mișcare a locomotivei și pentru diferite valori ale parametrilor transmisiei și sistemului de comandă a transmisiei există pericolul apariției unui regim instabil de funcționare care se manifestă prin imposibilitatea trecerii pe treapta superioară de viteze.

Condițiile de mișcare ale locomotivei sînt determinate, pentru anumite valori ale parametrilor circuitului de forță, de acțiunile externe, adică de regimurile de funcționare a motorului diesel și de rezistențele de mers a trenului.

Factorii care influențează domeniul de stabilitate sînt, așa dar, dați atît de acțiunile externe cît și de parametrii transmisiei și ai sistemului de comandă a comutării treptelor de viteze și anume:

- 1). Din partea motorului diesel:
 - regimul de funcționare.
- 2). Din partea trenului și a căii:
 - tonajul trenului $G_L + G_V = G_t$;
 - rezistența specifică de mers a locomotivei r_L ;
 - rezistența specifică de mers a vagoanelor r_V ;
 - rezistența i a declivității.
- 3). Din partea transmisiei:
 - tipul transmisiei (transmisie hidraulică cu trepte mecanice de viteze, cu trepte hidraulice, formate numai din transformatoare sau cu trepte hidraulice formate din transformatoare și cuplaje hidraulice);
 - timpul de umplere și de golire a transmisiei t_k .
- 4). Din partea sistemului de comandă a comutării:
 - structura internă a sistemului, concretizată în cazul de față, prin căderea forței de tracțiune în timpul procesului de comutare. Căderea relativă a forței de tracțiune în timpul procesului de comutare se notează cu $\Delta F_{ok} = F_{ok}/F_{oI}$.

Anumite combinații ale valorilor acestor parametrii determină condițiile de mișcare care pot duce, în timpul comutării pe treapta superioară de viteze, la o cădere ΔV_k a vitezei de mers:

$$V_k = f(r_t, i, t_k, \Delta F_{ok}) \quad (4.16)$$

Această relație rezultă din ecuația de mișcare a trenului pe profilul de cale respectiv :

$$\frac{dV}{dt} = [f_{ok} - (r_t + i)]\varphi \quad (4.17)$$

unde φ este un coeficient care ține seama de inerția maselor în mișcare ale trenului și de unitățile de măsură [68].

Forța specifică de tracțiune la comutare f_{ok} este:

$$f_{ok} = \frac{F_{ok}}{G_L + G_V} = \Delta F_{ok} \frac{F_{oI}}{G_L + G_V} \quad (4.18)$$

Rezistența specifică r_t la circulația trenului în aliniament și palier este:

$$r_t = \frac{R_t}{G_L + G_V} = \frac{r_L G_L + r_V G_V}{G_L + G_V} \quad (4.19)$$

Rezistența specifică la mers în aliniament și palier a locomotivelor CFR diesel hidraulice este dată de relația [7], [35], [39]:

$$r_L = a_1 + a_2 \left(\frac{V + a_3}{10} \right)^2 \quad [\text{kgf/t}]$$

în care:

$a_1 = 3,5$; $a_2 = 0,107$ și $a_3 = 12$ pentru locomotiva CFR 0-0 DHA

$a_1 = 3$; $a_2 = 0,15$ și $a_3 = 12$ pentru locomotiva CFR 0-0 DHB

$a_1 = 3,7$; $a_2 = 0,12$ și $a_3 = 0$ pentru locomotiva CFR 0-0 DHC

Rezistența specifică la mers în aliniament și palier a vagoanelor din parcul CFR este dată de relația [7], [36]:

$$r_V = 2 + \frac{v^2}{c} \quad [\text{kgf/t}]$$

în care c este un coeficient determinat experimental, a cărui valoare depinde de tipul vagoanelor care compun trenul.

În aceste relații V reprezintă viteza de mers a trenului, în km/h.

În perioada de comutare, variația vitezei de mișcare este relativ mică și ca atare, pe intervalul de viteze (V_0, V_1)

din vecinătatea vitezei de comutare, rezistențele specifice r_v și r_L pot fi considerate cu suficientă exactitate ca funcții liniare de viteza de mers. Ca urmare a spațiului mic parcurs în timpul de comutare, se consideră declivitatea $i = \text{const.}$

Cu aceste precizări, rezistențele specifice a vagoanelor și a locomotivei, se pot exprima printr-o funcție liniară de forma:

$$r_v = a_v + b_v V \quad \text{pentru } V \in [V_1, V_2] \quad (4.20)$$

și

$$r_L = a_L + b_L V \quad \text{pentru } V \in [V_1, V_2] \quad (4.21)$$

în care:

$$a_v = 2 - \frac{V_1 V_2}{c} \quad \text{și} \quad b_v = \frac{V_1 + V_2}{c}$$

$$a_L = a_1 - \frac{a_2}{100} (V_1 V_2 - a_3^2) \quad \text{și}$$

$$b_L = \frac{a_2}{100} (V_1 + V_2 + 2 a_3)$$

Cu relațiile (4.20) și (4.21), rezistența specifică r_t dată de relația (4.19) devine:

$$r_t = \frac{a_v G_v + a_L G_L}{G_v + G_L} + \frac{b_v G_v + b_L G_L}{G_v + G_L} V \quad (4.22)$$

Luând în considerare relațiile (4.18) și (4.22), ecuația (4.17) devine :

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\varphi}{G_v + G_L} \left[\Delta F_{oI} \cdot F_{oI} - (a_v G_v + a_L G_L) - (b_v G_v + b_L G_L) V - i \varphi \right] \quad (4.23)$$

După integrare, luând în considerare condițiile limită :

$$V = V_d ; \quad t = 0$$

$$V = V_1 ; \quad t = t_k$$

rezultă :

$$V_i = V_d e^{-\frac{b_v G_v + b_L G_L}{G_v + G_L} \varphi t_k} + \left[1 - e^{-\frac{b_v G_v + b_L G_L}{G_v + G_L} \varphi t_k} \right] \left[\frac{F_{OI} \cdot \Delta F_{Ok}}{b_v G_v + b_L G_L} - \frac{a_v G_v + a_L G_L + i(G_v + G_L)}{b_v G_v + b_L G_L} \right] \quad (4.24)$$

Notînd căderea de viteză care poate să apară în timpul comutării cu $\Delta V_k = V_d - V_i$, din relația (4.24) rezultă:

$$\Delta V_k = \left[1 - e^{-\frac{b_v G_v + b_L G_L}{G_v + G_L} \varphi t_k} \right] \left[V_d - \frac{F_{OI} \cdot \Delta F_{Ok}}{b_v G_v + b_L G_L} + \frac{a_v G_v + a_L G_L + i(G_v + G_L)}{b_v G_v + b_L G_L} \right] \quad (4.25)$$

sau:

$$\Delta V_k = f_1(t_k, G_v) \cdot f_2(\Delta F_{Ok}, G_v, i)$$

în care:

$$f_1(t_k, G_v) = 1 - e^{-\frac{b_v G_v + b_L G_L}{G_v + G_L} \varphi t_k}$$

$$f_2(\Delta F_{Ok}, G_v, i) = V_d - \frac{F_{OI} \cdot \Delta F_{Ok} - (a_v G_v + a_L G_L)}{b_v G_v + b_L G_L} + \frac{G_v + G_L}{b_v G_v + b_L G_L} \quad (4.26)$$

4.2.2. Determinarea căderii de viteză în funcție de parametrii sistemului automat de comutare.

Determinarea precisă a condițiilor de stabilitate a procesului de comutare se poate face analitic luînd în considerare ecuațiile de mișcare ale elementelor sistemului de comandă automată a comutării și schema bloc a lui.

Sistemele de comandă automată a comutării sînt sisteme neliniare datorită rolului lor de a comanda o transmisie hidraulică cu trepte de viteze.

Elementul care introduce neliniaritatea este releul care conectează și deconectează elementul aflat după el. În acest caz, caracteristica de releu va fi asimetrică.

Regimul de autooscilație la comutarea treptelor de viteze apare la diferite valori ale parametrilor sistemului și la anumite acțiuni exterioare. Acțiunea exterioară (perturbația) este rezistența de mers a trenului. Acțiunea de comandă a sistemului este îndreptată, în cele din urmă, asupra variației mărimilor de reglat, ~~funcției~~ viteza de mișcare a trenului, după programul dat de comutare în conformitate cu regimul de funcționare a motorului diesel și cu condițiile variabile de mișcare.

Ecuatia de mișcare a trenului.

Ecuatia de mișcare a trenului este:

$$\frac{dV}{dt} = \varphi \frac{F_0 - R}{G_L + G_V} \quad (4.27)$$

Pentru un tren acțiunea externă (perturbația) o reprezintă forța de tracțiune a locomotivei și rezistența de mers R. Trenul intră în sistemul de comandă ca obiect de reglare, a cărui mărime de ieșire - viteza V - este mărimea de intrare principală în sistem.

Forța de tracțiune la obadă, în cazul locomotivei cu transmisie hidraulică, este :

$$F_0 = \frac{\text{const. } C_0 n_0}{V} = f(C_0, V) \quad (4.28)$$

unde C_0 și n_0 reprezintă cuplul și respectiv turația la obadă.

Utilizînd metoda cunoscută de liniarizare (funcțiile respective fiind strict monotone) ecuația de mișcare a trenului se poate scrie sub forma:

$$(T_V p + 1) \bar{V} = k_V \bar{C}_0 ; \quad (p = \frac{d}{dt}) \quad (4.29)$$

în care:

$$\bar{V} = \frac{\Delta V}{V^{(0)}} ; \quad \bar{C}_0 = \frac{\Delta C_0}{C_0^{(0)}} ; \quad T_V = \frac{G_L + G_V}{\left(\frac{\partial R}{\partial V} - \frac{\partial F_0}{\partial V} \right) \varphi} ;$$

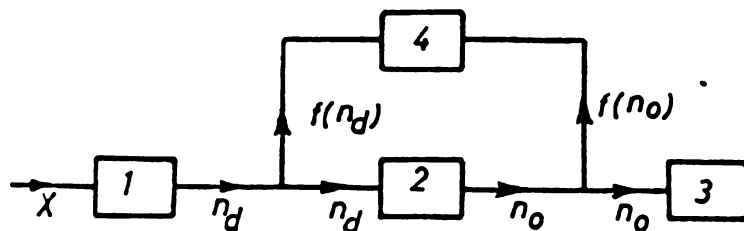
$$k_V = \frac{C_0^{(0)}}{V^{(0)}} \cdot \frac{\frac{\partial F_0}{\partial C_0}}{\frac{\partial R}{\partial V} - \frac{\partial F_0}{\partial V}}$$

Valoarea nominală a mărimilor care se stabilizează după comutare s-a notat cu indicele (0).

Durata de restabilire a unei noi viteze uniforme la variația acțiunii externe asupra trenului se caracterizează prin constanta de timp a trenului T_V .

Ecuția de mișcare a transmisiei hidraulice.

Pentru realizarea caracteristicilor de comutare, adică pentru obținerea programului de comutare stabilit $n_d = f(V)$ sistemul automat de comutare trebuie să fie comandat, așa cum s-a arătat, de două mărimi și anume de turația arborelui motorului diesel n_d și de turația osiei n_o (sau a arborelui de ieșire din transmisia hidraulică $n_2 = \text{const.} \cdot n_o$). Turația motorului diesel se poate transmite fie direct, fie printr-un element intermediar, sub forma unei funcții $f(n_d)$. Schema structurală a sistemului de comutare este dată în figura 4-14.



1-motor diesel; 2-transmisia hidraulică;
3-tren; 4-sistemul automat de comutare.

Fig. 4-14

Transmisia hidraulică reprezintă un agregat complex care preia și transmite un număr mare de acțiuni. Ca element al sistemului de comandă, poate fi descompusă într-un număr de elemente separate legate între ele prin legături.

Schema bloc a unei transmisii, descompusă în elementele sale componente este arătată în figura 4-15, unde s-a reprezentat un singur transformator.

Ca mărime de intrare se consideră deplasarea x a sertarului distribuitorului principal, iar ca mărime de ieșire - viteza de mișcare V a trenului. Se consideră că acțiunea motorului asupra transmisiei și acțiunea exterioară asupra trenului sînt constante în timpul procesului de comutare, adică:

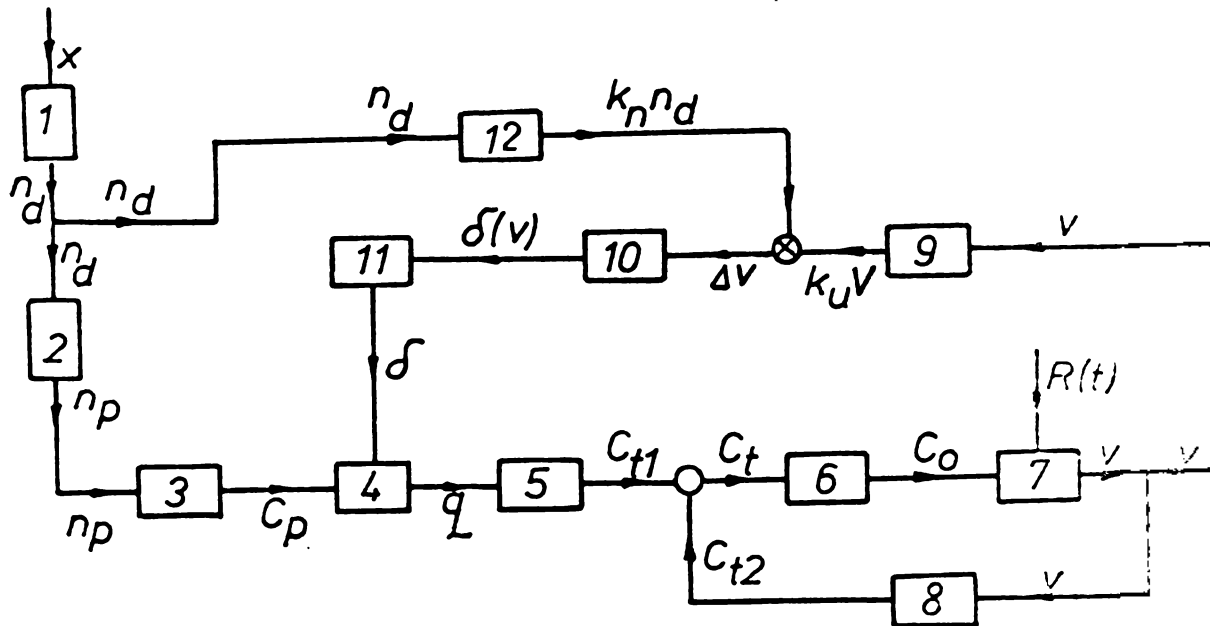


Fig.4-15.

- 1 - motorul diesel; 2 - angrenajul multiplicator;
 3 - rotorul pompei; 4 - profilul circuitului; 5 - rotorul turbinei; 6 - transmisia mecanică (i_m); 7 - trenul;
 8 - legătura inversă; 9 - tahogeneratorul pentru măsurarea vitezi V ; 10 - releul; 11 - supapa electrohidraulică;
 12 - tahogeneratorul pentru măsurarea turației n_d .

$$C_p = \text{const. și } f(t) = R(t) = \text{const.}$$

Profilul circuitului poate fi descris prin ecuația.

$$t_k \frac{d\bar{q}}{dt} = \bar{x} \quad (4.1)$$

în care:

t_k este constanta de timp a transformatorului hidrolic;

$\frac{d\bar{q}}{dt}$ - viteza de variație a umplerii cu lichid a profilului circuitului;

$\bar{x} = \frac{\Delta x}{x_0^{(0)}}$ - deplasarea relativă a pistonului distribuitorului principal.

Dacă se notează $k_p = \frac{1}{t_k}$ atunci ecuația (4.30) se poate scrie:

$$p \bar{q} = k_p \bar{x} \quad (4.31)$$

Constanta t_k caracterizează inerția transformatorului și influențează asupra alegerii parametrilor unor elemente ale sistemului și deci asupra stabilității lui.

Ecuația rotorului turbinei se stabilește în funcție de umplerea relativă \bar{q} și de cuplul relativ la arborele turbinei \bar{C}_{t1} determinat de gradul de umplere \bar{q} :

$$\bar{C}_{t1} = k_{t1} \bar{q} \quad (4.32)$$

Coeficientul k_{t1} se stabilește din caracteristicile experimentale $G_t = C_t(q)$ la $n_t = \text{const.}$

Cuplul la arborele turbinei depinde și de turația n_t . Această dependență se ia în considerare prin introducerea căii de reacție de la tren la arborele turbinei.

Ecuația de mișcare a căii de reacție este:

$$\bar{C}_{t2} = k_{t2} \bar{V} \quad (4.33)$$

unde k_{t2} este coeficient care ia în considerare variația cuplului relativ al turbinei (\bar{C}_{t2}) în raport cu viteza \bar{V} și se determină din caracteristicile $C_t = C_t(n_t)$ la $q = \text{const.}$

Elementul de comparație este arborele turbinei a cărui ecuație este:

$$\bar{C}_t = \bar{C}_{t1} + \bar{C}_{t2} = k_{t1} \bar{q} + k_{t2} \bar{V} \quad (4.34)$$

în care $\bar{C}_t = \frac{\Delta C_t}{C_o^{(0)}}$ - cuplul relativ la arborele turbinei.

Transmisia mecanică plasată de la ieșirea din transmisia hidraulică până la obadă, neglijând pierderile, este descrisă de ecuația:

$$\bar{C}_o = i_m \bar{C}_t \quad (4.35)$$

în care i_m este raportul de transmitere de la arborele transmisiei hidraulice până la obadă.

Din ecuațiile (4.31), (4.34) și (4.35) rezultă ecuația de mișcare a transmisiei hidraulice:

$$(\bar{C}_o - i_m k_{t2} \bar{V})p = i_m k_{t1} k_p \bar{x} \quad (4.36)$$

Cuplul C_0 este însă mărimea de intrare pentru tren. Substituind expresia cuplului C_0 din ecuația (4.35) în ecuația de mișcare a trenului (4.29) rezultă ecuația de mișcare a obiectului reglat:

$$(T_v p + 1 - i_m k_v k_{t2}) p \bar{V} = k_t \bar{x} \quad (4.37)$$

în care:

$$k_t = i_m k_v k_{t1} k_p$$

Ecuația de mișcare a traductorului.

În sistemul de comandă automată a comutării de pe locomotivele diesel-hidraulice cu traductoare se utilizează două tahogeneratoare a căror turație este proporțională cu mărimea reglată (viteza V) respectiv cu turația motorului diesel n_d .

Ecuația de mișcare a traductorului vitezei de mișcare este:

$$\bar{U}_{TG} = k_u \bar{V} \quad (4.38)$$

unde k_u este coeficientul de proporționalitate care depinde de raportul de transmitere dintre turația osiei și a tahogeneratorului și de coeficientul de proporționalitate dintre tensiunea și turația tahogeneratorului.

Ecuația de mișcare a elementului neliniar.

În sistemele de comandă automată a comutării, elementul neliniar este un releu. Mărimea de intrare a releului este tensiunea tahogeneratorului \bar{U}_{TG} , la un regim constant de funcționare a motorului (în cazul variației turației motorului diesel mărimea de intrare este raportul tensiunilor celor două tahogeneratoare). Mărimea de ieșire, adică mărimea de execuție, este tensiunea sursei \bar{U} , care se conectează în circuitul înfășurării supapei electropneumatice. Caracteristica releului este arătată în figura 4-16, a.

Mărimea de intrare \bar{U}_{TG} este proporțională cu viteza \bar{V} , de aceea ca mărime de intrare se poate considera viteza \bar{V} . Deci comutarea de la o treaptă inferioară la una superioară (comutarea directă) are loc la atingerea vitezei \bar{V}_d care corespunde cu mărimea de intrare \bar{U}_{1TG} , iar comutarea inversă are loc în momentul când mărimea de intrare reducându-se, atinge valoarea $k_r \bar{U}_{1TG}$. Aici S_k este coeficientul de revenire al releului $0 < S_k < 1$.

De aceea caracteristica releului se poate reprezenta în funcție de viteza de mișcare \bar{V} (fig.4-16,a).

La variația continuă în timp a mărimii de intrare \bar{V} (fig.4-16,b) mărimea de ieșire $\delta(\bar{V})$ se schimbă în timp în formă de salturi de la 0 la valoarea maximă $k_u S_k$, sau de la $k_u S_k$ pînă la zero la deconectarea releului, adică la comutarea inversă (fig.4-16,c).

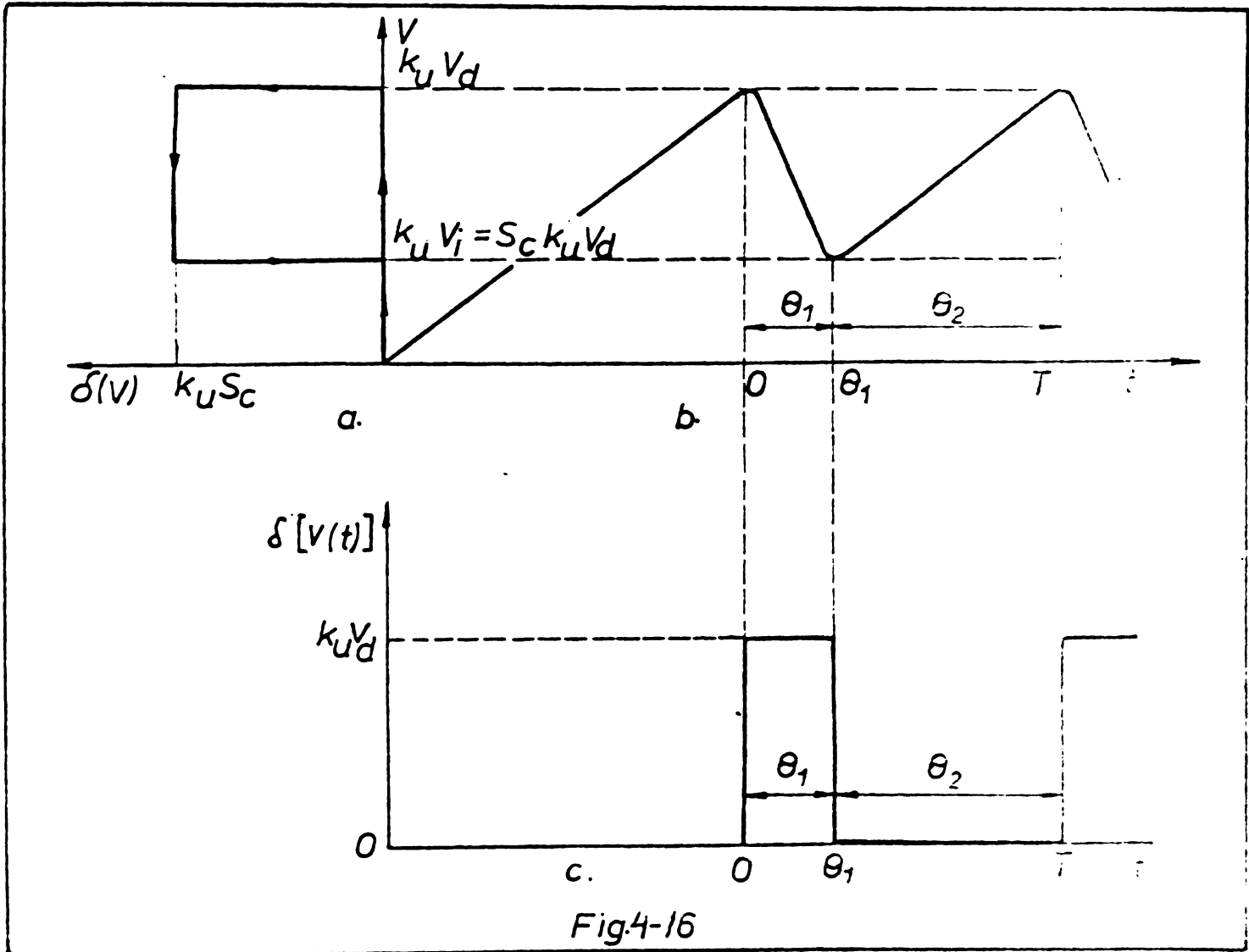


Fig.4-16

La anumite corelații între acțiunile externe din partea căii și a motorului diesel, precum și la unele valori ale lui S_k , în sistem apare un regim de autooscilație care împiedică conectarea treptei superioare de viteze pînă cînd nu se înalță corelația între acțiunile externe.

Acest regim de autooscilație este determinat, de o anumită dependență între coeficienții ecuației sistemului și coeficientul de comutare, dependență care se determină în continuare urmează:

Se consideră ca origine a timpului $t = 0$, momentul în care începe comutarea directă, adică momentul când mărimea de intrare $\bar{V} = \bar{V}_d$.

Regimul de autooscilație se studiază pe o perioadă $T = \theta_1 + \theta_2$ (fig.4-16,c).

Ecuatia elementului neliniar $\delta[V(t)]$ poate fi scrisă sub forma :

$$\delta(\bar{V}) = \left\{ \begin{array}{l} k_u S_k ; \quad \frac{d\bar{V}}{dt} < 0 ; \quad t \in (0, \theta_1) \\ 0 ; \quad \frac{d\bar{V}}{dt} > 0 ; \quad t \in (\theta_1, T) \end{array} \right\} \quad (4.38)$$

Cunoscînd elementele de amplificarea montate după releu, ca elemente fără inerție, se poate considera că mișcarea acestor elemente este determinată de caracterul mișcării releului, adică sertarul distribuitorului repetă mișcările releului fără întîzire în timp. În felul acesta mișcarea sistemului de comandă automată a comutării este descris în întregime de ecuația părții liniare (4.37) și a elementului neliniar (4.39).

