

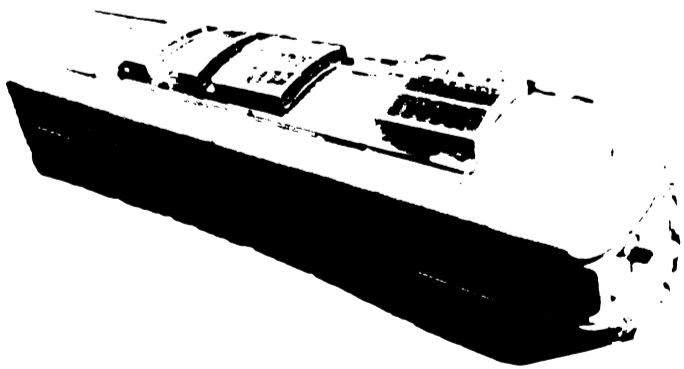
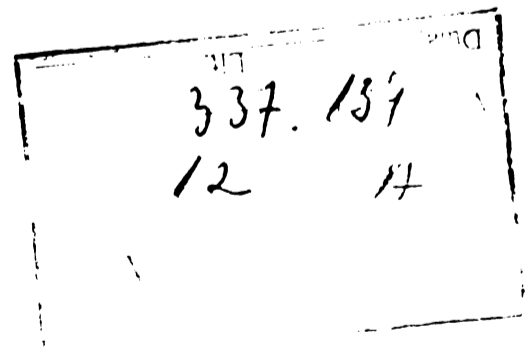
MINISTERUL EDUCATIEI SI INVATAMINTULUI  
INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA" DIN TIMISOARA  
FACULTATEA DE ELECTROTEHNICA

ing.Irina Burdubuş

FRINAREA ELECTRODINAMICA A LOCOMOTIVELOR DIESEL - O NOUA  
METODA DE MODIFICARE A FORTEI DE FRINARE.  
APLICATIE LA LOCOMOTIVA DIESEL ELECTRICA Co-Co 2100 C.P.

- TEZA DE DOCTORAT -

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA  
"POLITEHNICA" TIMIŞOARA



Conducător științific,  
prof.dr.ing.Toma Dordea

- 1977 -

## C U P R I N S

	pag.
INTRODUCERE	1
1. PREZENTARE GENERALA A PROBLEMEI	
1.1. Traficul feroviar. Tendinte actuale de dezvoltare.	5
1.2. Probleme ale traficului feroviar la viteze mari. FRINAREA	6
2. FRINAREA TRENURILOR	
2.1. Noțiuni generale	11
2.2. Forța de frînare la obadă	11
2.3. Forța de frînare a trenului	12
3. TEORIA FRINARII ELECTRODINAMICE REOSTATICE	
3.1. Generalități privind frînarea electrodinamică	14
3.2. Caracteristicile frînării electrodinamice	15
3.3. Frînarea electrodinamică reostatică a motoarelor serie de c.c.	17
3.3.1. Frînarea reostatică cu excitație serie	17
3.3.2. Frînarea reostatică cu excitație separată	19
3.3.3. Frînarea electrodinamică reostatică cu excitație separată și rezistență de stabilizare	24
3.3.4. Frînarea electrodinamică reostatică cu excitație separată și excitatoare compundată	25
4. DOTAREA LOCOMOTIVELOR DIESEL ELECTRICE CU FRINA ELECTRODINAMICA REOSTATICA	
4.1. Generalități privind locomotivele diesel electrice	27
4.2. Avantajele dotării cu frână electrodinamică reostatică a locomotivelor diesel	31
4.3. Puterea frânei electrodinamice a locomotivelor diesel	33
4.4. Amplasarea utilajului de frînare electrodinamică pe locomotivă	34

.//.

## II

4.5. Evoluția frânei electrodinamice în tracțiune diesel	35
4.6. Locomotive diesel moderne cu frână electrodinamică reostatică	42
4.6.1. Locomotive de manevră Transmisie c.c. - c.c.	42
4.6.2. Locomotive de linie Transmisie c.c. - c.c.	45
4.6.3. Locomotive cu transmisie c.a. - c.c.	48
4.6.4. Locomotive cu transmisie c.a. - c.a.	51
4.7. Frâna electrodinamică reostatică la locomotive diesel fabricate în RSR	52
5. CONCLUZII PRIVIND DOTAREA LDE CU FRINA ELECTRODINAMICA	55
6. O