În intervalul $t \in (0, \theta_1)$ ecuația de mișcare a sistemului este:

$$T_v \frac{d^2\bar{V}}{dt^2} + (1 - i_m k_v k_{t2}) \frac{d\bar{V}}{dt} = k_t k_u S_k \quad (4.40)$$

Dacă se notează:

$$\frac{1 - i_m k_v k_{t2}}{T_v} = \alpha ,$$

$$\frac{k_t k_u S_k}{T_v} = \beta$$

soluția ecuației (4.40) este :

$$\bar{V}_1 = C_1 + C_2 e^{-\alpha t} + \frac{\beta}{\alpha} \cdot t$$

Din condițiile limită $\bar{V}(0) = k_u \cdot \bar{V}_d$ și $\bar{V}(\theta_1) = k_u \cdot \bar{V}_d$ rezultă :

$$C_1 = \frac{k_u \bar{V}_d (S_k - e^{-\alpha \theta_1}) - \frac{\beta}{\alpha} \theta_1}{1 - e^{-\alpha \theta_1}}$$

$$C_2 = \frac{k_u \bar{v}_d (1 - S_k) + \frac{\beta}{\alpha} \theta_1}{1 - e^{-\alpha \theta_1}}$$

Soluția ecuației în intervalul $t \in (0, \theta_1)$ este :

$$\bar{v}_1 = \frac{k_u \bar{v}_d (S_k - e^{-\alpha \theta_1}) - \frac{\beta}{\alpha} \theta_1}{1 - e^{-\alpha \theta_1}} + \frac{k_u \bar{v}_d (1 - S_k) + \frac{\beta}{\alpha} \theta_1}{1 - e^{-\alpha \theta_1}} \cdot e^{-\alpha t} + \frac{\beta}{\alpha} \cdot t \quad (4.41)$$

În intervalul $t \in (\theta_1, T)$, ecuația de mișcare a sistemului este:

$$\frac{d^2 \bar{v}}{dt^2} + \alpha \frac{d\bar{v}}{dt} = 0$$

a cărei soluție este:

$$\bar{v}_2 = C_1' + C_2' \cdot e^{-\alpha t}$$

Constantele C_1' și C_2' se determină din condițiile limită :

$$\bar{v}(\theta_1) = k_u S_k \bar{v}_d \text{ și } \bar{v}(T) = k_u \bar{v}_d$$

$$C_1' = \frac{k_u \bar{v}_d (S_k e^{-\alpha T} - e^{-\alpha \theta_1})}{e^{-\alpha T} - e^{-\alpha \theta_1}}$$

$$C_2' = \frac{k_u \bar{v}_d (1 - S_k)}{e^{-\alpha T} - e^{-\alpha \theta_1}}$$

Cu aceste valori soluția ecuației este:

$$\bar{v}_2 = \frac{k_u \bar{v}_d (S_k e^{-\alpha T} - e^{-\alpha \theta_1})}{e^{-\alpha T} - e^{-\alpha \theta_1}} + \frac{k_u \bar{v}_d (1 - S_k)}{e^{-\alpha T} - e^{-\alpha \theta_1}} \cdot e^{-\alpha t}$$

Mărimile θ_1 și θ_2 se pot determina din salturile forței de tracțiune la comutarea directă și inversă. Schimbarea în salturi a forței de tracțiune determină în salturi o accelerație $d\bar{v}/dt$. Astfel în momentul comutării directe și inverse avem:

$$\left. \begin{aligned} \lim_{\substack{t \rightarrow 0 \\ t > 0}} \frac{d\bar{v}_1}{dt} - \lim_{\substack{t \rightarrow T \\ t < T}} \frac{d\bar{v}_2}{dt} &= \mu_1 \\ \lim_{\substack{t \rightarrow \theta_1 \\ t < \theta_1}} \frac{d\bar{v}_1}{dt} - \lim_{\substack{t \rightarrow \theta_1 \\ t > \theta_1}} \frac{d\bar{v}_2}{dt} &= \mu_2 \end{aligned} \right\} (4.42)$$

în care:

- μ_1 este saltul accelerației proporțional cu saltul forței de tracțiune la comutarea directă,
- μ_2 - saltul accelerației proporțional cu saltul forței de tracțiune la comutarea inversă.

Mărimile μ_1 și μ_2 se pot determina prin înregistrarea forței de tracțiune și a vitezei la încercarea locomotivei. Dacă nu se dispune de aceste încercări accelerația trenului poate fi determinată după valoarea minimă a forței de tracțiune la comutare, care trebuie să fie indicată în condițiile tehnice de proiectare a locomotivei.

Substituind expresiile derivatelor $d\bar{v}_1/dt$ și $d\bar{v}_2/dt$ în relațiile (4.42) rezultă :

$$\frac{\beta}{\alpha} - \frac{\alpha k_u \bar{v}_d (1 - S_k) + \beta \theta_1}{1 - e^{-\alpha \theta_1}} + \frac{\alpha k_u \bar{v}_d (1 - S_k) e^{-\alpha T}}{e^{-\alpha T} - e^{-\alpha \theta_1}} = \mu_1$$

și

$$\frac{\beta}{\alpha} - \frac{\alpha k_u \bar{v}_d (1 - S_k) + \beta \theta_1}{1 - e^{-\alpha \theta_1}} e^{-\alpha \theta_1} + \frac{\alpha k_u \bar{v}_d (1 - S_k) e^{-\alpha T}}{e^{-\alpha T} - e^{-\alpha \theta_1}} e^{-\alpha \theta_1} = \mu_2$$

Din aceste relații rezultă :

$$\theta_1 = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\beta}$$

$$\theta_2 = \frac{1}{\alpha} \ln \left[1 + \frac{\alpha k_u \bar{v}_d (1 - S_k)}{\frac{\beta}{\alpha} - \mu_1 - \frac{\alpha k_u \bar{v}_d (1 - S_k) + \beta \theta_1}{1 - e^{-\alpha \theta_1}}} \right]$$

Regimul de autooscilații apare numai la acele valori ale parametrilor la care θ_1 și θ_2 sînt pozitivi, adică :

$$\frac{\mu_2 - \mu_1}{\beta} > 0$$

$$1 + \frac{\alpha k_u \bar{v}_d (1 - S_k)}{\frac{\beta}{\alpha} - \mu_1 - \frac{\alpha k_u \bar{v}_d (1 - S_k) + \beta \theta_1}{1 - e^{-\alpha \theta_1}}} > 1$$

Din ultima inecuație rezultă:

$$1 > S_k > 1 - \frac{\frac{\beta}{\alpha} - \mu_2 + (\frac{\beta}{\alpha} - \mu_1) \cdot e^{-\alpha \theta_1}}{\alpha k_u \bar{v}_d} \quad (4.44)$$

Valorile lui S_k determinate din inegalitățile (4.44) dau un regim de funcționare instabil. Evident că zona de lucru stabilă este:

$$0 < S_k < 1 - \frac{\frac{\beta}{\alpha} - \mu_2 + (\frac{\beta}{\alpha} - \mu_1) \cdot e^{-\alpha \theta_1}}{\alpha k_u \bar{v}_d} \quad (4.45)$$

Deoarece $S_k = 1 - \frac{\Delta \bar{v}_k}{\bar{v}_d}$, valorile căderii de viteză pentru care regimul de funcționare este stabil, sînt:

$$\bar{v}_d > \Delta \bar{v}_k > \frac{\frac{\beta}{\alpha} - \mu_2 + (\frac{\beta}{\alpha} - \mu_1) \cdot e^{-\alpha \theta_1}}{\alpha k_u} \quad (4.46)$$

Valoarea căderii de viteză determinată din condițiile de remorcare cu relația (4.25) trebuie să aparțină domeniului dat de inecuațiile (4.46). În acest caz sistemul funcționează stabil.

4.2.3. Determinarea caracteristicii de comutare inversă.

Pentru ca regimul de comutare să fie stabil trebuie, așa cum s-a arătat în paragraful 2.2.4, ca viteza locomotivei în timpul comutării să nu se micșoreze sub viteza de comutare inversă v_1 . Prin urmare, viteza de comutare inversă trebuie determinată din condiția asigurării unei funcționări stabile a locomotivei în timpul comutării. adică din condiția:

$$v_1 \leq v_d - \Delta v_{kmax} \quad (4.47)$$

unde ΔV_{kmax} este căderea de viteză maximă care apare în timpul comutării directe pentru un nucleu de tonaj cu care poate atinge viteza de comutare directă pe rampa maximă a secției de remorcare.

Notînd acest tonaj cu G_{vmax} , rampa maximă a secției de remorcare cu i_{max} și cunoscînd timpul de comutare t_k (egal cu timpul de golire și umplere a transmisiei hidraulice), din relația (4.25) se determină căderea de viteză ΔV_{kmax} :

$$\Delta V_{kmax} = \left[1 - e^{-\frac{b_v G_{vmax} + b_L G_L}{G_{vmax} + G_L} \varphi t_k} \right] \left[V_d - \frac{F_{od} \cdot \Delta F_{ok}}{b_v G_{vmax} + b_L G_L} + \frac{b_v G_{vmax} + b_L G_L + i_{max}(G_{vmax} + G_L)}{b_v G_v + b_L G_L} \right] \quad (4.48)$$

Deoarece pentru $G_v < G_{vmax}$, căderea de viteză ^{care} apare pe rampa maximă i_{max} este $\Delta V_k < \Delta V_{kmax}$, viteza de comutare inversă V_i , care asigură o comutare stabilă, se poate lua egală cu viteza maximă care satisface inecuația (4.47), adică:

$$V_i = V_d - \Delta V_{kmax} \quad (4.49)$$

sau luînd în considerare relația (4.48) rezultă :

$$V_i = V_d - f_1(t_k, G_{vmax}) \cdot f_2(\Delta F_{ok}, i_{max}, G_{vmax}) \quad (4.50)$$

cu

$$f_1(t_k, G_{vmax}) = 1 - e^{-\frac{b_v G_{vmax} + b_L G_L}{G_{vmax} + G_L} \varphi t_k}$$

$$f_2(\Delta F_{ok}, i_{max}, G_{vmax}) = V_d -$$

$$\frac{F_{oI} \cdot \Delta F_{ok} - (a_v G_{vmax} + a_L G_L) - i_{max}(G_{vmax} + G_L)}{b_v G_{vmax} + b_L G_L}$$

Inlocuind această valoare a vitezei în una din ecuațiile (2.25)...(2.28) în funcție de tipul transformatorului de pe treapta a doua de viteze și de caracteristica lui de transparență, se obține turația motorului diesel în cazul funcționării lui la sarcina nominală.

La sarcini parțiale ale motorului diesel, turația lui corespunzătoare vitezei V_i se determină din una din relațiile

(2.29)...(2.34) și anume din relația a cărei condiții de valabilitate satisfac tipul și caracteristica de transparență a transformatorului de pe treapta a doua de viteze.

Valorile vitezei V_d și valoarea forței de tracțiune F_{OI} din relația (4.50), la diferite sarcini ale motorului diesel, se cunosc din caracteristica de comutare directă stabilită în cap.3.

Se obține în felul acesta programul de comutare $(n_d/n_{dn})_i = f(V/V_x)$ sau $(n_d/n_{dn})_i = f(n_2/n_{2n})$ la comutarea inversă.

Caracteristica de comutare corespunzătoare acestui program de comutare este dată de relația (3.36) scrisă pentru acest caz, în care valorile turației n_d/n_{dn} și ale vitezei V/V_x sînt date de programul de comutare $(V/V_x)_i = f(n_{di}/n_{dn})$, iar raportul $\delta\lambda_{pII}/\delta\lambda_{pn}$ se determină din relația (2.14) sau (2.15) în funcție de transparența transformatorului de pe treapta a doua de viteze:

$$\left(\frac{F_o}{F_{oi i}}\right) = 2\left(\frac{n_{di}}{n_{dn II}}\right) - k_{2II}\left(\frac{V}{V_x}\right)_i k_{1II}\left(\frac{n_{di}}{n_{dn II}}\right) \cdot \frac{\delta\lambda_{pII}}{\delta\lambda_{pn}} \quad (4.51)$$

în care:

$$k_{1II} = \eta_{thoII}\left(\frac{n_{do}}{n_{dn II}}\right) \cdot \left(\frac{V_x}{V_{oII}}\right)$$

$$\frac{\delta\lambda_{pII}}{\delta\lambda_{pn}} = (1 - T_{sII}) \frac{\left(\frac{V}{V_x}\right)_i}{\left(\frac{V_n}{V_x}\right)_{II} \left(\frac{n_{di}}{n_{dn II}}\right)} + T_s$$

pentru transformatoare cu transparență liniară, sau

$$\frac{\delta\lambda_{pII}}{\delta\lambda_{pn}} = b_1 \frac{\left(\frac{V}{V_x}\right)^2}{\left(\frac{V_n}{V_x}\right)_{II}^2 \left(\frac{n_{di}}{n_{dn II}}\right)^2} + b_2 \frac{\left(\frac{V}{V_x}\right)_i}{\left(\frac{V_n}{V_x}\right)_{II} \left(\frac{n_{di}}{n_{dn II}}\right)} + T_s$$

pentru transformatoare cu transparență parabolică.

4.3. Funcționarea în comun a grupului motor diesel - transmisie hidraulică - tren la comutarea inversă a treptelor de viteze pentru locomotiva diesel-hidraulică de 350 CP.

În cele ce urmează se determină caracteristica de comutare și programul de comutare în cazul trecerii de pe o treaptă superioară de viteze pe treapta inferioară, la funcționarea în comun a motorului diesel M 583 cu transmisia hidraulică TH1, care echipează locomotiva de 350 CP, și tren. Se consideră că locomotiva remorcă un tren cu tonajul G_{vmax} pe rampa maximă i_{max} a secției de remorcare pentru care, așa cum se vede din relația (4.48), apare o cădere maximă de viteză la comutarea directă.

Dacă se consideră o secție de remorcare a cărei rampă maximă este $i_{max} = 15\%$, căderea maximă de viteză în timpul comutării are loc pentru tonajul G_{vmax} cu care se poate atinge o viteză maximă egală cu viteza de comutare directă:

$$G_{vmax} = \frac{F_{od} - i_{max} G_L - r_L G_L}{r_v + i} \quad (4.52)$$

Pentru sarcina nominală a motorului din diagrama din figura 3-3 și tabela 3-5 rezultă $V_d = 18,55$ km/h și $F_{od} = 3378$ daN, iar din relațiile (4.20) și (4.21) se determină pentru $V = V_d$ rezistențele specifice r_v și r_L pentru un tren de marfă compus amestecat din vagoane goale și încărcate ($c = 1600$) [31], [36].

Cu aceste date, din relația (4.52) rezultă :

$$G_{vmax} = 165 \text{ t.}$$

Căderea forței de tracțiune $\Delta F_{ok} = 0,42$ pentru un timp de comutare $t_k = 5$ sec. rezultă din măsurătorile făcute (v. diagramele din fig.4-11).

4.3.1. Determinarea caracteristicii de comutare inversă în cazul utilizării integrale a forței de tracțiune la comutarea directă.

Căderea maximă de viteză care apare în timpul procesului de comutare directă pentru cazul analizat rezultă din relația (4.48) :

$$\Delta V_{kmax} = 23,778 \cdot 10^{-4} [V_d - 0,1061(F_{of})_d + 729,944] \quad (4.53)$$

Forța de tracțiune $(F_{of})_d$ pentru diferite viteze de comutare (diferite sarcini ale motorului diesel) se determină din caracteristica de comutare directă (fig.3-3 și tabelul 3-5).

Viteza de comutare inversă se determină din relația (4.49).

Deoarece, în momentul când începe comutarea inversă, transmisia funcționează pe transformatorul de mers (transformatorul al II-lea), turația motorului diesel (n_{di}/n_{dn}) (la sarcina nominală a lui) se determină din ultima ecuație a sistemului (3.43) avînd în vedere că valoarea vitezei de comutare inversă aparține intervalului de valabilitate a acestui sistem:

$$\left(\frac{n_{di}}{n_{dn}}\right)^2 + \left[12,66 - 0,28 \left(\frac{V_f}{V_x}\right)_i\right] \frac{n_{di}}{n_{dn}} + 0,25 \left(\frac{V_f}{V_x}\right)_i^2 - 13,82 = 0 \quad (4.54)$$

La sarcini parțiale ale motorului diesel, turația lui corespunzătoare vitezei de comutare se determină din ultima ecuație a sistemului (3.44) :

$$\left(\frac{n_{di}}{n_{dn}}\right)^2 + 2 \left[c'_{ixII} - 0,14 \left(\frac{V_f}{V_x}\right)_i\right] \frac{n_{di}}{n_{dn}} + 0,25 \left(\frac{V_f}{V_x}\right)_i^2 - c'_{2xII} = 0 \quad (4.55)$$

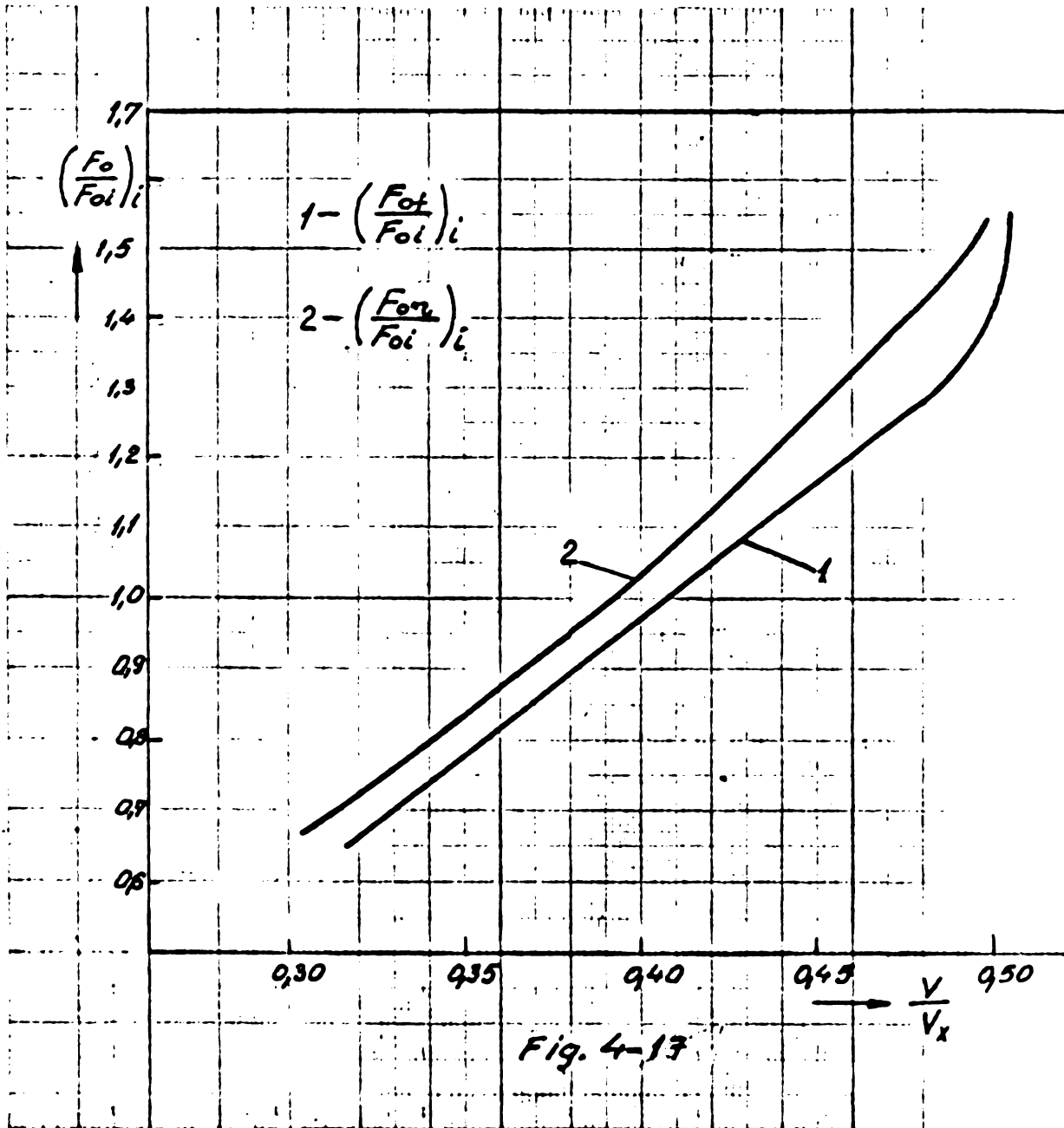
Caracteristica de comutare este dată de funcția (4.31).

Rezultatele calculului sînt date în tabela 4-1.

Tabela 4-1.

$(V_f/V_x)_d$	0,53	0,515	0,454	0,42	0,384	0,353
V_d [Km/h]	18,55	18,025	15,89	14,7	13,44	12,355
$(F_{of}/F_{oi})_d$	1,46	1,22	0,997	0,87	0,73	0,61
$(F_{of})_d$ [da.N]	3378	2823	2307	2013	1689	1411
ΔV_k [Km/h]	0,927	1,066	1,191	1,263	1,341	1,409
V_i [Km/h]	17,623	16,959	14,70	13,437	12,099	10,946
$(V_f/V_x)_i$	0,503	0,484	0,420	0,384	0,345	0,353
(n_{di}/n_{dn})	1,0025	0,936	0,8388	0,777	0,711	0,653
$(\gamma_{pII}/\gamma_{pn})_i$	0,9694	0,969	0,9694	0,9696	0,9699	0,9701
$(F_{of}/F_{xi})_i$	1,511	1,294	1,059	0,9156	0,7746	0,6577

Caracteristica de comutare inferșă $(F_{of}/F_{oi})_i = f(V/V_x)$, astfel determinată, este reprezentată în figura 4-17, curba 1. Comutarea după această caracteristică este asigurată de programul de comutare $(n_{df}/n_{dn})_i = g(n_2/n_{2x})$ reprezentat în figura 4-18, curba 1 (după datele calculate în tabela 4-1).



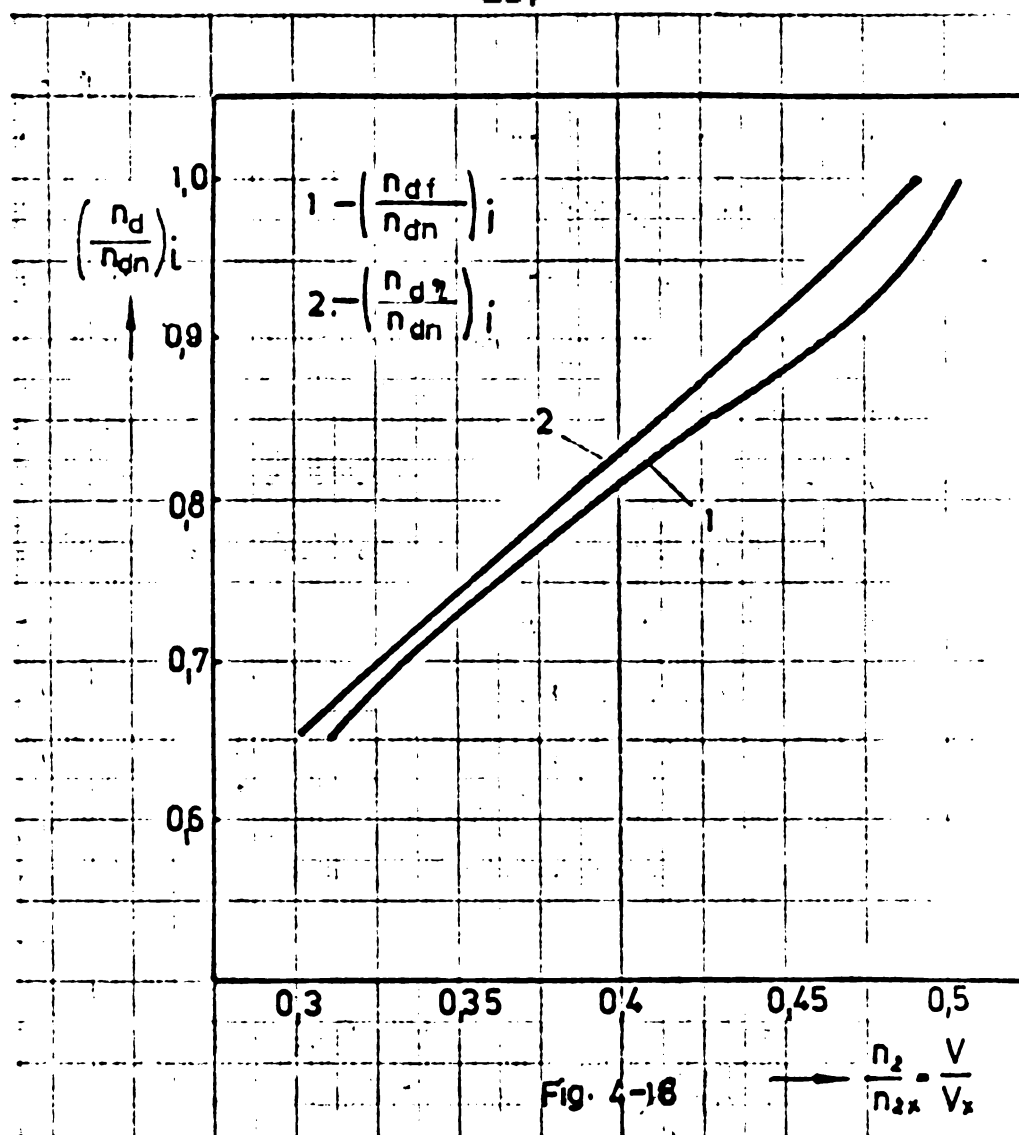


Fig. 4-16

4.3.2. Determinarea caracteristicii de comutare inversă în cazul asigurării unui randament optim la comutarea directă.

Valoarea forței de tracțiune $(F_{07})_d$ și a vitezei V_d la comutarea directă necesare pentru determinarea căderii de viteză în timpul procesului de comutare, rezultă din caracteristica de comutare directă (fig.3-3) și tabela 3-7.

Turația motorului diesel și forța de tracțiune corespunzătoare vitezelor de comutare inverse, astfel calculate, se determină din relația (4.55) și respectiv (4.51).

Rezultatele calculului sînt date în tabela 4-2.

Caracteristica de comutare inversă $(F_{07}/F_{01})_i = f(V/V_x)$, este reprezentată în figura 4-17, curba 2. Pentru realizarea acestei caracteristici de comutare, sistemul automat de comutare trebuie să asigure programul de comutare $(n_{d1}/n_{dn})_i = g(n_2/n_{2x})$ reprezentat în figura 4-16 curba 2 (traseat după datele calculate în tabela 4-2).

Tabela 4-2.

$(V_7/V_x)_d$	0,522	0,49	0,439	0,407	0,372	0,342
$(V_7)_d$ [Km/h]	18,27	17,17	15,356	14,245	13,02	11,97
$(F_{07}/F_{01})_d$	1,51	1,33	1,08	0,92	0,79	0,65
$(F_{07})_d$ [da.H]	3494	3077	2499	2129	1828	1504
$f_2(G_{vmax}, i_{max})$	377,530	420,670	480,186	518,321	549,029	582,3527
ΔV_k [Km/h]	0,897	1,0	1,142	1,232	1,305	1,384
V_1 [Km/h]	17,373	16,17	14,223	13,013	11,715	10,586
$(V_7/V_x)_1$	0,496	0,462	0,406	0,372	0,335	0,302
n_{d1}/n_{d2}	1,0025	0,9362	0,8388	0,777	0,7108	0,6532
$(r\lambda_{pII}/r\lambda_p)_1$	0,9696	0,9697	0,9699	0,9702	0,9705	0,9709
$(F_{07}/F_{01})_1$	1,523	1,330	1,079	0,932	0,786	0,669

4.3.3. Determinarea caracteristicii de comutare inversă, pe baza condițiilor de exploatare a locomotivei.

Pe baza considerațiilor din cap.3.2 s-au stabilit în paragraful 3.3.5 programul de comutare (ecuația 3.52) și caracteristica de comutare directă ținând seama de destinația și condițiile concrete de exploatare a tipului dat de locomotivă.

Viteza la care trebuie să se facă comutarea inversă, pentru a asigura o funcționare stabilă a locomotivei, se determină în acest caz, la fel ca în cazul precedent, din relația (4.49), iar căderea maximă de viteză din relația (4.53) în care viteza de comutare directă V_d și valoarea corespunzătoare a forței de tracțiune $(F_0)_d$ se stabilesc din programul de comutare (3.52) respectiv din caracteristica de comutare (fig.3-3 și tabela 3-5 pentru sarcina nominală a motorului și tabela 3-7 pentru sarcini parțiale ale motorului).

Rezultatele calculului sînt date în tabela 4-3.

Caracteristica de comutare inversă este reprezentată în diagrama din figura 4-19, iar programul de comutare care asigură obținerea acestei caracteristici, în diagrama din figura 4-20 (trasate după datele din tabela 4-2).

Tabela 4-3.

$(V/V_x)_d$	0,530	0,49	0,439	0,407	0,372	0,342
V_d [Km/h]	18,55	17,17	15,365	14,245	13,02	11,97
$(F_o/F_{oi})_d$	1,46	1,33	1,08	0,92	0,79	0,65
$(F_o)_d$ [da.N]	3378	3077	2499	2129	1828	1504
ΔV_k [Km/h]	0,927	1,0	1,142	1,232	1,305	1,384
V_i [Km/h]	17,623	16,16	14,223	13,013	11,715	10,586
$(V/V_x)_i$	0,503	0,462	0,406	0,372	0,335	0,302
(n_{di}/n_{dn})	1,0025	0,9362	0,8388	0,777	0,7108	0,6532
$(F_o/F_{oi})_i$	1,511	1,330	1,079	0,932	0,786	0,669

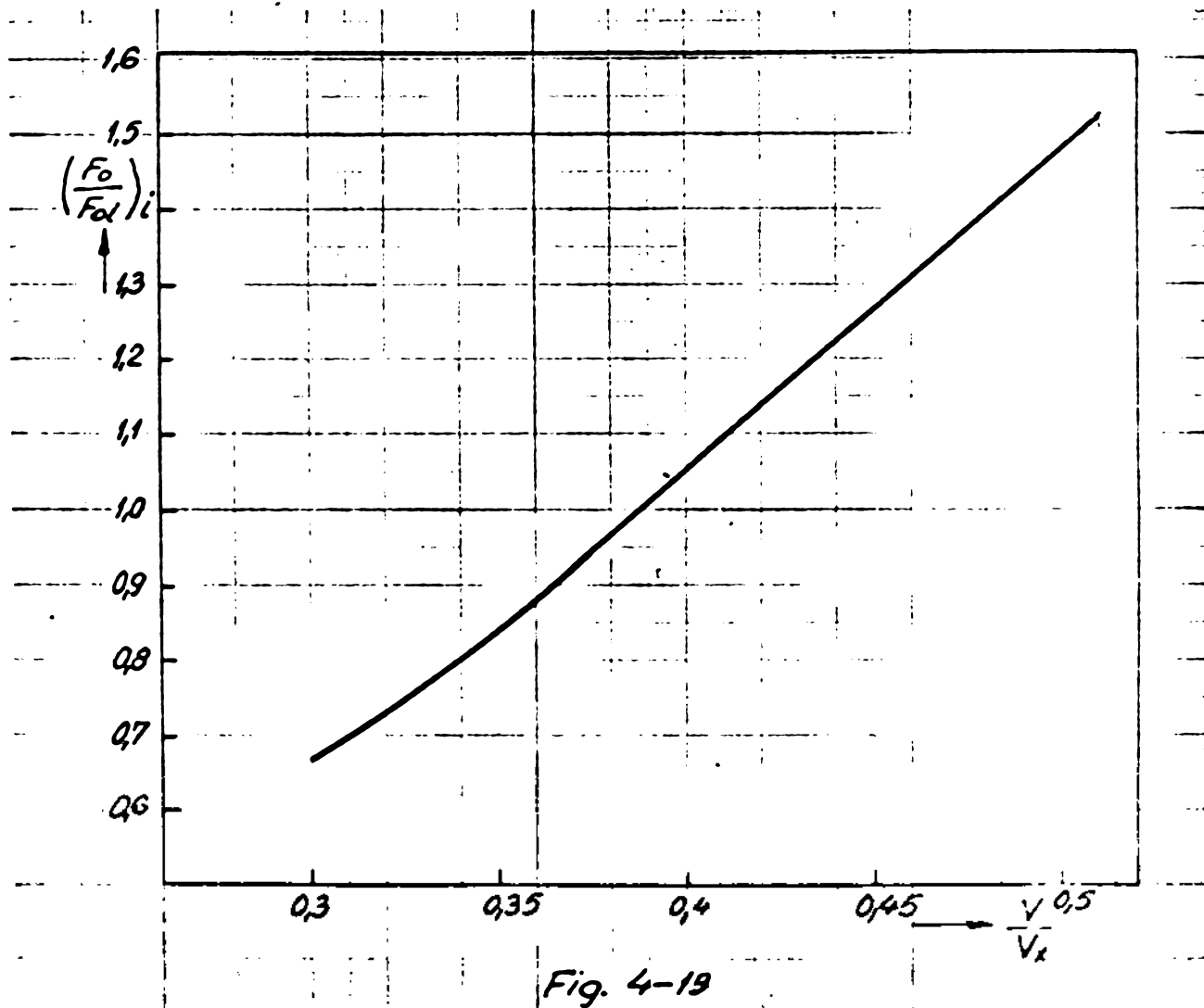
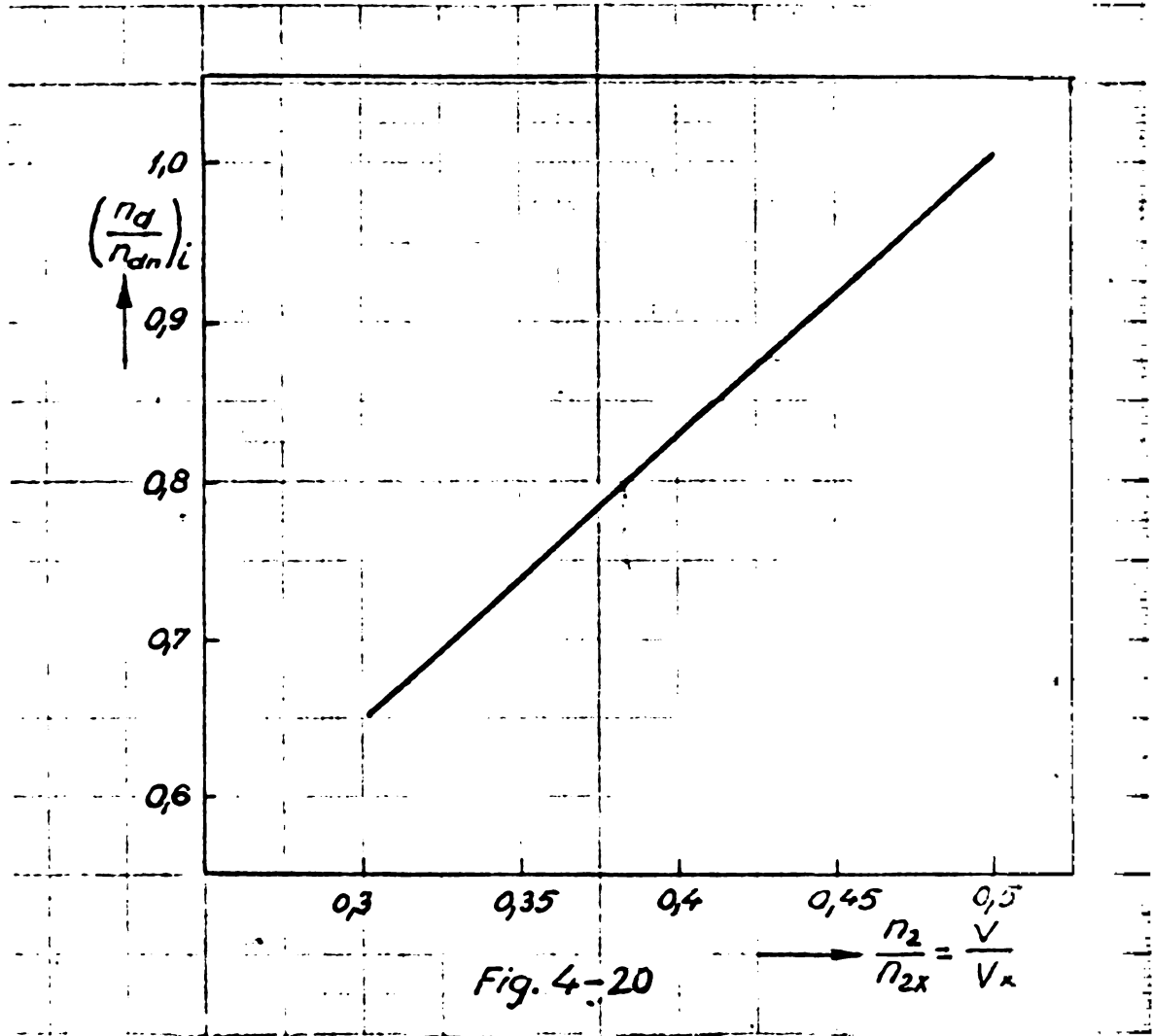


Fig. 4-19

Sistemul automat de comutare, pentru a asigura o funcționare stabilă a transmisiei, trebuie să realizeze comutarea inversă a treptelor de viteze, pentru diferite poziții ale controlorului la vitezele $V/V_x = n_2/n_{2x}$ date de programul de comutare (fig.4-20) care poate fi considerat cu suficientă precizie ca

fiind descris de dreapta :

$$98 \frac{n_d}{n_{dn}} - 190 \left(\frac{V}{V_x} \right) + 1 = 0 \quad (4.56)$$



La comutarea directă, sistemul automat trebuie să realizeze schimbarea treptelor la vitezele V/V_x date de ecuația (3.52).

5. STABILITATEA PROCESULUI DE COMUTARE.

La proiectarea locomotivelor diesel, trebuie determinată parametri transmisiei, ai sistemului de comandă a comutării și ai instalației de umplere și golire care să realizeze astfel de valori ale timpului de comutare t_k și ale forței de tracțiune F_{ok} în procesul de comutare, încît puterea neutilizată la obadă în zona de comutare să fie minimă iar comutarea stabilă. Puterea neutilizată la obadă este cu atît mai mică cu cît căderea de viteză ΔV_k este mai mică. De aceea, în cele ce urmează se va analiza influența timpului de comutare t_k și a forței de tracțiune F_{ok} asupra valorii căderii de viteză ΔV_k care asigură o comutare stabilă a treptelor de viteze pentru diferite tonaje remorcate de locomotivă pe diferite profile de cale.

5.1. Domeniul de stabilitate a procesului de comutare.

Viteza de comutare inversă V_1 a treptelor de viteze se realizează prin sistemul de comandă a comutării. Dacă în timpul procesului de comutare directă căderea de viteză ΔV_k are o astfel de valoare încît viteza de mers se micșorează sub viteza V_1 , apare un regim instabil de funcționare a transmisiei,

Este evident că regimul instabil de funcționare a transmisiei poate să apară numai în cazurile cînd rezistența de mers are valori pentru care viteza de mișcare în regim staționar este mai mare decît viteza de comutare directă V_d .

Cu creșterea valorii lui ΔV_k viteza de comutare inversă V_1 trebuie micșorată pentru asigurarea unui regim stabil de funcționare a transmisiei. Inșă micșorarea vitezei V_1 determină creșterea valorii puterii neutilizate la obadă.

În cazul general, stabilitatea transmisiei la comutarea treptelor de viteze, depinde de alegerea potrivită a parametrilor ce intervin în relația (4.25), care nu trebuie să depășească anumite valori limită, pentru ca procesul de comutare să nu devină instabil.

Reglarea transmisiei se face întotdeauna astfel încît la o alegere potrivită a parametrilor să se obțină stabilitate. În multe cazuri, din dorința de a se realiza o funcționare stabilă a transmisiei se aleg valori exagerat de mici pentru V_1

astfel încât mărimea reglată $\Delta V_r = V_d - V_1$ este destul de depărtată de valorile optime care să asigure și proprietăți de tracțiune corespunzătoare (valori minime ale puterii neutilizate la obadă).

De aceea trebuie să se procedeze pentru fiecare tip de locomotivă, în conformitate cu condițiile de exploatare, la o analiză a condițiilor de stabilitate a transmisiei cu care este echipată locomotiva. Calculele, care se fac în continuare, referitoare la cei mai importanți parametri, urmează să dea indicații în acest sens.

Se presupune, de fiecare dată, un anumit tip de locomotivă, a cărei caracteristici de tracțiune se cunosc și o anumită transmisie, și se discută stabilitatea procesului de comutare în funcție de acțiunile externe și de parametrii sistemului de reglare al transmisiei. O însemnătate deosebită îi revine cazului limită de stabilitate la care diferiți parametri au astfel de valori încât se atinge chiar limita între stabilitate și instabilitatea procesului de comutare a treptelor de viteze.

Relațiile valabile pentru limita de stabilitate, introduse în diagrama caracteristicilor de tracțiune, prin valorile limită ale vitezei V_1 , permit obținerea celor două domenii: unul care cuprinde comutarea stabilă, iar celălalt comutare instabilă. Acest procedeu se aplică considerînd locomotiva diesel-hidraulică LFH 35 construcție Intreprinderea "23 August" București.

În acest scop se calculează din relația (4.25) căderea de viteză ΔV_k care se produce în timpul procesului de comutare în funcție de parametrii t_k , i , G_v și ΔF_{ok} .

Rezultatele calculelor efectuate pentru locomotiva LDH-35, la sarcina nominală a motorului diesel, sînt trecute în tabelele 5-1 și 5-2. În aceste tabele s-au trecut numai valorile funcțiilor $f_1(t_k, G_v)$ și $f_2(\Delta F_{ok}, G_v, i)$ care definesc căderea de viteză ΔV_k (relațiile 4.26).

Cu datele din tabelele 5-1 și 5-2 se trasează limita de stabilitate și se determină domeniul de funcționare stabilă și instabilă a locomotivei la comutarea treptelor de viteze și se stabilește influența parametrilor constructivi și de exploatare ai locomotivei asupra limitei de stabilitate și deci asupra domeniului de stabilitate.

Tabela 5-1.

Valoriile funcției $f_1(t_k, G_V) \cdot 10^{-3}$

G_V [t]	t_k [s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
100		0,875	1,75	2,62	3,49	4,37	5,24	6,11	6,98	7,85	8,72
150		0,797	1,59	2,39	3,18	3,98	4,77	5,56	6,36	7,15	7,49
200		0,75	1,50	2,26	3,01	3,76	4,51	5,26	6,0	6,75	7,50
250		0,72	1,45	2,17	2,89	3,62	4,31	5,06	5,78	6,50	7,22
300		0,70	1,41	2,11	2,82	3,52	4,22	4,92	5,62	6,32	7,02
350		0,69	1,38	2,07	2,76	3,45	4,13	4,82	5,51	6,19	6,88
400		0,68	1,36	2,04	2,71	3,39	4,07	4,47	5,42	6,10	6,77
500		0,66	1,33	1,99	2,65	3,31	3,97	4,63	5,29	5,95	6,61
600		0,65	1,30	1,96	2,61	3,26	3,91	4,56	5,21	5,86	6,50
700		0,64	1,29	1,93	2,57	3,22	3,86	4,50	5,15	5,79	6,43
800		0,64	1,28	1,91	2,55	3,19	3,83	4,46	5,10	5,73	6,37
900		0,63	1,27	1,90	2,53	3,17	3,80	4,43	5,06	5,69	6,32
1000		0,62	1,26	1,89	2,52	3,15	3,78	4,40	5,03	5,66	6,28

Tabela 5-2.

Valoriile funcției $f_2(\Delta F_{ok}, G_v, 1)$

G_v (t)	ΔF_{ok} %	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
100	0	103,38	179,51	255,64	331,76	407,89	484,02	560,14	636,27	712,39	738,53	864,65
	0,2	-	-	53,37	129,49	205,62	281,75	357,87	434,0	510,13	536,26	662,38
	0,4	-	-	-	-	3,35	79,48	155,60	231,73	307,86	333,99	460,11
	0,6	-	-	-	-	-	-	-	29,46	105,59	131,72	257,84
	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55,57
200	0	110,54	199,08	287,63	376,18	464,73	553,27	641,82	730,36	818,91	907,47	996,0
	0,2	-	67,0	155,55	244,10	332,64	421,19	509,74	598,28	686,83	775,38	863,92
	0,4	-	-	23,47	112,02	200,56	389,11	377,66	466,20	554,75	643,29	731,84
	0,6	-	-	-	-	68,48	157,03	245,57	334,12	422,67	511,21	599,76
	0,8	-	-	-	-	-	24,95	113,49	202,04	290,58	379,13	467,68
1,0	-	-	-	-	-	-	-	69,96	158,50	247,05	335,60	
300	0	114,01	208,58	303,14	397,71	492,28	586,85	681,41	775,98	870,55	965,12	1059,68
	0,2	15,95	110,52	205,09	299,66	394,22	488,79	583,36	677,93	772,49	867,06	961,63
	0,4	-	12,46	107,03	201,60	296,17	390,74	485,30	579,87	674,44	769,01	863,57
	0,6	-	-	8,98	103,54	198,11	292,68	387,25	481,81	576,38	670,95	765,52
	0,8	-	-	-	5,49	100,05	194,62	289,19	383,76	478,33	572,89	667,46
1,0	-	-	-	-	2,0	96,57	191,14	285,70	380,27	474,84	569,40	

Tabela 5-2 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
400	0	116,06	214,18	312,31	410,44	508,56	606,69	704,31	802,94	901,07	999,19	1097,32
	0,2	38,09	136,21	234,34	332,47	430,59	528,72	626,84	724,97	823,10	921,22	1019,35
	0,4	-	58,24	156,37	254,50	352,62	450,75	548,87	646,99	745,13	843,25	941,38
	0,6	-	-	78,40	176,53	274,65	373,78	470,90	569,03	667,16	765,28	863,41
	0,8	-	-	0,43	98,56	197,68	294,81	392,93	491,06	589,19	687,31	785,44
1,0	-	-	-	20,59	118,71	216,84	314,96	413,09	512,12	609,34	707,47	
500	0	117,41	217,88	318,35	418,81	519,28	619,75	720,22	820,68	921,16	1021,62	1122,09
	0,2	52,69	153,16	253,63	354,10	454,57	555,04	655,51	755,97	856,44	956,91	1057,38
	0,4	-	88,45	188,92	289,38	389,85	490,32	590,79	691,26	791,73	892,20	992,66
	0,6	-	23,74	124,20	224,67	325,14	425,61	526,08	626,54	727,01	827,48	927,95
	0,8	-	-	59,49	159,96	260,43	360,89	461,36	561,83	662,30	762,77	863,23
1,0	-	-	-	95,24	195,71	296,18	396,65	497,12	597,58	698,05	798,52	
600	0	118,37	220,50	322,64	424,77	526,91	629,04	731,18	833,31	935,45	1037,58	1139,72
	0,2	63,06	165,19	267,33	369,46	471,60	573,73	675,87	778,0	880,14	982,27	1084,41
	0,4	7,75	109,88	212,02	314,15	416,29	518,42	620,56	722,69	824,83	926,96	1029,10
	0,6	-	54,57	156,71	258,84	360,98	463,11	565,25	667,38	769,52	871,65	973,79
	0,8	-	-	101,40	203,53	305,67	407,80	509,94	612,07	714,21	816,34	918,48
1,0	-	-	46,08	148,22	250,36	352,48	454,63	556,76	658,89	761,03	863,17	

Tabela 5-2 (continuarre).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
700	0	119,08	222,46	325,85	429,23	532,58	635,96	739,34	842,71	946,09	1049,46	1152,84
	0,2	70,79	174,17	277,56	380,94	484,29	587,67	691,05	794,42	897,80	1001,17	1104,55
	0,4	22,49	125,87	229,26	332,64	435,99	539,37	642,75	746,12	850,50	952,87	1056,25
	0,6	-	77,58	180,97	284,35	387,70	491,08	594,46	697,83	801,21	904,58	1007,96
	0,8	-	-	29,28	132,67	236,06	339,41	442,79	546,17	649,54	752,92	856,28
	1,0	-	-	84,38	187,76	291,11	394,49	497,87	601,24	704,62	807,99	911,37
800	0	119,64	223,97	328,30	432,63	536,96	641,29	745,62	849,95	954,27	1058,61	1162,93
	0,2	76,78	181,11	285,44	389,77	494,10	598,43	702,76	807,09	911,41	1015,74	1120,07
	0,4	33,93	138,26	242,59	341,92	451,25	555,58	659,91	764,24	868,56	972,90	1077,22
	0,6	-	95,40	199,73	304,06	408,39	512,72	617,05	721,38	825,70	930,04	1034,36
	0,8	-	52,55	156,87	261,21	365,54	469,87	574,20	678,53	782,85	887,19	991,51
	1,0	-	9,69	114,02	218,35	322,68	427,01	531,34	635,67	739,99	844,33	948,65
900	0	120,08	225,18	330,29	435,39	540,49	645,60	750,70	855,80	960,91	1066,01	1171,11
	0,2	81,56	186,66	291,77	396,87	501,97	606,48	712,18	817,28	922,39	1027,49	1132,59
	0,4	43,04	148,14	253,25	358,35	463,45	568,56	673,66	778,76	883,87	988,97	1094,07
	0,6	4,52	109,62	214,73	319,83	424,93	530,04	635,14	740,24	845,35	950,45	1055,55
	0,8	-	71,10	176,21	281,31	386,41	491,52	596,62	701,72	806,83	911,93	1017,03
	1,0	-	32,58	137,69	242,79	347,89	453,00	558,10	663,20	768,31	873,41	978,51

5.2. Influența timpului de comutare, a căderii
forței de tracțiune, a profilului liniei
și a tonajului remorcat asupra stabilității
procesului de comutare.

5.2.1. Influența timpului de comutare.

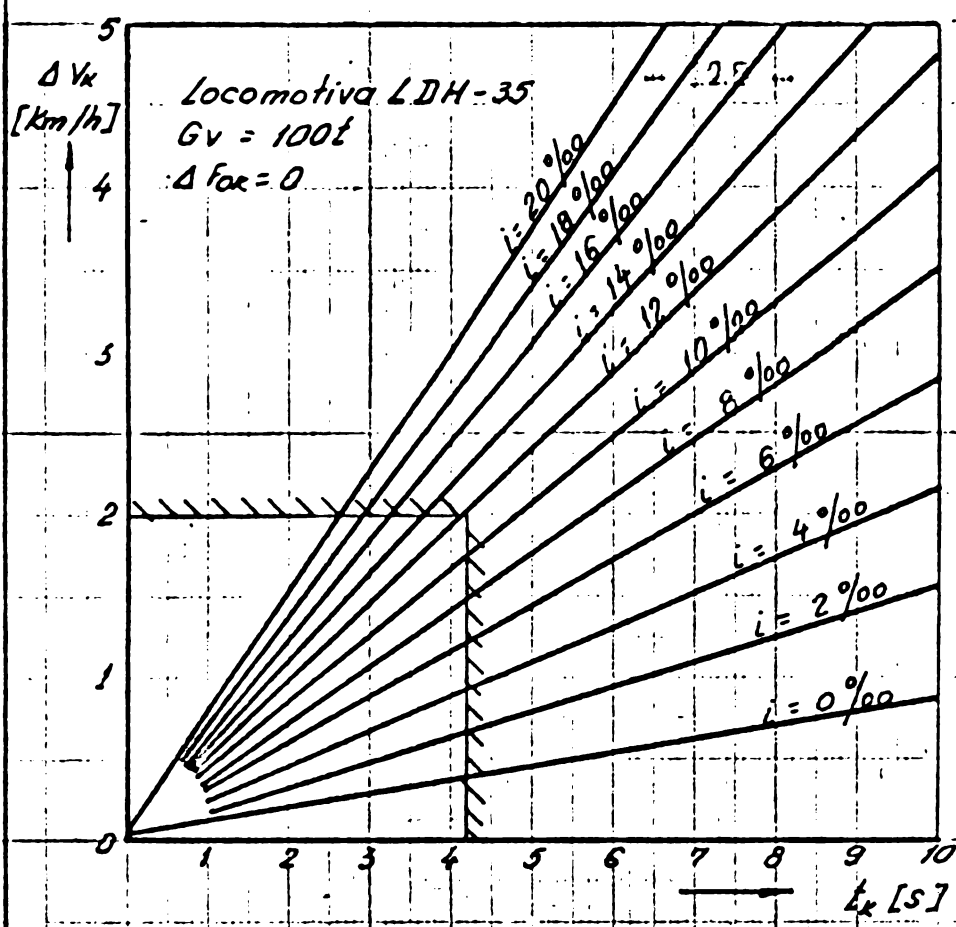
Timpul de comutare t_k depinde de numărul și suprafața orificiilor de golire, de debitul pompei de alimentare cu ulei a transmisiei și de rezistența hidraulică a conductelor de umplere și golire.

Domeniul de stabilitate se poate determina în funcție de *timpul de comutare*, cercetînd limita de stabilitate în planul coeficienților. În acest scop se trasează curba limită de stabilitate în planul coeficienților ΔV_k și t_k pentru condiții de exploatare bine determinate, adică pentru un tren compus din anumite vagoane, cu un anumit tonaj G_v care circulă pe un profil de linie cu declivitate $i = \text{const.}$ În figurile 5-1 s-au trasat limitele de stabilitate la comutarea treptelor de viteze pentru locomotiva LDH 35 care remorcă un tren de marfă compunere amestecată din vagoane încărcate pe 2 și 4 osi, cu tonajul $G_v = 150$ și 500 t la o valoare relativă a forței de tracțiune la comutare $\Delta F_{ok} = 0; 0,2; 0,4; 0,6$ și $0,8$.

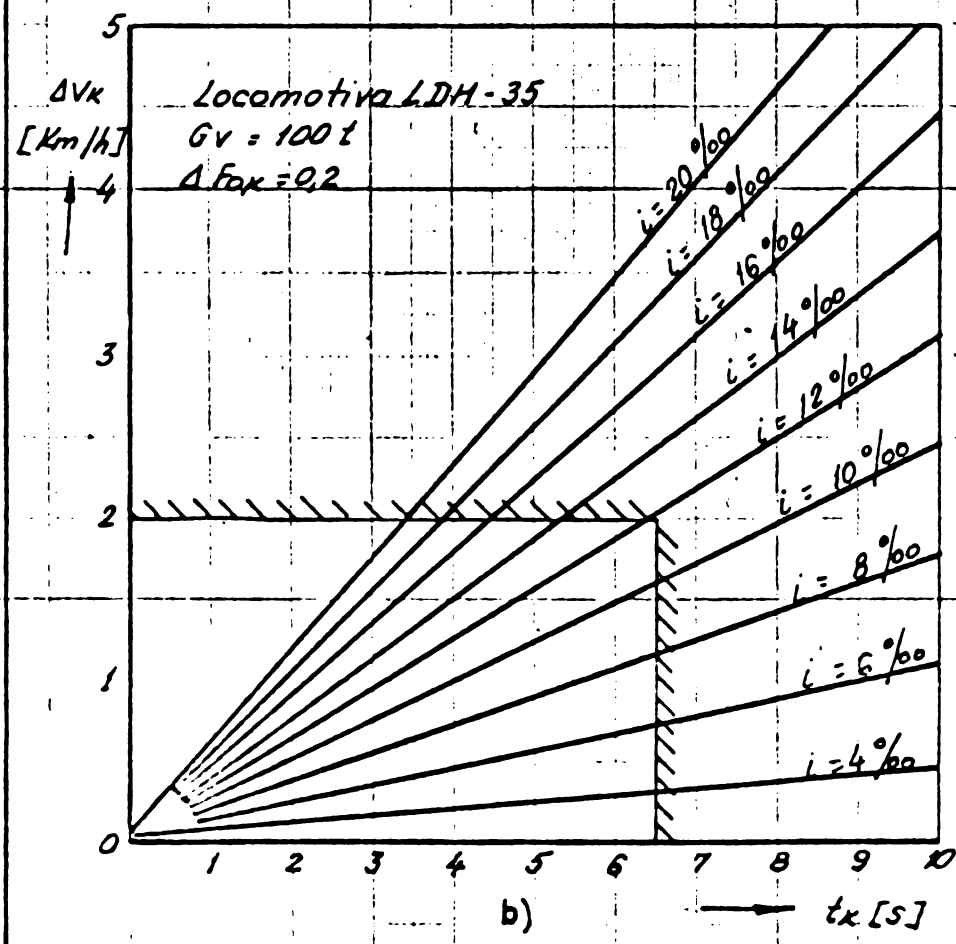
Din aceste diagrame rezultă că ΔV_k crește cu mărirea timpului de comutare t_k la o rampă $i = \text{const.}$ La proiectarea transmisiei hidraulice și a sistemului de comutare se poate determina, din aceste diagrame, valoarea maximă necesară a timpului de comutare t_k care asigură, la comutarea treptelor de viteze, un regim stabil de funcționare la circulația locomotivei pe rampa maximă cunoscută cu o cădere de viteză ΔV_k . Astfel la o rampă $i = 12 \%$ și $\Delta V_k = 2 \text{ km/h}$ (fig.5-2,c), rezultă la limita de stabilitate un timp $t_k = 5 \text{ sec.}$ pentru $G_v = 500 \text{ t}$ și $\Delta F_{ok} = 0,4$. Deci, domeniul de stabilitate este limitat de axele de coordonate și ecuațiile $\Delta V_k = 2$ și $t_k = 5$.

Regimurile de funcționare caracterizate prin coordonatele punctelor situate în afara acestui domeniu vor fi instabile.

Dacă rampa maximă $i_{\text{max}} < 12 \%$, timpul necesar de comutare t_k crește și corespunzător se mărește și domeniul de stabilitate (în fig.5-2,c domeniul limitat prin liniile întrerupte pentru $i_{\text{max}} = 10 \%$).



a)



b)

Fig. 5-1

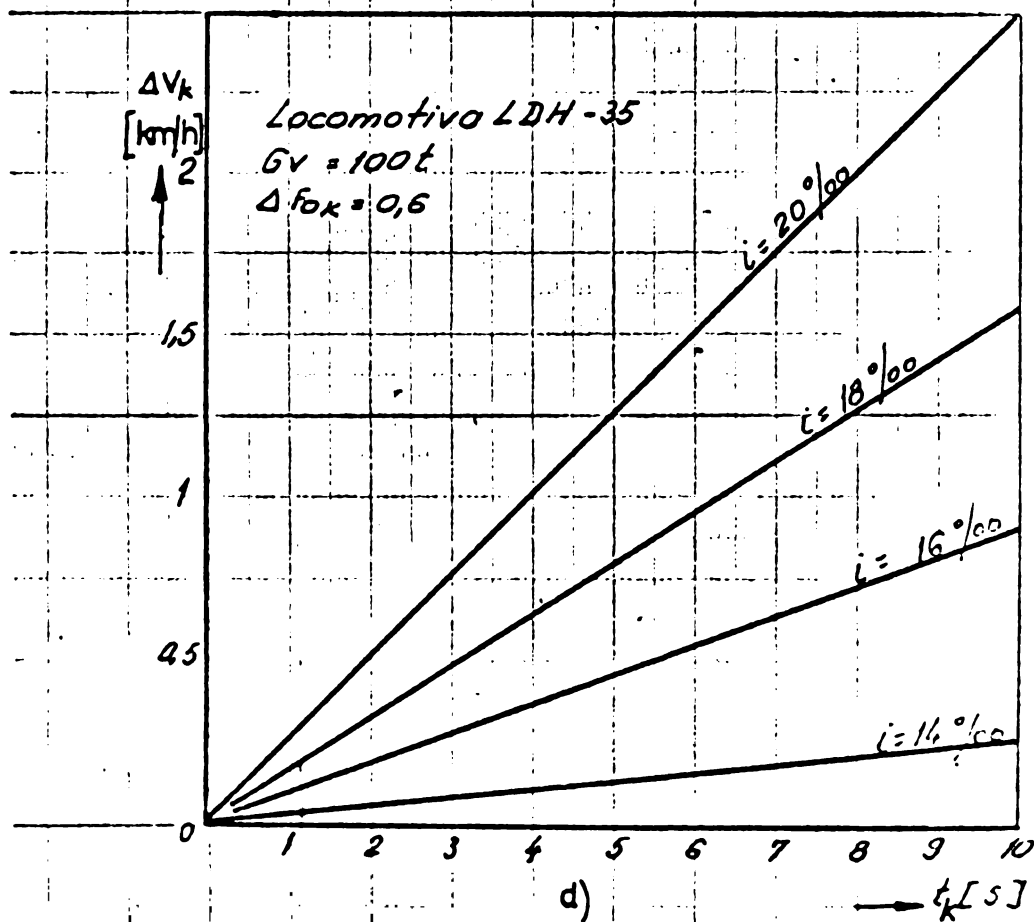
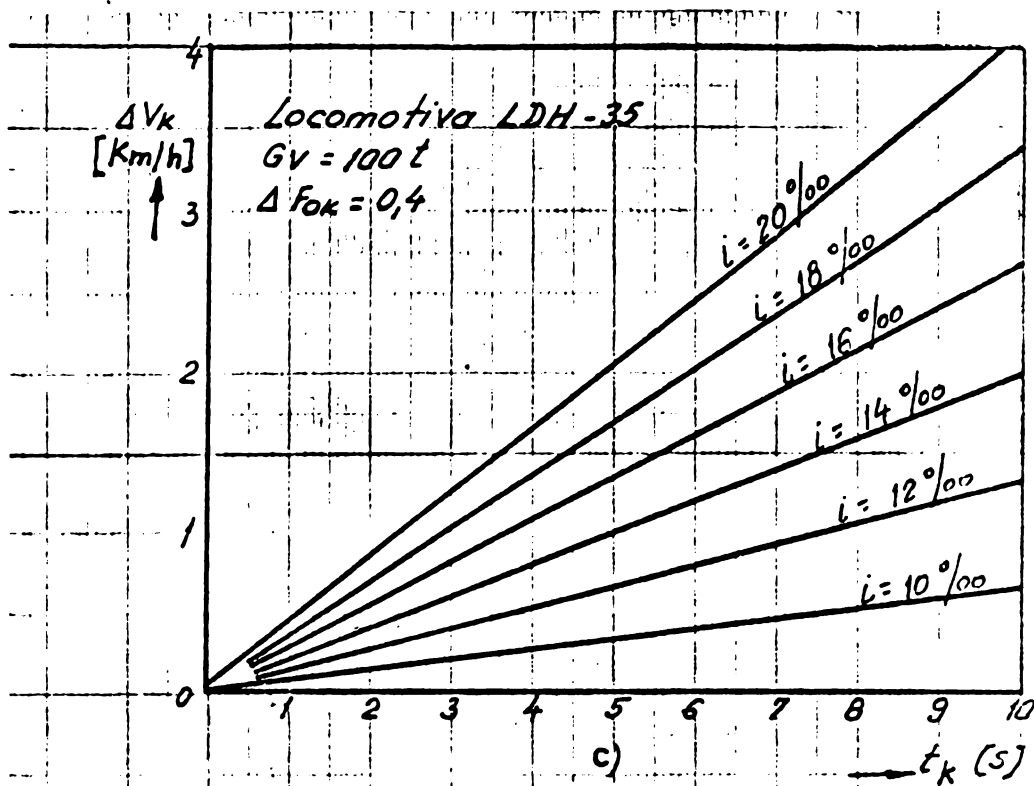
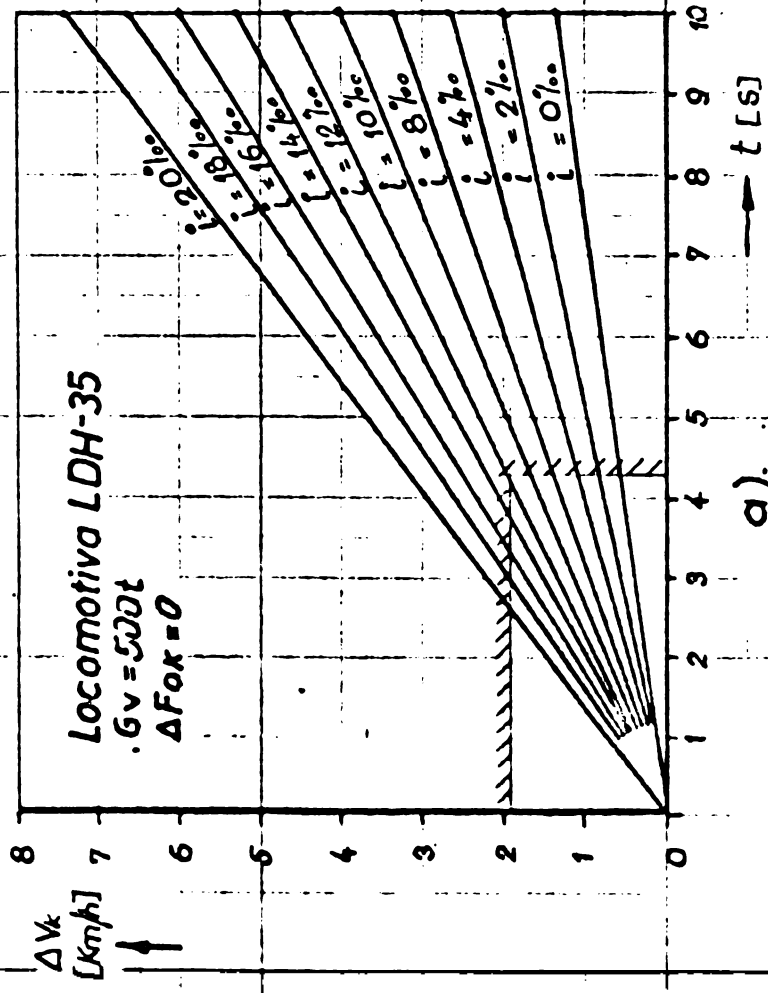
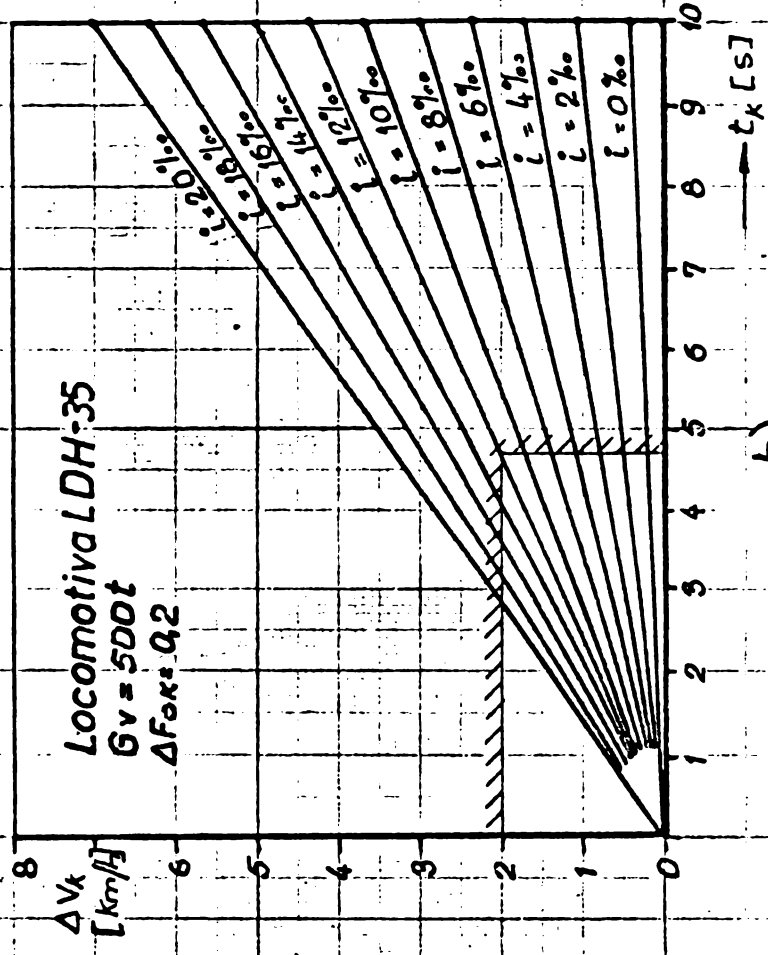


Fig. 5-1



a).



b).

Fig. 5-2

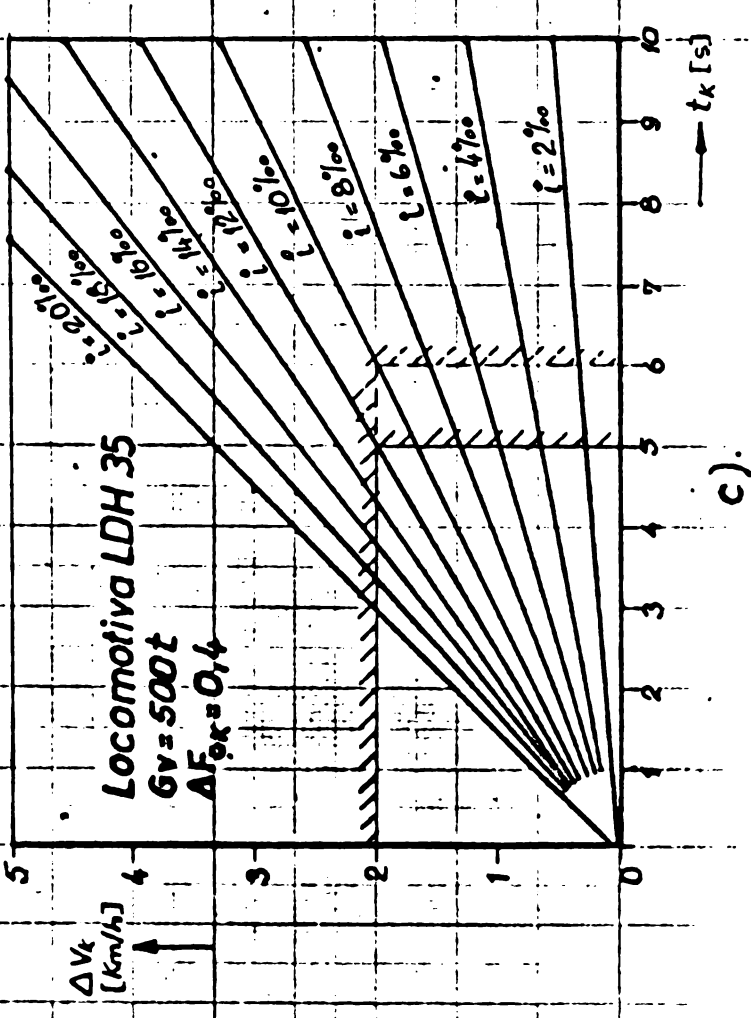
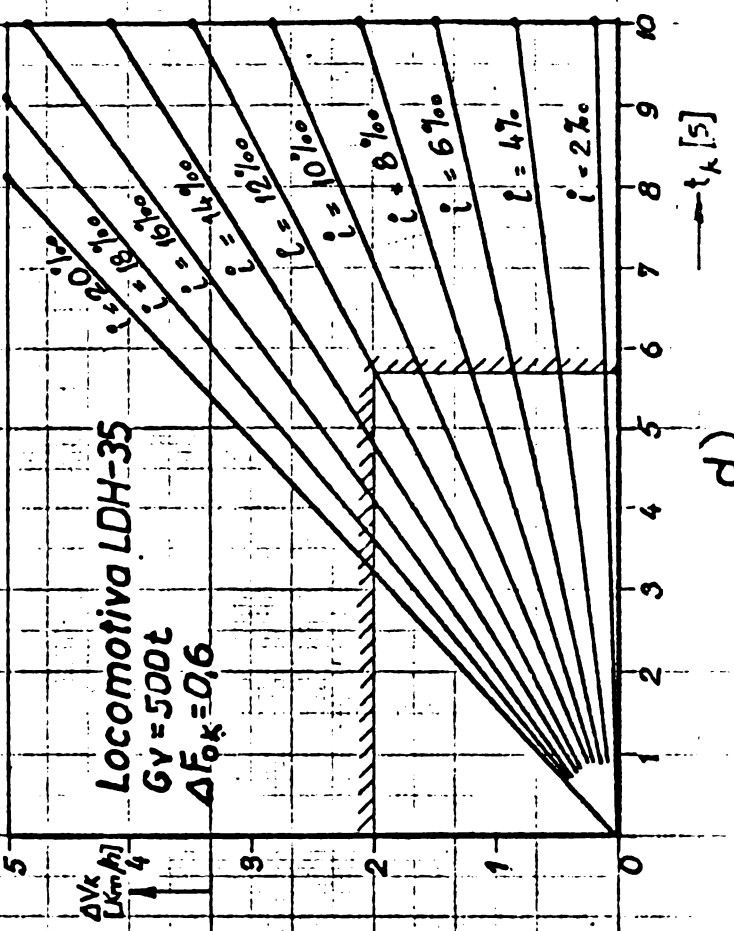
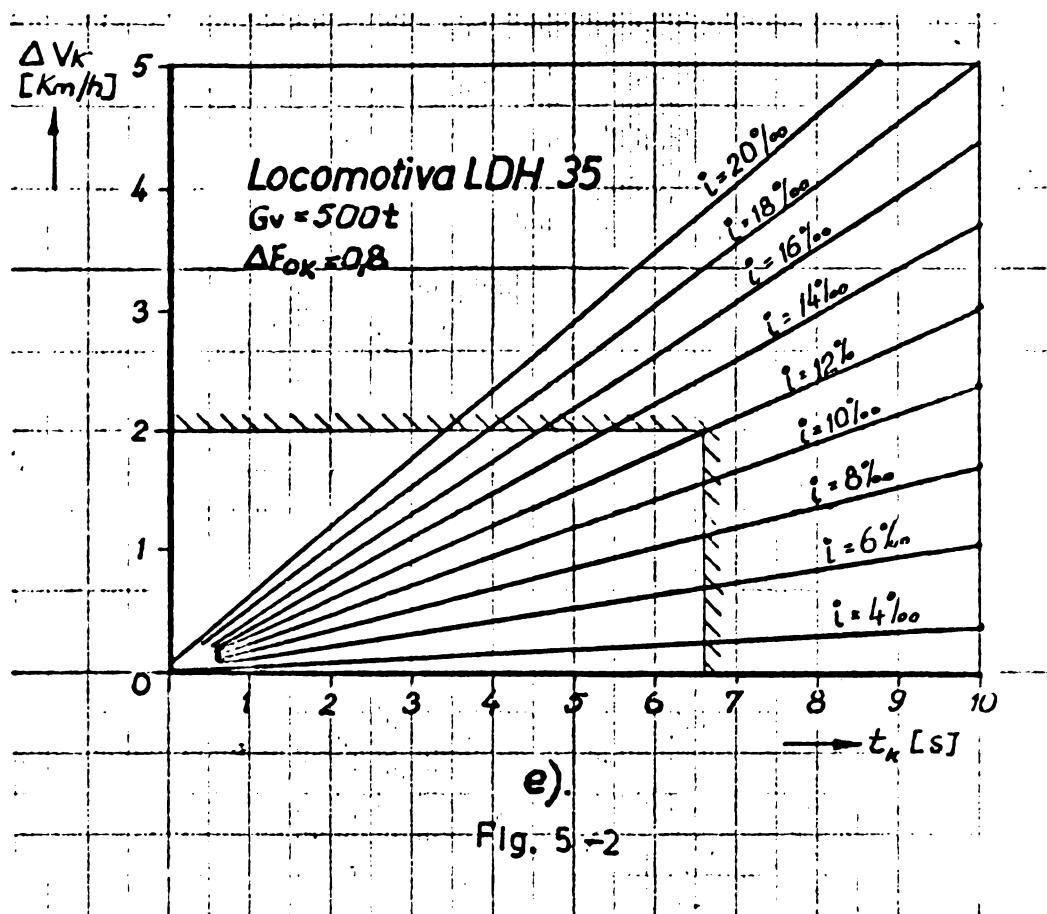


Fig. 5-2



5.2.2. Influența profilului liniei.

Regimul instabil de funcționare al locomotivei la comutarea treptelor de viteze poate să apară numai la unele din cazurile în care apare căderea de viteză. De aceea interesează numai condițiile de mișcare pentru care $\Delta V_k \geq 0$. Din relația (4.25) rezultă că această condiție este îndeplinită atunci când trenul circulă pe un profil de linie cu rampa:

$$i \geq \frac{1}{G_v + G_L} \left[F_{od} \cdot \Delta F_{ok} - (a_v G_v + a_L G_L) - V_d (b_v G_v + b_L G_L) \right] \quad (5.1)$$

Valorile rampei minime i_{min} a profilului de linie pe care căderea de viteză $\Delta V_k = 0$, determinate din (5.1) în funcție de tonajul remorcat G_v și de valoarea relativă ΔF_{ok} a forței de tracțiune în procesul de comutare sînt calculate pentru locomotiva LDH de 350 CP în diagrama din figura 5-3.

Pentru determinarea influenței profilului liniei asupra stabilității comutării se alege coeficientii ΔV_k și declivitatea profilului liniei $i \geq i_{min}$. Se obține astfel domeniul de stabilitate în planul coeficienților ΔV_k și i . În figura 5-4 și figura 5-5 s-au determinat, cu datele din tabelele 5-1 și 5-2, limitele de

stabilitate pentru aceeași locomotivă care remorcă un tren de tonajul $G_v = 400$ t și $G_v = 200$ t, în funcție de rampa i ‰ la diferite valori ale constantei de timp $t_k = \text{const.}$ și o valoare relativă a forței de tracțiune la comutare $\Delta F_{ok} = 0; 0,2; 0,4; 0,6$ și $0,8$.

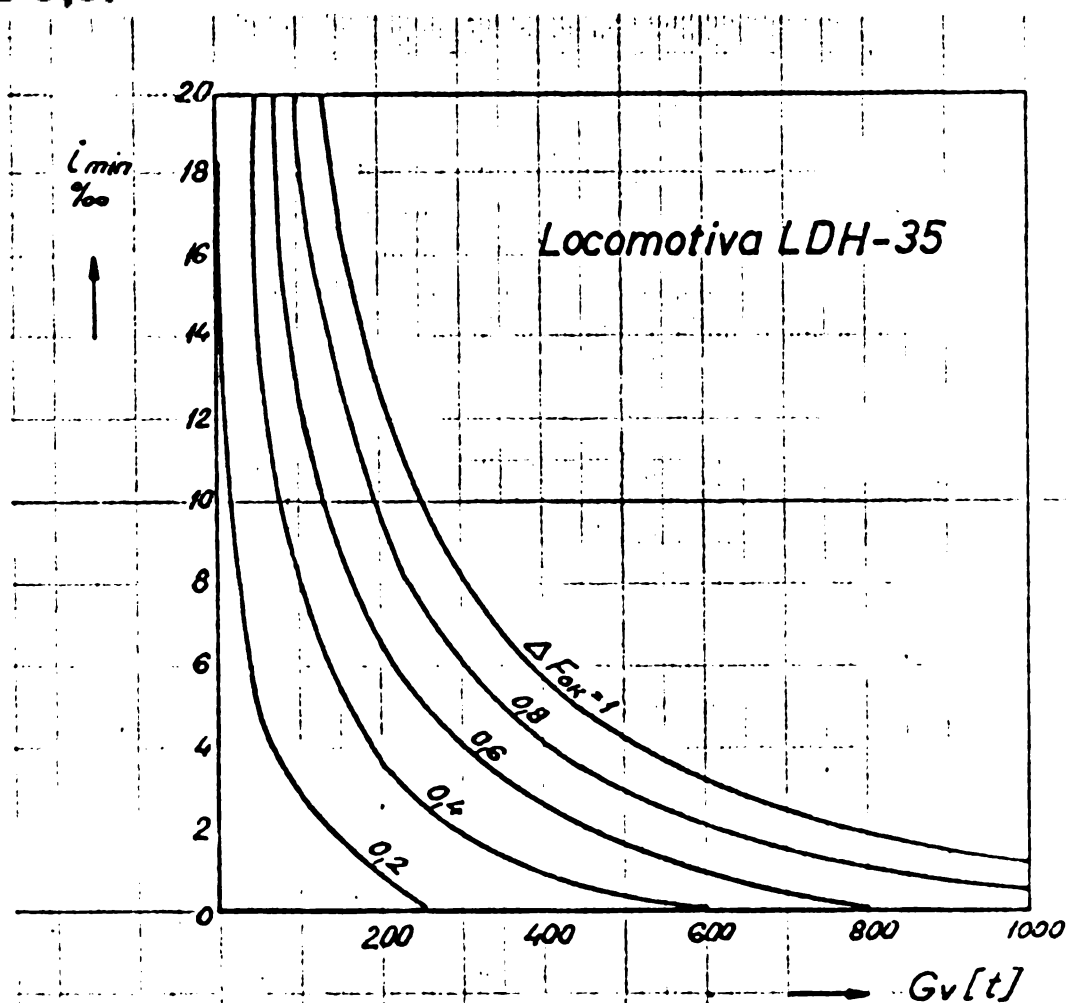


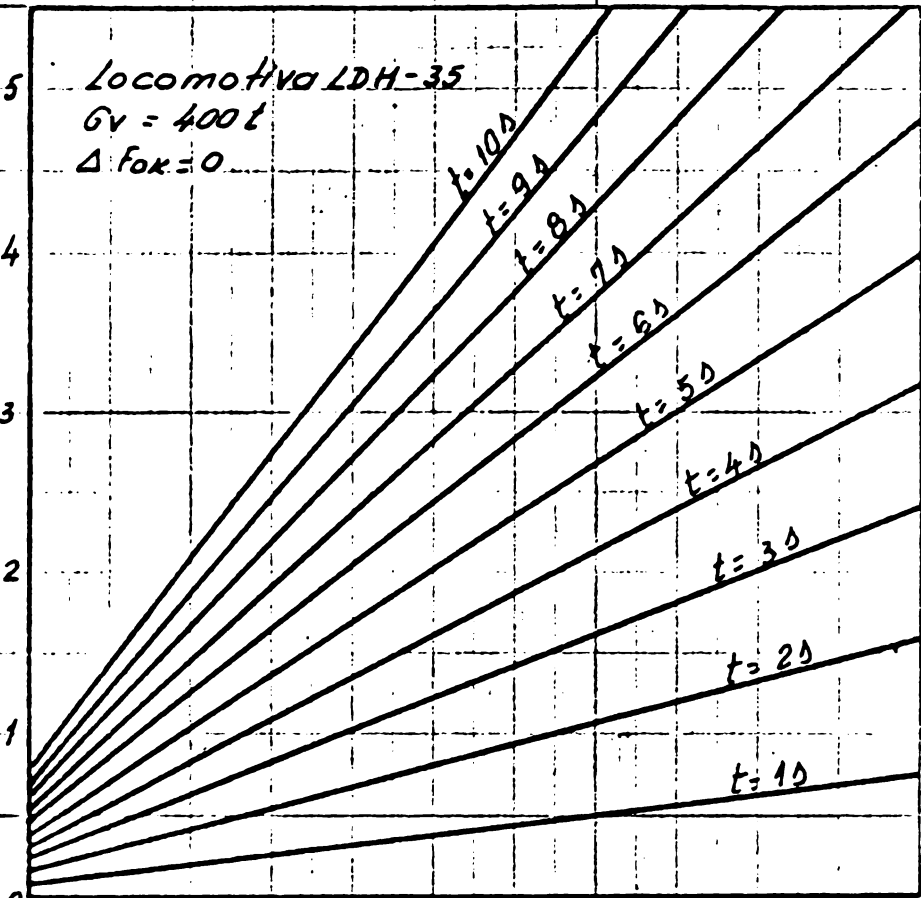
Fig. 5-3

La reglarea locomotivei, de exemplu pentru $\Delta V_k = 2$ km/h, $\Delta F_{ok} = 0,4$, un tonaj $G_v = 400$ t (fig.5-4,e) și la o constantă de timp t_k cunoscută, de exemplu $t_k = 5$ sec., funcționarea stabilă a locomotivei la comutare, are loc la circulația trenului pe toate rampele $i < 13$ ‰. Domeniul de stabilitate este deci, limitat de axele de coordonate și de dreptele $\Delta V_k = 2$ și $i = 13$ ‰.

Pentru verificarea regimului de funcționare pe un anumit profil de linie se introduc în diagramă valorile numerice efective ale coeficienților care caracterizează acest regim. Dacă punctele determinate de valorile acestor coeficienți se situează în domeniul de stabilitate, procesul de comutare în curs de desfășurare este efectiv stabil.

ΔV_k
[km/h]

Locomotiva LDH-35
Gv = 400t
 $\Delta F_{ok} = 0$

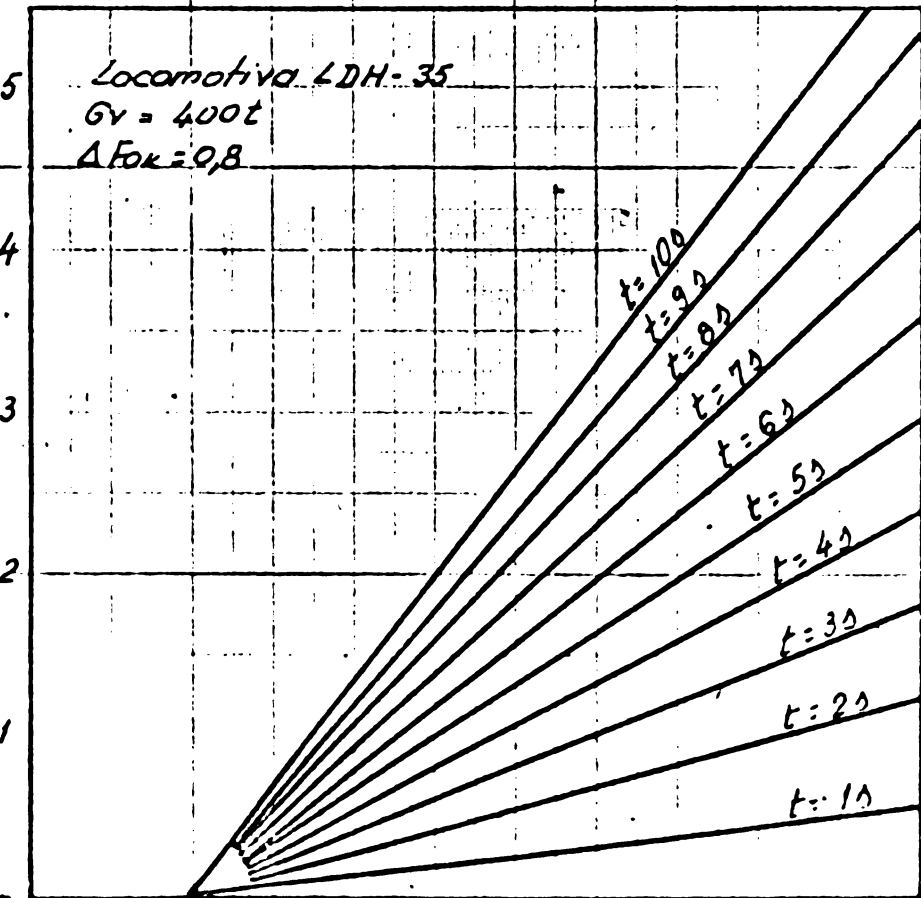


a)

i ‰

ΔV_k
[km/h]

Locomotiva LDH-35
Gv = 400t
 $\Delta F_{ok} = 0,8$



b)

Fig. 5-6

i ‰

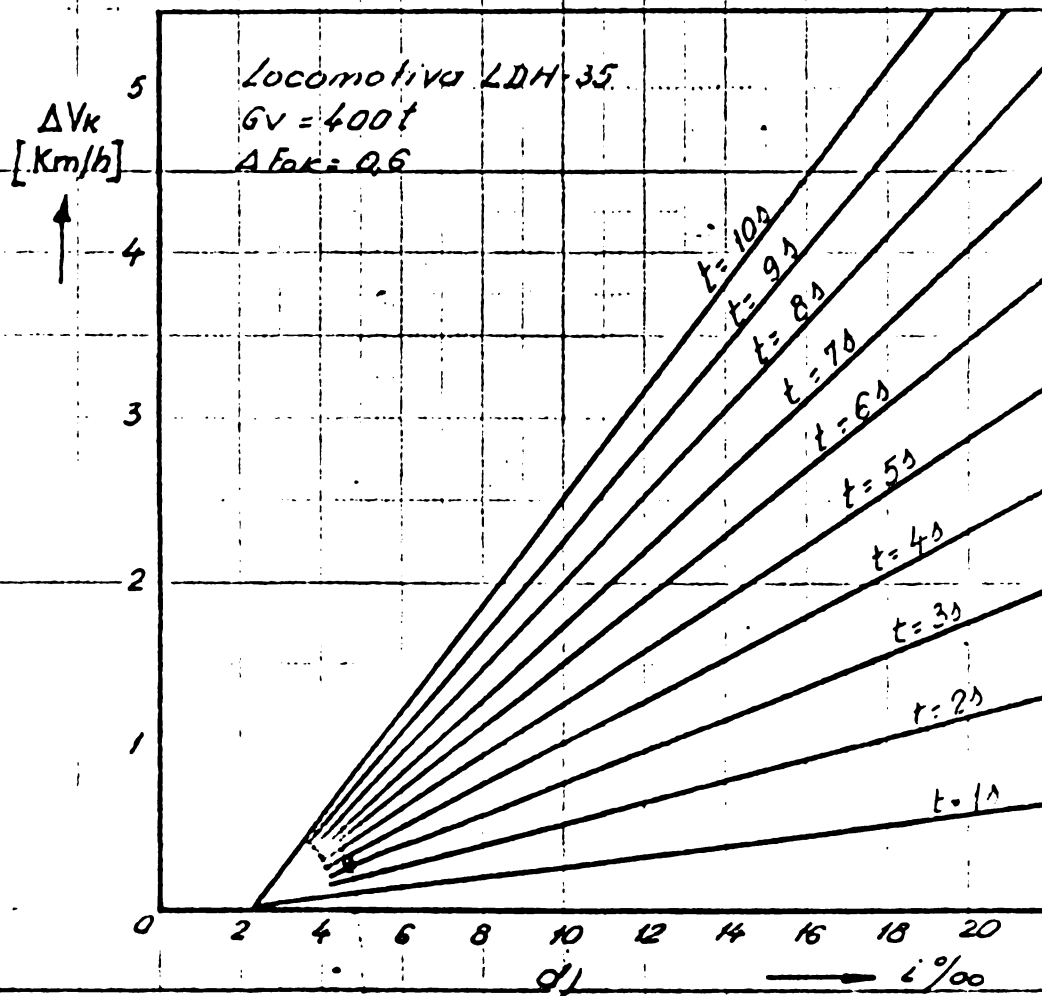
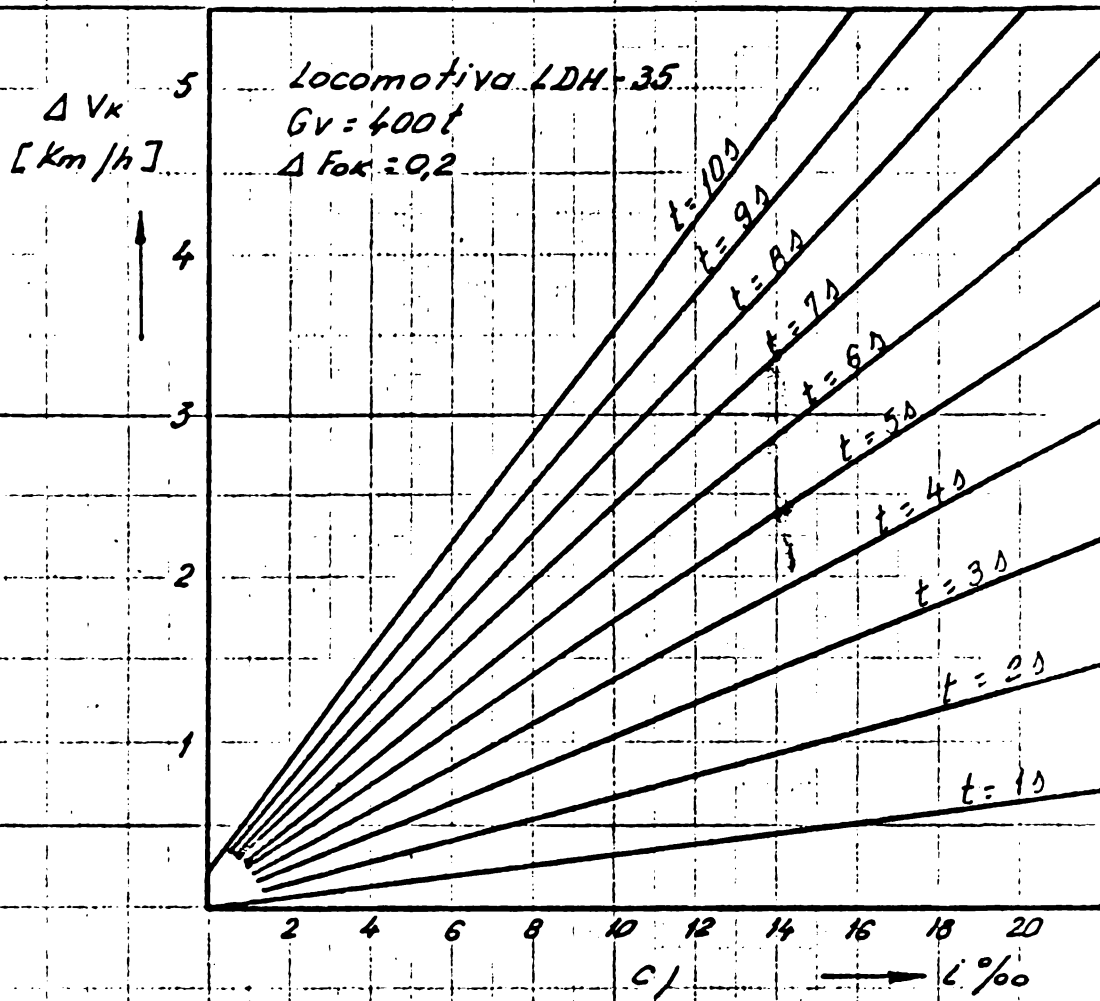


Fig. 5-4

ΔV_k
[km/h]

Locomotiva LDH-35
 $G_v = 400t$
 $\Delta F_{ok} = 0,4$

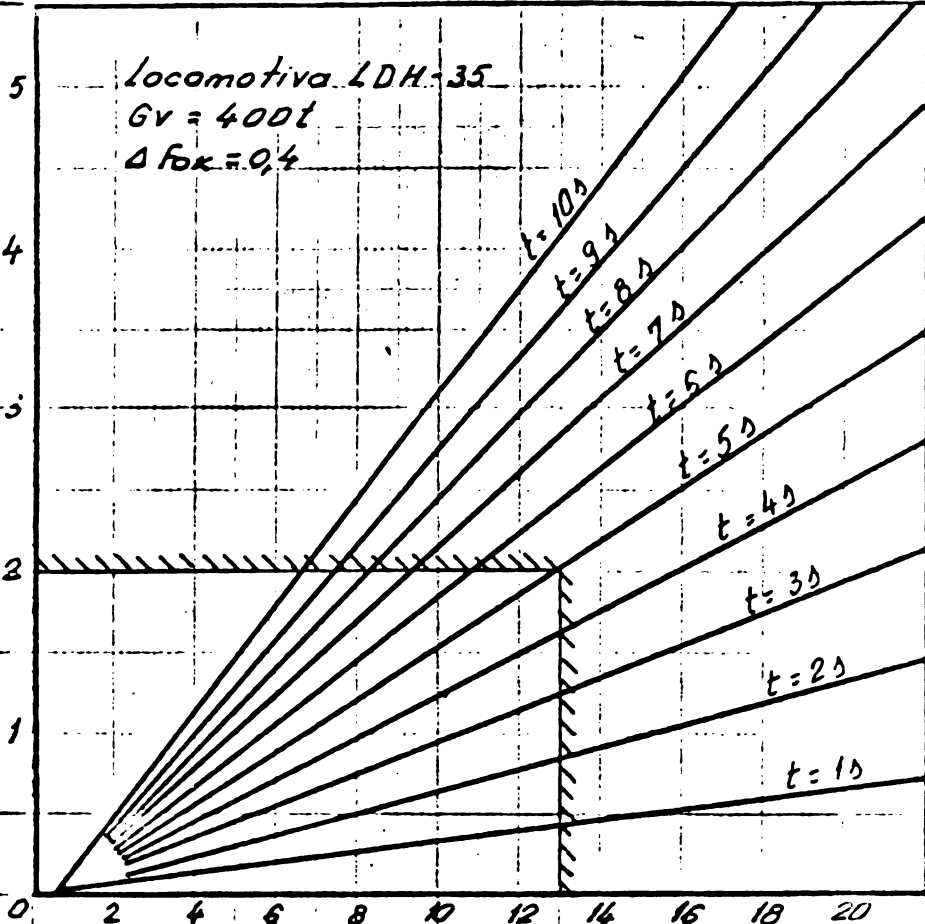
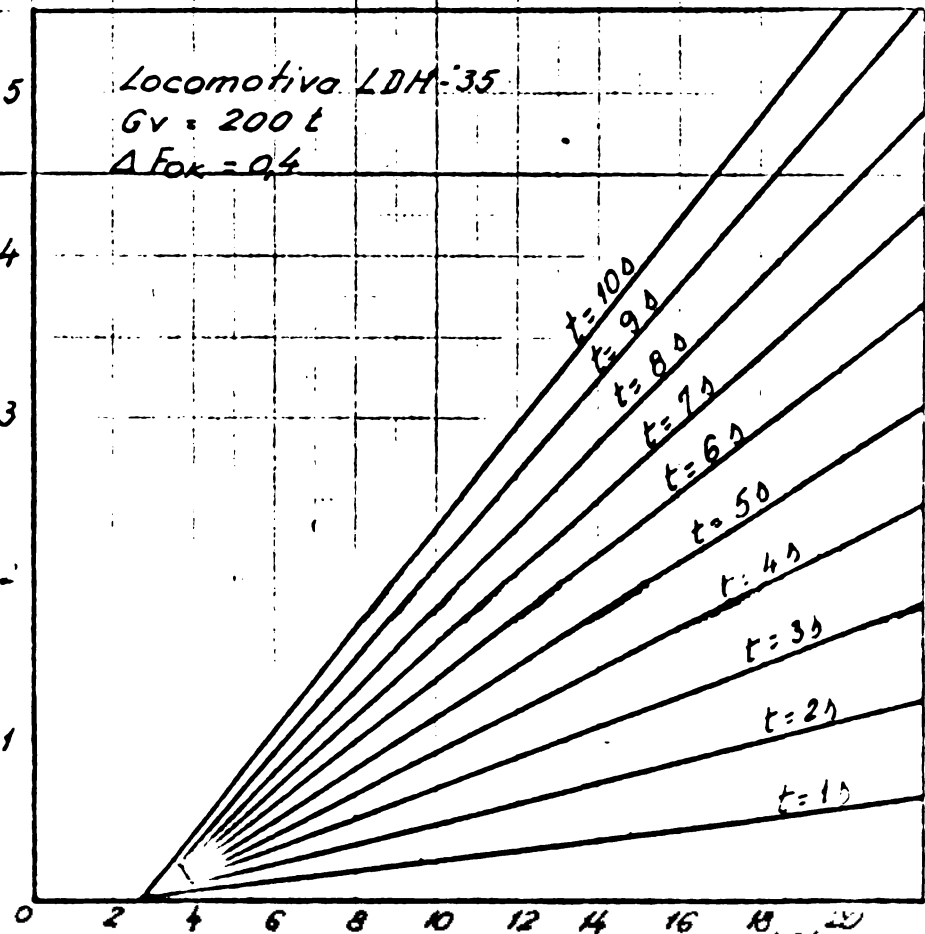


Fig. 5-4e

→ l [%]

ΔV_k
[km/h]

Locomotiva LDH-35
 $G_v = 200t$
 $\Delta F_{ok} = 0,4$



a)

Fig. 5-5

→ l [%]

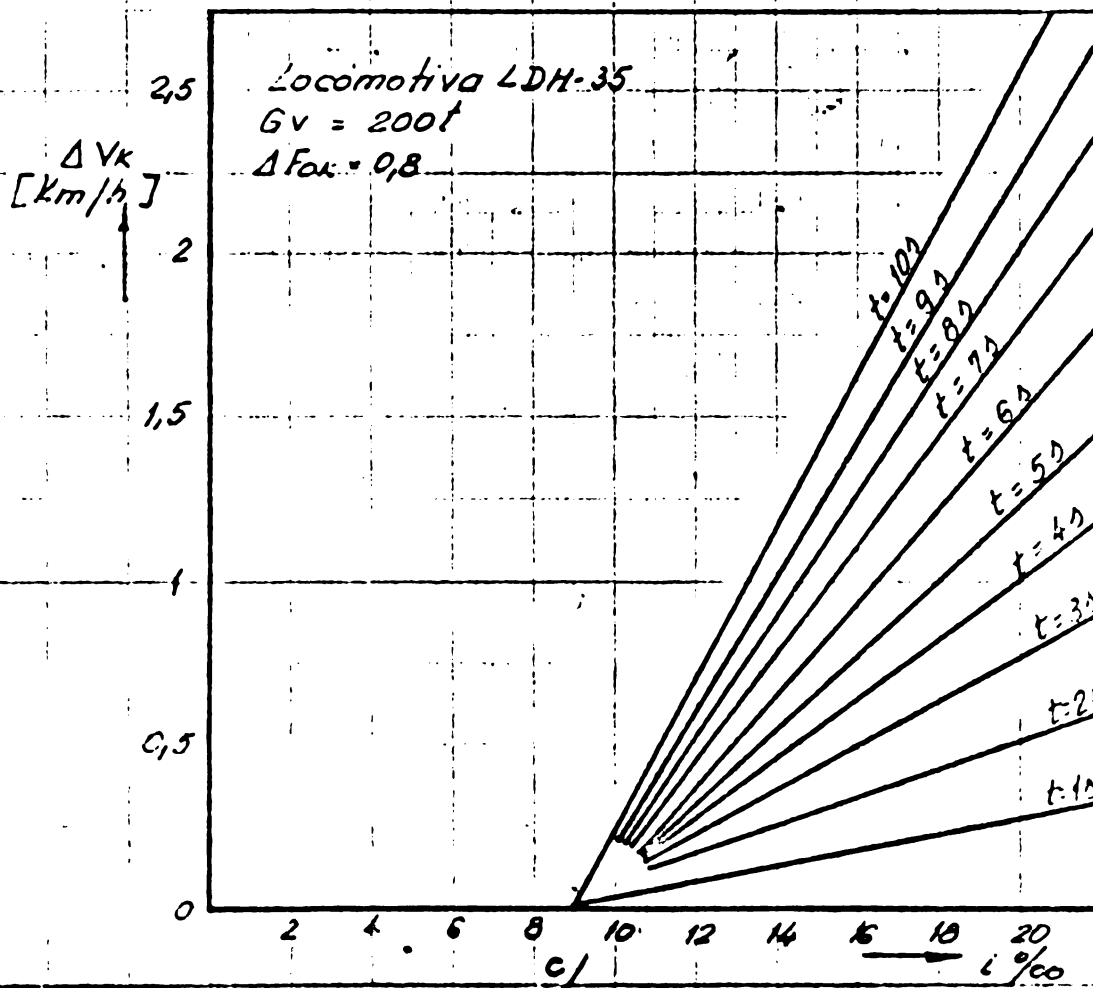
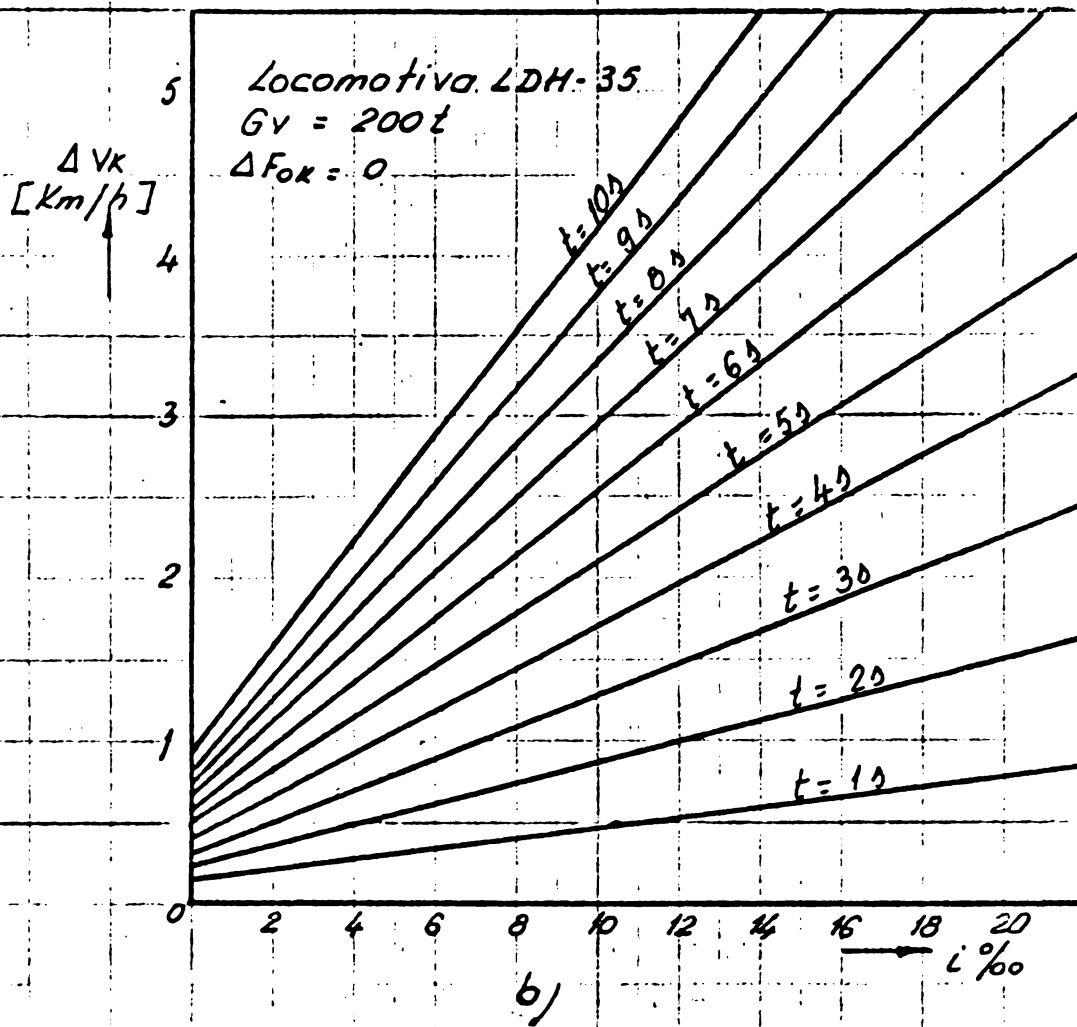


Fig. 5-5

5.2.3. Influența căderii forței de tracțiune.

Pentru determinarea valorilor coeficienților ΔF_{ok} , t_k și ΔV_k care să asigure o comutare stabilă și o putere maximă la obadă, se trasează limitele de stabilitate în planul coeficienților (t_k , ΔF_{ok}).

Timpul de comutare t_k se poate determina din relația (4.25) :

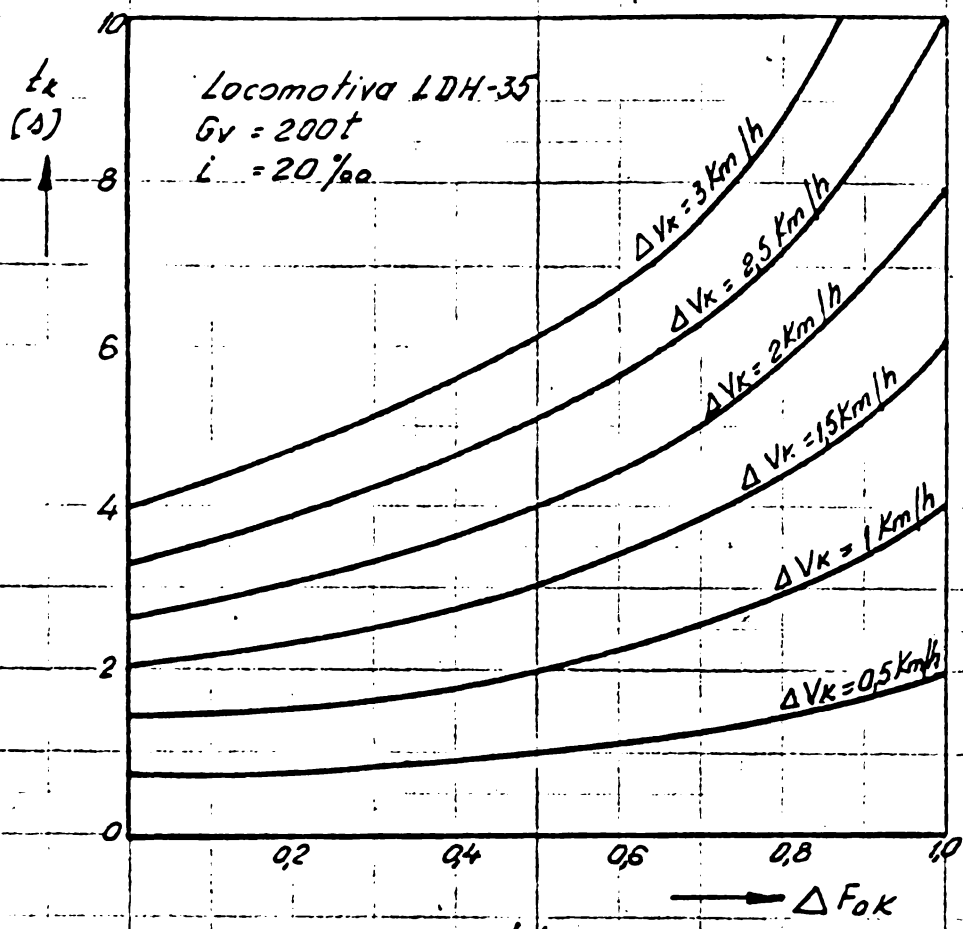
$$t_k = \frac{v(G_v + G_L)}{b_v G_v + b_L G_L} \ln \left[1 - \frac{\Delta V_k}{v_d + \frac{a_v G_v + a_L G_L}{b_v G_v + b_L G_L} + i \frac{G_v + G_L}{b_v G_v + b_L G_L} - \frac{F_{oI} \cdot \Delta F_{ok}}{b_v G_v + b_L G_L}} \right] \quad (5.2)$$

Variația timpului de comutare t_k în funcție de ΔF_{ok} , pentru valori constante ale celorlalți parametri din relația (5.2), este arătată în figura 5-6. S-a considerat locomotiva diesel-hidraulică LDH-35, care remorcă un tonaj $G_v = 200$ t pe o rampă de $i = 12$ ‰ (fig.5-6,a) și $i = 20$ ‰ (fig.5-6,b).

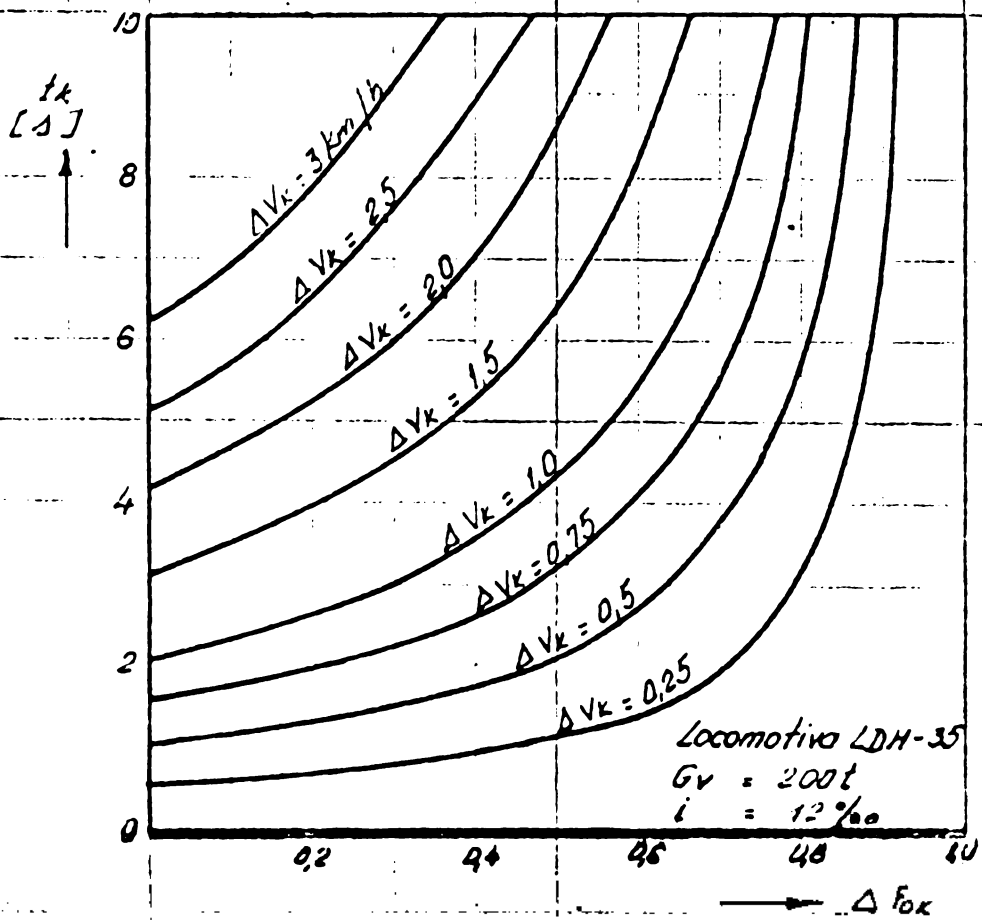
La proiectarea locomotivei, folosind aceste diagrame, se poate determina șirul de perechi de valori maxime a lui ΔF_{ok} și t_k care elimină posibilitatea funcționării în regim instabil a locomotivei la rampa maximă cunoscută și la valoarea optimă adoptată a lui ΔV_k . Din aceste diagrame rezultă că la un $\Delta V_k = \text{const}$, la limita de stabilitate, odată cu mărirea timpului de comutare t_k , valoarea căderii forței de tracțiune în timpul comutării trebuie să fie micșorată. Prin urmare se poate realiza o funcționare stabilă a locomotivei cu un timp de comutare mare dacă forța de tracțiune în acest timp are o valoare corespunzător de mare.

Domeniul de stabilitate se găsește deasupra limitei de stabilitate la valorile adoptate $\Delta V_k = \text{const}$. și $i = \text{const}$.

La valori mici ale forței de tracțiune în timpul comutării (valori mici ale forței relative ΔF_{ok}), mărirea timpului de comutare a transmisiei se poate face numai printr-o creștere însemnată a forței de tracțiune în timpul comutării, astfel încît, căderea de viteză ΔV_k să rămână aceeași.



b)



a)

Fig. 5-6

La valori mari ale forței relative ΔF_{ok} (căderi mici ale forței de tracțiune în timpul comutării) o creștere a lui ΔF_{ok} permite utilizarea unui sistem de umplere și golire care poate asigura stabilitatea transmisiei și cu un timp mare de comutare.

De aici rezultă că pentru a micșora puterea la obodă neutilizată în intervalul vitezelor de comutare (V_i, V_d) cu menținerea unui domeniu larg de stabilitate, este necesar în primul rând să se acționeze în sensul micșorării forței de tracțiune, adică pentru corelarea judicioasă a umplerii și golirii, și numai după ce s-a realizat acest lucru să se acționeze pentru micșorarea timpului de comutare. Aceasta cu atât mai mult cu cât, micșorarea timpului de comutare nu se poate face decât prin mărirea puterii preluată de la motorul diesel pentru sarcinile auxiliare, deci prin micșorarea puterii disponibile a motorului.

Căderea de viteză ΔV_k și deci limita de stabilitate, este influențată de tonajul remorcat numai la valori apropiate de tonajul pentru care $\Delta V_k = 0$ (fig.5-7). La valori mari ale tonajului scăderea de viteză practic rămâne constantă cu creșterea tonajului indiferent de rampa pe care circulă trenul.

La întreruperea totală a fluxului de forță în procesul de comutare ($\Delta F_{ok} = 0; F_{ok} = 0$) modificarea tonajului remorcat influențează limita de stabilitate numai în cazul tonajelor foarte mici (fig.5-8). Cu creșterea valorii relative a forței de tracțiune, variația căderii vitezei în procesul de comutare, se accentuează, însă pentru un timp de comutare $t_k = \text{const.}$ căderea de viteză este cu atât mai mică cu cât ΔF_{ok} este mai mare.

Locomotive LDH-35

$\Delta F_{ok} = 0,4$

— $t_k = 15$

- - - $t_k = 35$

ΔV_k
[km/h]

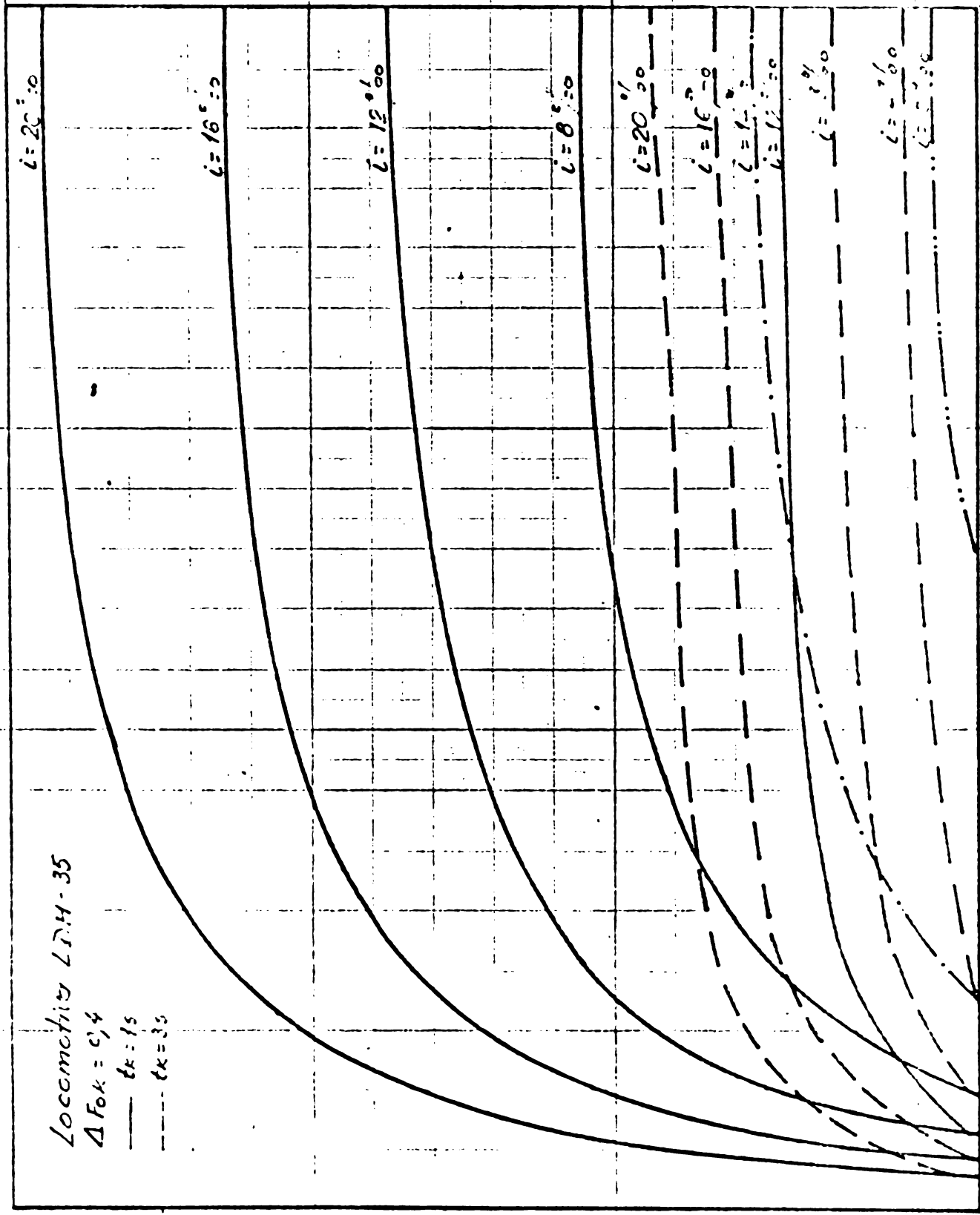
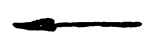


Fig. 5-7a

100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000
Gy [t]

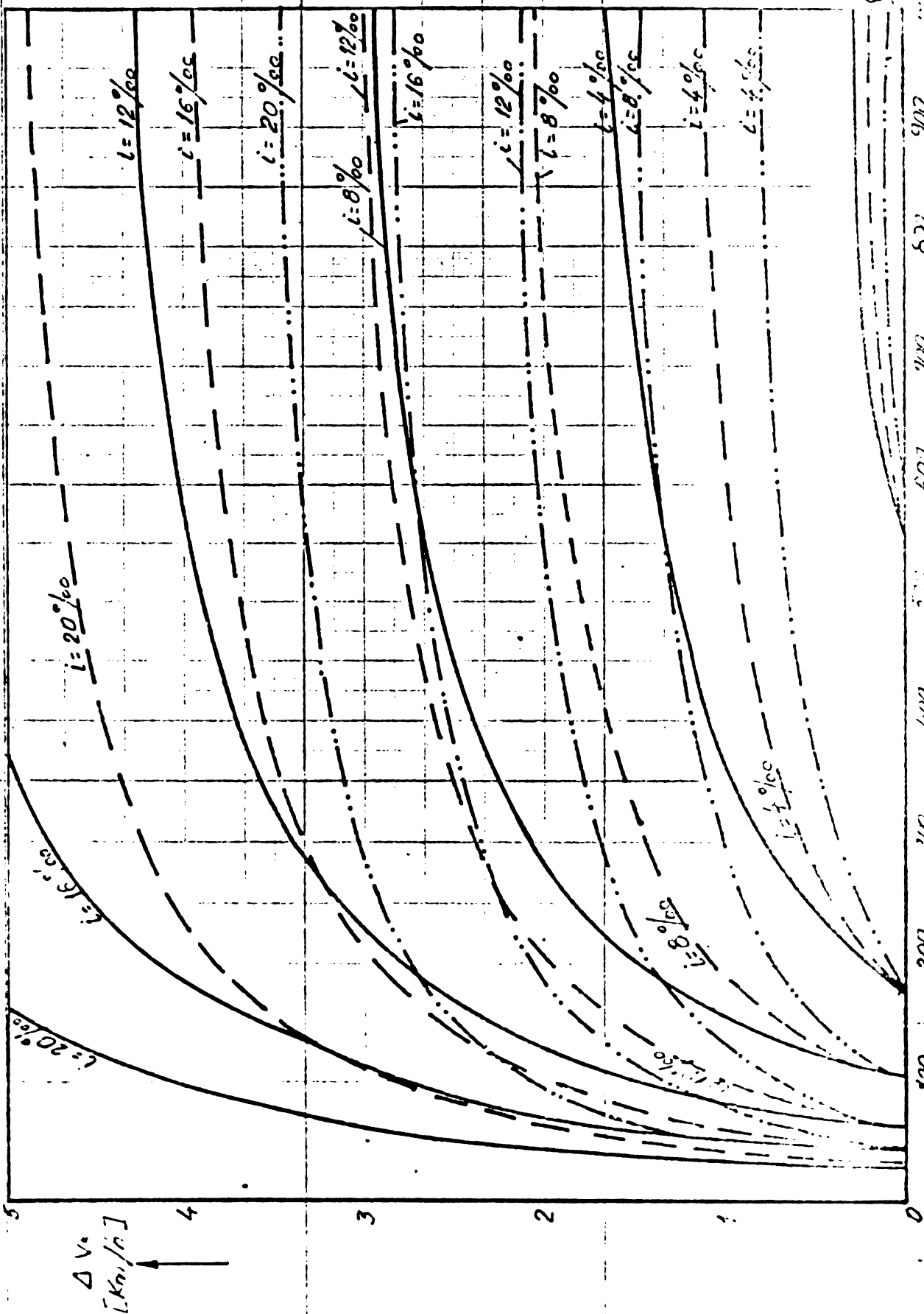
Locomotivo LDH-35

$\Delta f_{ok} = 0,4$

$k = 105$

$k = 95$

$k = 55$



Gv [t]

Fig. 5-7b

Locomotiva LDH-3E

$\Delta F_{\alpha} = 0$
 — $t_k = 3s$
 - - - $t_k = 1s$

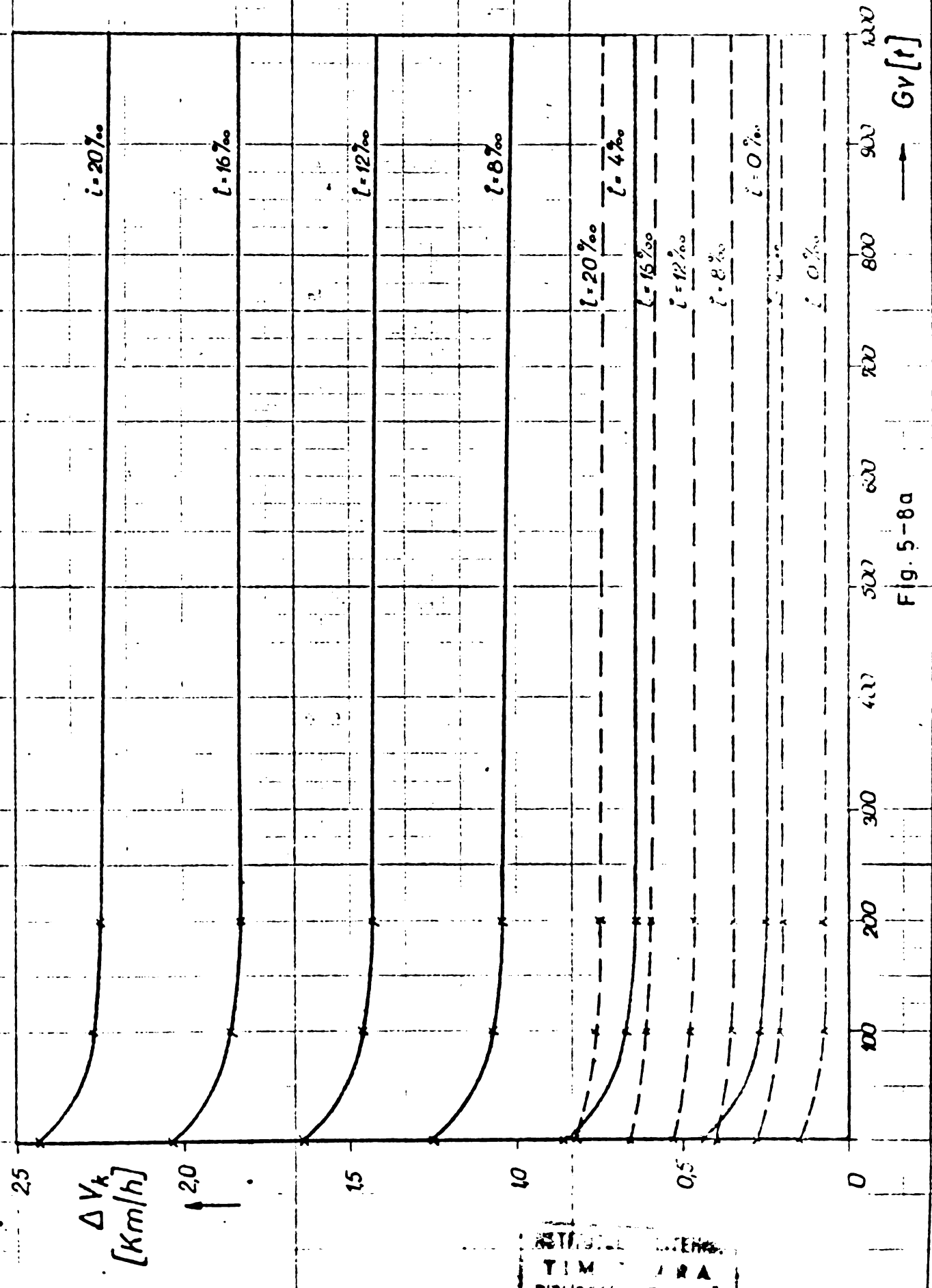


Fig. 5-8a

BIBLIOTECA CENTRALA

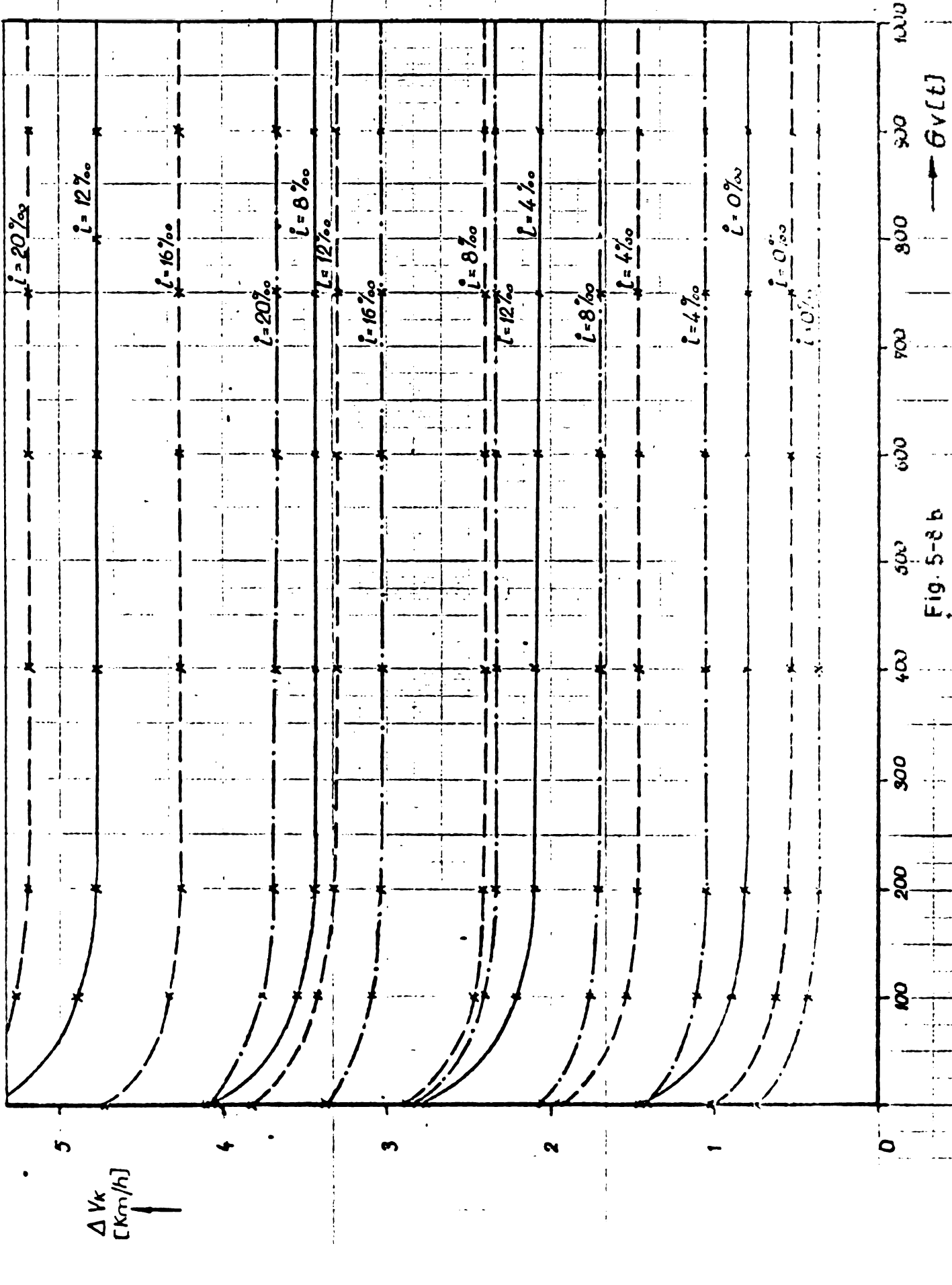
Locomotiva LDH-35

$\Delta F_{ok} = 0$

— $t_k = 10s$

- - - $t_k = 7s$

- · - $t_k = 5s$



→ $S [km]$

Fig. 5-8 b

6. INSTALAȚIA EXPERIMENTALĂ ȘI METODICA DE INCERCARE.

Cercetările experimentale privind determinarea *ppc* -
gramelor de comutare, a căderii forței de tracțiune și a puterii
motorului diesel în timpul comutării la trecerea de pe treapta in-
ferioară de viteze pe treapta superioară (comutarea directă) și
la trecerea de pe treapta superioară pe cea inferioară (comutarea
inversă) au fost executate în Laboratorul de locomotive al Catedrei
de material rulant de la Institutul politehnic din București.

6.1. Descrierea instalației experimentale.

Schema standului pe care au fost executate cercetările
experimentale este arătată în figura 6-1. Standul se compune din
motorul diesel N 538 de 350 CP la turația de 1350 rot/min (1),
transmisia hidraulică TH1 (4), care are în componența sa două
transformatoare hidraulice, și frâna hidraulică (6).

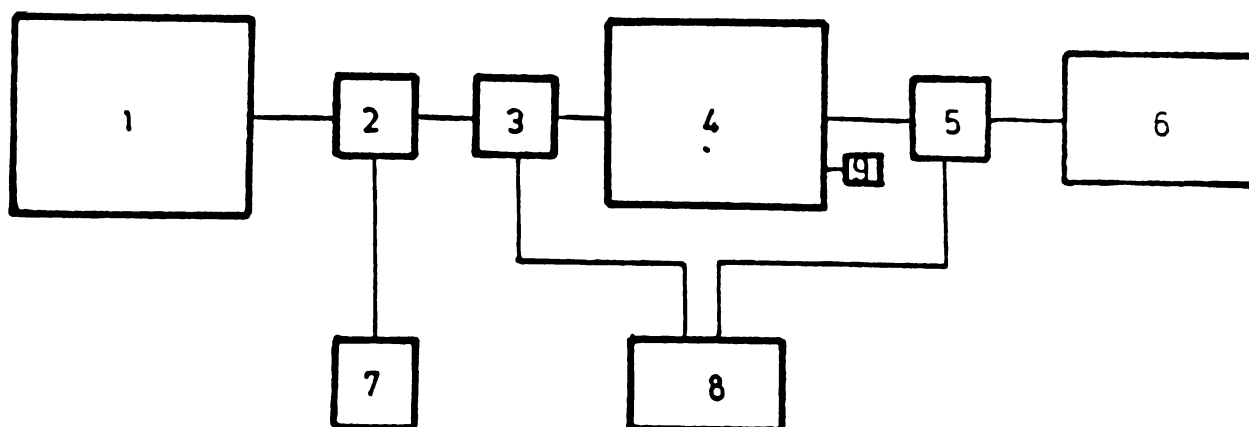


Fig.6-1

O vedere generală a standului este arătată în figurile
6-2 și 6-3.

Instalația pentru măsurătorile efectuate la regimurile
staționare de funcționare a grupului motor diesel - transmisie hi-
draulică, în vederea determinării caracteristicilor de comutare
directă, se compune din instalația electronică tip Malinc de măsurare
a cuplului și turației (poz.2 și 7 din figura 6-1), frâna hi-
draulică (6) și tahogeneratorul (9).



Fig. 6-2

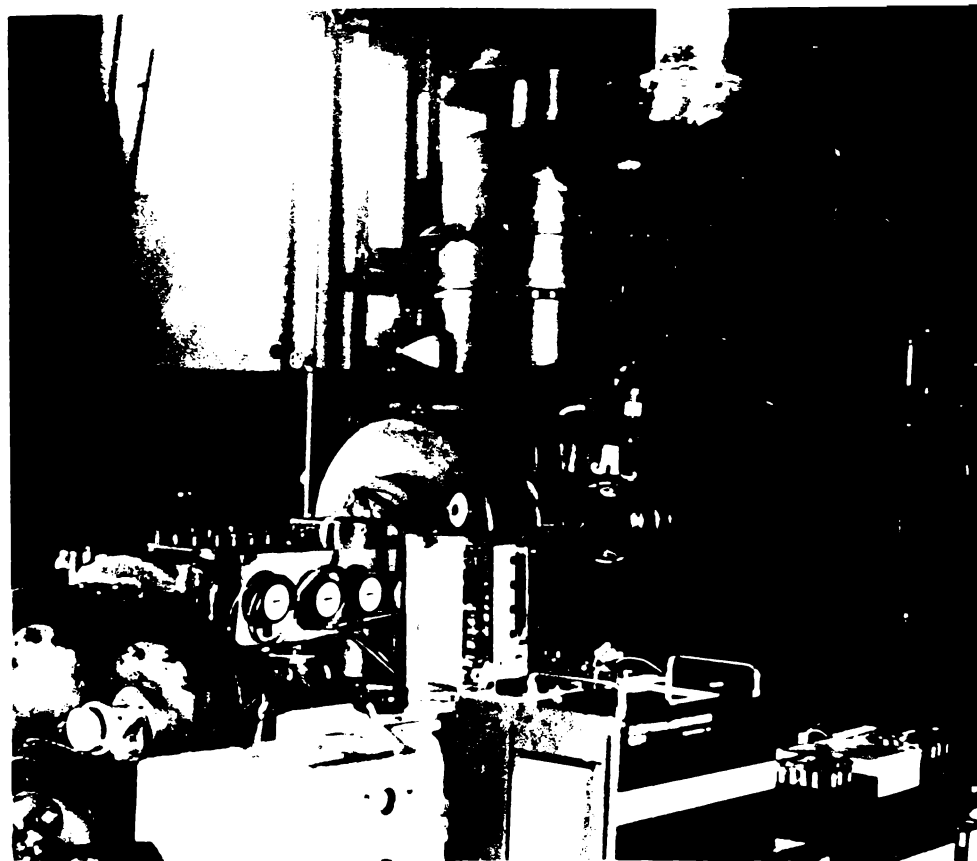


Fig. 6-3

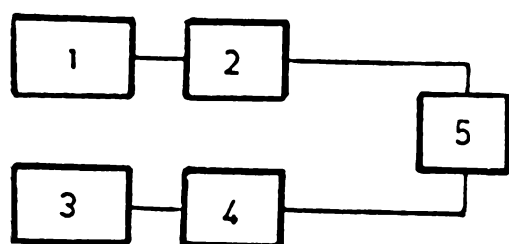
Scheza bloc a instalației electronice tip Meikeo pentru măsurarea cuplului și turației este dată în figura 6-4.

Transductorul 1 montat pe arborele de intrare în transmisia hidraulică se vede în fotografia din figura 6-5.

Pentru determinarea caracteristicilor grupului motor diesel - transmisie hidraulică în procesul de comutare s-a măsurat cuplul și turația la arborele de intrare în transmisia hidraulică (la ieșirea din motorul diesel) și la ieșirea din transmisia hidraulică. Măsurarea cuplului la arborele de intrare în transmisia

hidraulică și cel de ieșire din transmisia hidraulică s-a făcut

cu ajutorul a două instalații electronice de tip Philips (pozițiile 5, 5 și 8 din figura 6-1).



- 1. traductor
- 2. oscilator
- 3. element de comparație
- 4. oscilograf
- 5. osciloscop

Fig. 6-4

Schema bloc a instalației electronice de măsurare a cuplului în regimuri tranzitorii (fig. 6-6) se compune din traductorul 1, circuitul oscilant 2, bobina de emisie 3, bobina de recepție 4, convertorul 5 și divizorul de tensiune 6 și

osciloscopul 7. Traductorul, circuitul oscilant și bobina de emisie formează partea de măsură mobilă (oscilatorul) I care se montează pe arbore. Celelalte elemente formează instalația fixă de măsură II (fig. 6-6).

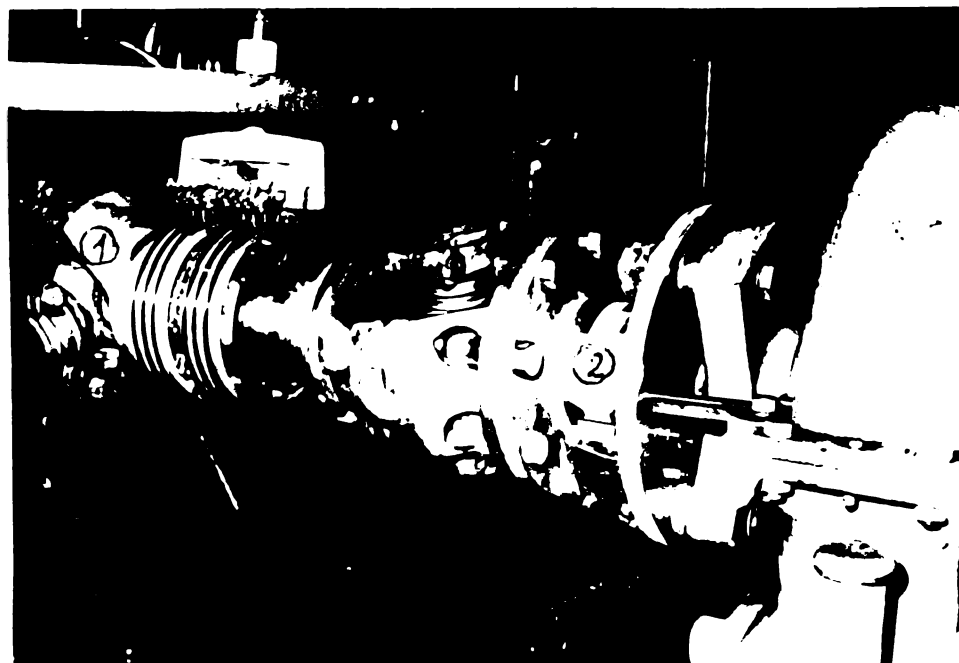


Fig. 6-5

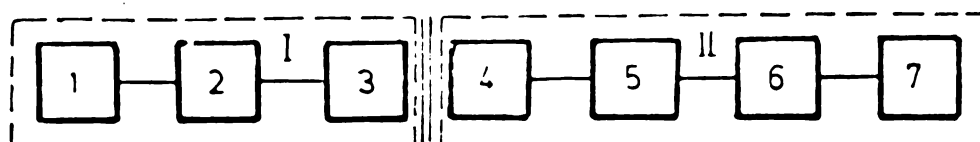


Fig 6-6

- Arborele de intrare în transmisia hidraulică cu oscilatorul montat pe el se vede în fotografia din figura 6-5 (poziția 2), iar în fotografia din figura 6-7 se vede arborele de ieșire din transmisia hidraulică pe care se găsește montat oscilatorul celei de a doua instalații utilizate.



Fig. 6-7

Montajul părții fixe a instalației de măsură este redat în fotografia din figura 6-8.

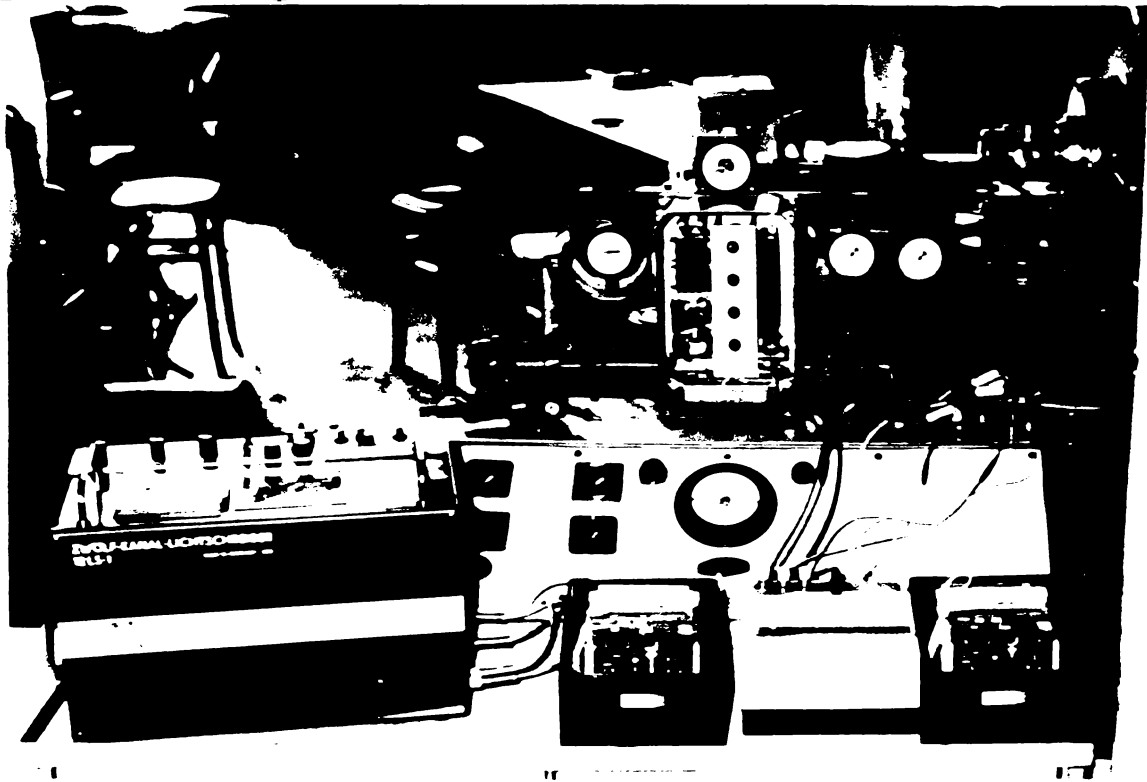
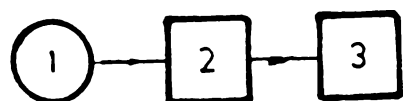


Fig. 6-8

Măsurarea turăției la intrarea și ieșirea din transmisia hidraulică s-a făcut cu aparatura redată în schema bloc din figura 6-9).



1. tahogenerator de curent continuu
2. divizor de televiziune
3. oscilograf

Fig. 6-9

Montajul general al întregii instalații de măsurare este redat în fotografia din figura 6-10.

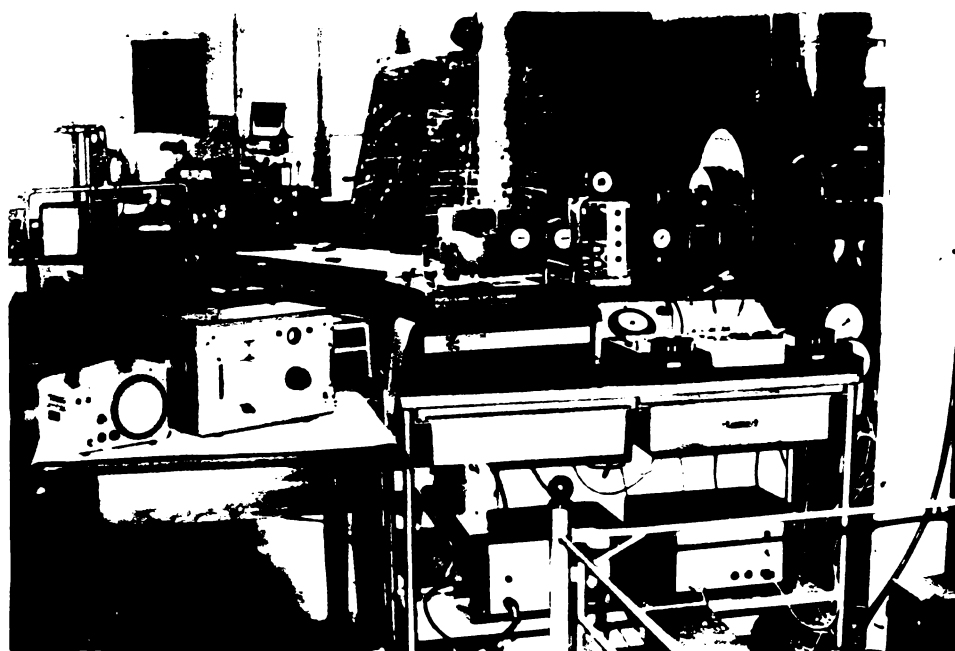


Fig. 6-10

6.2. Metodica de încercare.

6.2.1. Determinarea caracteristicii de comutare directă.

S-a măsurat cuplul și turația la arborele de intrare și ieșire din transmisia hidraulică pentru cinci poziții ale controlerului (cinci sarcini ale motorului).

Pentru fiecare poziție a controlerului s-au determinat cuplurile la intrare C_1 și ieșire C_2 și turația motorului diesel n_2 pentru diferite turații la ieșirea din transmisie (adică pentru diferite viteze ale locomotivei) atât la funcționarea transmisiei pe transformatorul de pornire cât și pe cel de mers.

Cuplul la arborele de intrare s-a determinat cu relația:

$$C = 1,39 \cdot \Delta l_1 + 1,38 \Delta l_2 \quad [\text{dN.m}]$$

unde:

$\Delta l_1 = l_1 - l_{10}$ și $\Delta l_2 = l_2 - l_{20}$ - alungirea corzilor de măsură ale traductorului instalației Maihac;

l_1, l_2 - lungimile corzilor de măsură în starea tensionată a arborelui;

l_{10}, l_{20} - lungimea inițială a corzilor de măsură când arborele este descărcat.

Lungimile l_1, l_2, l_{10} și l_{20} s-au măsurat.

Turațiile n_1 și n_2 s-au citit la turometrul, iar cuplul la ieșire C_2 s-a măsurat cu frâna hidraulică.

Rezultatele măsurărilor sînt date, în valori relative, în figurile 3-3 și 3-5.

6.2.2. Determinarea caracteristicilor grupului motor diesel - transmisie hidraulică în procesul de comutare.

Pentru determinarea programului de comutare și a caracteristicilor de comutare inversă, s-au stabilit caracteristicile grupului motor diesel - transmisie hidraulică în procesul de comutare. S-a înregistrat variația cuplului la arborele de intrare și ieșire din transmisia hidraulică la diferite sarcini ale motorului diesel și diferite turații ale arborelui de ieșire în momentul inițial (la golire) sau final (la umplere) al procesului de comutare.

În aceste condiții s-au ridicat oscilोगrame pentru următoarele faze ale procesului de comutare:

- umplerea transformatorului de pornire;
- golirea transformatorului de pornire;
- umplerea transformatorului de mers;
- golirea transformatorului de mers;
- comutarea de pe treapta inferioară de viteze pe treapta superioară;
- comutarea de pe treapta superioară de viteze pe treapta inferioară.

Rezultatele obținute au fost prezentate în capitolul 4 paragrafele 4.1.2 ... 4.1.4.

Pentru etalonarea instalației Philips s-a folosit metoda dezechilibrului punții din mărci tensometrice cu o rezistență cunoscută montată în paralel pe unul din brațe.

La ridicarea fiecărei oscilogramme s-a fixat inițial sarcina motorului diesel la valoarea aleasă, iar turația de ieșire din transmisia hidraulică s-a fixat prin intermediul pâinii hidraulice. Pentru procesul de umplere fiecare oscilogramă s-a repetat de atâtea ori pînă cînd la sfîrșitul umplerii s-a stabilit turația aleasă la ieșirea din transmisia hidraulică.

Pentru procesul de golire și comutare regimul de funcționare a locomotivei s-a ales pentru diferite valori ale turației la ieșirea din transmisie și diferite sarcini ale motorului diesel în momentul inițial al procesului respectiv.

Pentru fiecare oscilogramă, cu scopul de a înlătura eventualele greșeli, s-au verificat parametrii regimului stabilit citiți pe oscilogramă cu valorile acestor parametrii determinați cu ajutorul instalației Maihac și a aparatului de bord a motorului și transmisiei.

. . .

. . .

. . .

. . .

7. CONCLUZII.

1. Din calculele făcute, care au fost verificate experimental pe stand, a rezultat că funcționarea corectă a locomotivelor diesel cu transmisie hidraulică compusă din transformatoare hidrodinamice de cuplu depinde în mare măsură și de modul de efectuare a comutării treptelor de viteze.

2. Pentru determinarea caracteristicilor optime de comutare la utilizarea cât mai completă a puterii motorului diesel s-au stabilit criteriile definite în paragraful 2.2., caracterizate prin indicii:

- coeficientul de utilizare a puterii motorului diesel

$$\varphi_k = \varphi_{dI} / \varphi_{dII} \text{ (paragraful 2.3.2);}$$

- coeficientul căderii randamentului transmisiei

$$\delta \eta_t = \eta_{thI} / \eta_{thII} \text{ (paragraful 2.3.3) ;}$$

- coeficientul de transmitere a puterii la obadă

$$\gamma_k = \gamma_{oI} / \gamma_{oII} \text{ (paragraful 2.3.4);}$$

- coeficientul căderii forței de tracțiune

$$\delta F_o = F_{oI} / F_{oII} \text{ (paragraful 2.3.4) ;}$$

- coeficientul de stabilitate la comutare

$$S_k = V_1 / V_d = 1 - \Delta V_k / V_d \text{ (paragraful 4.2.1).}$$

3. Valorile optime ale coeficienților de comutare determină programele de comutare :

- din ecuația $\gamma_k - 1 = 0$ rezultă programul de comutare n_{df}/n_{dn} care asigură o schimbare a treptelor de viteze fără căderea forței de tracțiune cauzată de caracteristicile locomotivei;

- din ecuația $\delta \eta_t - 1 = 0$ rezultă programul de comutare n_{dt}/n_{dn} care asigură o comutare fără cădere de randament;

- din coeficientul de stabilitate la comutare rezultă programul de comutare care asigură o comutare stabilă.

4. Deoarece fiecare program de comutare determină o anumită caracteristică de comutare, iar caracteristicile de comutare F_{of}/F_{oi} și $F_{o?}/F_{oi}$ avînd legi de variație diferite [relațiile (3.20), (3.35) și (3.36)], rezultă că nu se poate realiza o comutare la care să se asigure, în același timp o variație continuă atât a forței de tracțiune cât și a randamentului. Din această cauză, alegerea

caracteristicii de comutare trebuie făcută în funcție de destinația și condițiile concrete de exploatare ale tipului dat de locomotivă.

La locomotivele de mare viteză se alege, pentru toate regimurile de funcționare ale motorului diesel, caracteristica de comutare directă $(F_{of}/F_{oi})_d$ care asigură o schimbare a treptelor de viteze fără căderea forței de tracțiune cauzată de caracteristicile locomotivei.

La locomotivele de marfă, destinate liniilor principale, pentru sarcina maximă a motorului diesel și sarcini apropiate de aceasta se alege caracteristica de comutare directă $(F_{of}/F_{oi})_d$, iar pentru sarcini parțiale ale motorului diesel se alege caracteristica de comutare directă $(F_{o7}/F_{oi})_d$ care asigură o variație continuă a randamentului transmisiei.

La locomotivele utilizate în serviciul de manevră sau pe linii secundare se alege aceeași caracteristică de comutare directă ca la locomotivele de marfă destinate liniilor principale.

5. Din caracteristicile transmisiei hidraulice la umplere și golire, ridicate experimental (figurile 4-5...4-8) rezultă că realizarea unei comutări fără căderea forței de tracțiune se poate face practic foarte greu, deoarece la schimbarea sarcinii motorului diesel trebuie modificate și legile de deplasare a sertarului de comandă a distribuitorului din sistemul de umplere și golire. Chiar și la un singur regim de funcționare a motorului diesel, realizarea acestei condiții necesită un sistem de comutare foarte complicat (relațiile 4.12 și 4.15).

6. Viteza de comutare inversă depinde în primul rând de căderea vitezei în timpul comutării, iar pentru o anumită valoare a căderii vitezei depinde de tipul de comutare și de rezistențele de mers (relațiile 4.25 și 4.47). Influența acestor factori este calculată și arătată în diagramele din figurile 5-1...5-8.

7. Cu ajutorul relațiilor (4.25) și (4.46) se determină căderea de viteză ΔV_k care satisface condițiile funcționării stabile a sistemului de comutare automată la anumite condiții externe cunoscute. Posibilitatea reglării pe stand a sistemului pentru valorile stabilite de viteza de comutare inversă, permite reducerea considerabilă a volumului lucrărilor de ajustare, în timpul curselor de probă ale locomotivei.

8. La proiectarea locomotivei se pot determina, prin metoda stabilită, timpul de comutare și căderea forței de tracțiune

care să asigure o funcționare stabilă a locomotivei la comutare și în condițiile utilizării maxime a puterii la obadă.

9. Rezultatele experimentale obținute la încercarea grupului motor diesel M 583 - transmisie hidraulică TH1, au confirmat valabilitatea metodei teoretice stabilită pentru determinarea programului de comutare și a caracteristicilor de comutare.

Principalele contribuții ale autorului la rezolvarea problemei comutării treptelor de viteze sînt:

1. S-au determinat cinci criterii pentru aprecierea procesului de comutare a treptelor de viteze, caracterizate prin:

- coeficientul de utilizare a puterii motorului diesel, în zona de comutare (relațiile 2.2; 2.38...2.41);

- coeficientul căderii randamentului transmisiei la comutare (relațiile 2,7; 2.50...2.52);

- coeficientul de transmitere a puterii la obadă la comutare (relațiile 2.12; 2.53...2.58);

- coeficientul căderii forței de tracțiune la comutare (relația 2.10);

- coeficientul stabilității la comutare (relațiile 2.1 și 4.25).

2. Pentru valorile optime ale coeficienților de comutare s-au stabilit programele de comutare (relațiile 3.2...3.18; 3.22; 3.34; 3.37) pentru obținerea caracteristicilor de comutare care realizează separat fie o variație continuă a forței de tracțiune (relațiile 3.20; 3.27; 3.32; 4.51), fie o variație continuă a randamentului transmisiei (relațiile 3.35; 3.36; 4.51).

3. Pe baza experiențelor efectuate s-au stabilit caracteristicile grupului motor diesel - transmisie hidraulică la umplerea și golirea transformatoarelor hidrodinamice și la comutarea treptelor de viteze (figurile 4-5...4-8 și 4.11).

4. Din programele de comutare, determinate pe baza coeficienților de la punctul 1, s-a stabilit programul optim la comutarea directă și inversă în funcție de condițiile concrete de exploatare ale tipului dat de locomotivă (relațiile 3.52 și 4.56).

5. S-a analizat influența timpului de comutare, a căderii forței de tracțiune și a rezistenței de mers asupra mărimii zonei de stabilitate a procesului de comutare (fig.5-1...5.8). Cu datele stabilite, se pot determina, la proiectarea locomotivei, timpul de comutare și căderea forței de tracțiune care asigură o funcționare stabilă a locomotivei la comutare, în condițiile utilizării maxime a puterii la obadă.

B I B L I O G R A F I E

1. Aleksapoliskii D.Ea. - Hidrodinamiceskie peredaci. Masgiz, 1963.
2. Baškuli E.V. - Ob uciete coefițienta ispolzovanien masșinosti locomotivov v tehnicō-ekonomiceskih rascetaa. Vestnik Vsesoiuzn.naucinō-issled.in-ta j-d transporta, 1974, nr.5.
3. Bărglăzan A, Dobîndă V. - Turbotransmisiile hidraulice. Ed. tehnică București, 1957.
4. Bezicovici I.S. - Calcule aproximative. Ed.Tehnică, 1952.
5. Bîkov E.M. - Optimalinaea prozracinosti gidrotransformatorov pri ih sovместnoi rabote s dvigateleami vnutrennego sgorania. Trudî MIIT Vîp.184, Moskva 1964.
6. Bîkov E.M. - K voprosu sravnitelinoi otenki-gidravlicieskih silovîh ustanavok. Trudî MIIT Vîp.184, Moskva 1964.
7. x x x - Calcule de tracțiune (îndrumător). KITE, București, 1971.
8. David I. - Influența parametrilor grupului motor diesel - transmisie hidraulică - tren asupra procesului de comutare a treptelor de viteze a locomotivelor diesel.CFR 040-DHC. Buletinul ICPTT vol.II - 1975.
9. David I. - Determinarea caracteristicilor de comutare a treptelor de viteze la locomotivele diesel cu transmisie hidraulică. Buletinul ICPTT vol.II - 1975.
10. Falco F, Corazza G. - Tecnica di misura delle oscillazioni torsionali di una sala montata. Ingegneria Ferroviaria nr.10, 1971.
11. Gaebler G.A. - Die hydrodynamische Kraftübertragung in Dieseltriebfahrzeugen der D.B. ETR, nr.3 - 1966.
12. Golovanov S.S. ș.a. - Voprosi povîșeniea nadejnosti gidravlicieskih peredaci promișlennîh teplovozov. Trudî MIIT, vîp.363, Moskva 1971.
13. Golovanov S.S., Skuev V.B. - Osobennosti tecniea rabociei jidkosti v polōsti gidrotransformatora, Trudî MIIT, vîp.363, Moskva 1971.
14. Gordeev A.S. - Voprosi analiza i sinteza gidrodinamiceskih peredaci dieselnîh locomotivov. Trudî MIIT vîp.175, Moskva 1963.

15. Grünwald B. - Teoria, construcția și calculul motoarelor pentru autovehicule rutiere. Ed. didactică și pedagogică, București, 1969.
16. Gurski P.A., Popov G.V. - Rezultati tiagovo-teplotehniceskikh ispitanii teplovoza serii MG-1, Vestnik VNIIT 1958 nr.2.
17. Iusko V.I. - K postroeniiu sistem avtomaticheskogo upravleniia odnocirleatcionnih gidrodinamicheskikh peredaci teplovozov. Trudi MIIT vip.149, Moskva 1962.
18. Iusko V.I. - Despre procesele tranzitorii în transmisiile hidrodinamice cu mai multe circuite de pe locomotive. Trudi MIIT vip.243 Moskva 1967.
19. Jucikov M.G., Puškarev I.F. - Elektricheskie sistemy avtomaticheskogo upravleniia gidromekhanicheskimi peredaciami otecestvennih teplovozov. Biulleteni tehniko-ekonomicheskoi informacii nr.8 (50), Moskva 1960.
20. Kadar I. - Hidrodinamicus erdatvitel körfalyam are meretese. Budapest 1962.
21. Kollor R. - Nouester Stand in der Entwicklung von Dieseldiesel-draulischen Lokomotiven. Eisenbahningenieur 15(1966) nr.11.
22. Kickbusch E. - Föttinger-Kupplungen und Föttinger-Getriebe. Springer Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1963.
23. Kirilov I.S. - Uoversenstvovanie metodov isledovania karakteristik teplovozov s gidravlicheskoj peredace. Vestnik VNIIT 1968 nr.8.
24. Kulicov N.K. - Issledovanie dinamichi i economichi avtomobila. Trudi NAMI, vip.69, 1953.
25. Kulikov N.K. - Opredelenie optimalnih rejimov dvigatelea vnutrennego sgoraniia s gidrotransformatorom. Avtomobilinaia i tractornaia promislennost', 1952 nr.2.
26. Kulikov N.K. - Rasčet gidrodinamicheskikh transformatorov. Sbornik NATI vip.115, Maggiz 1960.
27. Kurzeli I.A. - Rasčet razgona sistem s gidrodinamicheskim transformatorom. Vestnik mashinostroenie 1968 nr.5.
28. Kuzmin G.L. - K voprosi o dinamike gidrotransformatora. Trudi MIIT vip.256, Moskva 1968.
29. Kuzmin G.L. și Gordeev A.S. - Analiticheskii rasčet neprozračinogo gidrotransformatora. Trudi MIIT vip.128. Izdanie dorizdat 1960.

30. Lapidus V.I., Petrov V.A. - Gidromekhanicheskieperedaci avtomobilei. Maşgiz Moskva, 1961.
31. Laptev I.N. - Avtotractornîe adnostupenciatiñe gidrodinamicheskie transformatorî. Maşgiz, Moskva 1965.
32. Lippl E. - Die Entwicklung der hydraulischen Getriebe bei Dieseltriebfahrzeugen. Eisenbahningenieur, 17(1966), nr.2.
33. Lippl E. - Rangiermotorlokomotiven. ETR nr.5, 1967.
34. Messerschmidt W. - Dieselelektrische und dieselhydraulische Streckenlokomotiven in Italien. ETR nr.1/2, 1967.
35. Muntean G. - Calculul tracţiunii trenurilor şi frâne automate. Ed.didactică şi pedagogică Bucureştim 1964.
36. Muntean G. - Tracţiunea trenurilor şi exploatarea materialului rulant. Litografia IPT, Timişoara, 1973.
37. Narbut A.N. - Hidrotransformatorî. Maşinostroenie Moskva 1966
38. Nichita Gh. - Contribuţii la studiul funcţionării în comun a grupului motor diesel - cuplaj hidraulic - cutia de viteză şi vehicul de cale ferată. Teză de doctorat. I.P. Bucureşti, 1972.
39. Popa Al, Chimu B, Neagul Al. - Tracţiunea trenurilor. Ed.didactică şi pedagogică Bucureşti, 1965.
40. Popa Al. - Comanda şi reglarea automată a vehiculelor de tracţiune feroviară. Centrul de documentare şi publicaţii tehnice - MTTc, 1974.
41. Popov G.V. - O rascete ustroystv avtomatiki perekliucheniya teplovozîh gidroperedaci. "Vestnik Vsesoiuznogo naucnoissledovateliskogo instituta j.d.transporta", 1961 nr.8.
42. Popov G.V. - Traits caractéristiques du fonctionnement conjugué du moteur diesel et de la transmission hydraulique. Rail International, Juin 1972.
43. Popov G.V. - Issledovanie kontrobojnogo perekliucheniya sistemî avtomaticheskogo upravleniya stupeniadi skorosti gidravlicheskihperedaci. Trudî VNIIT vip.254, Moskva 1963.
44. Puşkarev I.F. - Uravnenia dvijeneya sistemî avtomaticheskogo upravleneya gidromekhanicheskoiperedacei teplovoza. Trudî LIIJT vip.176, Leningrad 1961.
45. Prokofiev V.N. - O harakteristicieskih stvoistvakh gidrodinamicheskikh transformatorov. Trudî KVTU 18. Maşgiz, 1955.

46. Puşcarev I.F. - Eksperimentalnoe issledovanie elektriceskoi sistemî avtomaticeskogo upravleniia gidroperedacei teplovoza. Trudî LIIJT vip.179, 1960.
47. Puşcarev I.F. - Graficeskoe opredelenie ustoicivosti sistemî avtomaticeskogo upravleniia gidromehaničeskoj peredacii teplovoza. Trudî LIIJT vip.184, 1962.
48. Saburov F.F. - Osnovnie upravleniia dinamiki perecliuceniia stupeniı skorosti v mongotirculeačionnîh gidroperedaceah teplovozov. Trudî LIIJT vip.232, Leningrad 1964.
49. Sauer K.H. - Eine neue Baureihe dieselhydraulischer Henschel-Lokomotiven. Glasers Annalen, nr.11 - 1966.
50. Segal L. - ContribuŃii la studiul dinamicii sistemelor de comandă Ńi reglare automată a locomotivelor diesel-electrice, la funcŃionarea cu economicitate optimă a motorului diesel. Teză de doctorat. I.P.Bucureşti, 1970.
51. Semiciastnov I.F. - Gidravlicheskie peredaci teplovozov. M. Maşgiz, 1961.
52. Semiciastnov I.F., Golovanov S.S. - Vîbor gidrotransformatorov i gidromuft dlea gidroperedaci teplovoz. Iz. Maşinostroenie, Moskva 1965.
53. Stepanov A.D. - Avtomaticeskoe regulirovanie maşcinosti v teplovozah i gazoturbovozah. Moskva. Maşinostroenie, 1964.
54. Taran T. - InfluenŃa comutării transmisiei asupra caracteristicilor de tracŃiune ale locomotivei diesel-hidraulice. Revista Căilor Ferate nr.11/1967.
55. Taran T. - ContribuŃii la studiul influenŃei temperaturii lichidului de lucru al transmisiei cu transformator hidraulic de cuplu asupra caracteristicilor de tracŃiune ale locomotivei diesel-hidraulice. Teză de doctorat. I.P.Bucureşti, 1974.
56. Tolkacev A.V. - O cislennom metode reşeniia upravleniia dvije-niia poezda. Vestnik VNIIT, 1972 nr.7.
57. Usmanov X.G. - Structuri sintez sistemî avtomatiki perekliuceniia teplovoznoj gidromehaničeskoj peredaci. Trudî MIIT vip.257, Moskva 1968.
58. Usmanov X.G. - C rascietu Ńentrobejnogo şarikovogo perekliuciatelea. Izvestiia vuzov MVO. Maşinostroenie 1968, nr.9.
59. Usmanov X.G. - Avtomatika perekliuceniia teplovoza na strui-nih elementah. Izvestiia vuzov MVO. Maşinostroenie 1968, nr.2.

60. Varga I. - Vasuti Diesel-vontatójárművek mechanikus és hidrodinamikus hajtása. Budapest, Tankönyvkiadó, 1964.
61. Volodin A.I, Fofanov G.A. - Rejimî stendovîh ispîtanii teplovoznîh dizelei. Vestnik VIIJT nr.8/1960.
62. Volodin A.I. - Ob ekonomičnosti teplovoznîh dizelei v okspluataĭii. Vestnik VNIIJT nr.3/1959.
63. Vanseidt V.A. - Motoare diesel. Ed.Tehnică București 1959.
64. Völker H. - Relative Fahrkennlinien für Schienenfahrzeuge mit hydrodynamischer Kraftübertragung. Glasers Annalen 91(1967) nr.11.
65. Vonogradov O.G. - Rascet perehodnîh rejimov rabotî teplovoza s gidroperedacei. Vestnik Vsesoiuzn.naucin.-issled. in-ta j-d transporta nr.6/1966.
66. Zăgănescu I. - Locomotive și automotoare cu motoare termice. Ed.didactică și pedagogică, București 1972.
67. Zăgănescu I, Popa Al, Taran T. - Transmisii hidraulice utilizate pe locomotivele diesel. Ministerul Transporturilor București 1970.
68. Zăgănescu I. - Stand de încercat locomotive diesel de cale îngustă. Revista Căilor Ferate nr.9/1959.
69. Zăgănescu I, David I. ș.a. - Stabilirea legii de variație a curentului de excitație independentă a generatorului locomotivei diesel-electrice la funcționarea motorului diesel după o caracteristică de consum optim de combustibil. Buletinul științific și tehnic I.P.T. Tom 14(28), 1969.
70. Zăgănescu I, David I. - Studiul variației caracteristicilor de tracțiune ale locomotivelor diesel-hidraulice la comutarea treptelor de viteze. Comunicare la Sesiunea științifică a I.P.Iași, 1966.
71. Zeilke G. - Über den Bigriff der mittleren Auslastung der Dieselmotoren bei der Zugfärderung. EPR nr.1-2, 1966.
72. Webs A. - Reglajul admisiei și turației la motoarele diesel în funcție de sistemul transmisiei vehiculului. Der Eisenbahnen 12/1952 nr.2.
73. Wolf M. - Strömungskupplungen und Strömungswandler. Springer Verlag. Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1962.
74. Worthing A.G. ș.a. - Prelucrarea datelor experimentale. Ed. tehnică, București - 1959.

75. x x x - Instrucția de exploatare a locomotivelor diesel-
-hidraulice de 350 CP. Uzinele "23 August" București.

C U P R I N S

Introducere.	I
Notații utilizate.	1
1. <u>Comutarea treptelor de viteze la locomotivele diesel-hidraulice.</u>	3
1.1. Treptele de viteze la locomotivele diesel-hidraulice.	3
1.2. Comutarea treptelor de viteze.	4
1.3. Comanda comutării treptelor de viteze.	5
1.3.1. Caracteristicile de comutare.	5
1.3.2. Programul de comutare.	9
2. <u>Criterii pentru determinarea caracteristicilor de comutare.</u>	10
2.1. Importanța stabilirii criteriilor de comutare. ...	10
2.2. Stabilirea criteriilor de comutare.	13
2.2.1. Coeficientul de utilizare a puterii motorului diesel.	13
2.2.2. Coeficientul căderii randamentului transmisiei.	14
2.2.3. Coeficientul de transmitere a puterii la obada roții motoare.	17
2.2.4. Coeficientul de comutare.	21
2.3. Determinarea criteriilor de comutare.	24
2.3.1. Determinarea transparenței transformatoarelor hidraulice.	24
2.3.2. Calculul coeficientului de utilizare a puterii motorului diesel.	27
2.3.3. Calculul coeficientului căderii randamentului transmisiei la comutare.	36
2.3.4. Calculul coeficientului de transmitere a puterii la obadă.	39
3. <u>Determinarea caracteristicilor de comutare.</u>	41
3.1. Funcționarea transmisiei la comutare în condiții de utilizare maximă a forței de tracțiune.	41

3.1.1. Transmisia hidraulică compusă din transformatoare transparente.	41
3.1.2. Transmisia hidraulică compusă din transformatoare netransparente.	48
3.2. Funcționarea transmisiei la comutare în condiții de economicitate optimă.	52
3.2.1. Transmisia hidraulică compusă din transformatoare transparente.	52
3.2.2. Transmisia hidraulică compusă din transformatoare netransparente.	55
3.3. Funcționarea în comun a motorului diesel cu transmisia hidraulică la comutarea treptelor de viteze...	57
3.3.1. Caracteristicile motorului diesel și ale transmisiei hidraulice.	57
3.3.2. Funcționarea în comun a motorului diesel cu transmisia hidraulică.	61
3.3.3. Determinarea caracteristicilor de comutare la utilizarea integrală a forței de tracțiune...	62
3.3.4. Determinarea caracteristicilor de comutare la randament optim.	68
3.3.5. Alegerea caracteristicii de comutare la creșterea vitezei locomotivei.	74
4. <u>Comutarea inversă</u>	76
4.1. Variația forței de tracțiune în procesul de comutare.	76
4.1.1. Analiza procesului de comutare.	76
4.1.2. Procesul de umplere a transformatoarelor hidraulice.	81
4.1.3. Procesul de golire a transformatoarelor hidraulice.	87
4.1.4. Comutarea de la treapta I la treapta II.	89
4.1.5. Stabilirea legii de comutare care asigură forță de tracțiune constantă în procesul de comutare.	93
4.2. Variația vitezei de mers în procesul de comutare. ..	97
4.2.1. Determinarea căderii de viteză în funcție de regimul de circulație.	97

4.2.2. Determinarea căderii de viteză în funcție de parametrii sistemului automat de comutare.	101
4.2.3. Determinarea caracteristicii de comutare inversă.	111
4.3. Funcționarea în comun a grupului motor diesel - transmisie hidraulică - tren la comutarea inversă a treptelor de viteze pentru locomotiva diesel-hidraulică de 350 CP.	114
4.3.1. Determinarea caracteristicii de comutare inversă în cazul utilizării integrale a forței de tracțiune la comutarea directă...	114
4.3.2. Determinarea caracteristicii de comutare inversă în cazul asigurării unui randament optim la comutarea directă.	117
4.3.3. Determinarea caracteristicii de comutare inversă, pe baza condițiilor de exploatare a locomotivei.	118
5. <u>Stabilitatea procesului de comutare.</u>	121
5.1. Domeniul de stabilitate a procesului de comutare..	121
5.2. Influența timpului de comutare, a căderii forței de tracțiune, a profilului liniei și a tonajului remorcat asupra stabilității procesului de comutare.	127
5.2.1. Influența timpului de comutare.	127
5.2.2. Influența profilului liniei.	132
5.2.3. Influența căderii forței de tracțiune.	138
6. <u>Instalația experimentală și metodica de încercare.</u>	145
6.1. Descrierea instalației experimentale.	145
6.2. Metodica de încercare.	149
6.2.1. Determinarea caracteristicii de comutare directă.	149
6.2.2. Determinarea caracteristicilor grupului motor diesel - transmisie hidraulică în procesul de comutare.	150
7. <u>Concluzii.</u>	152
Bibliografie.	155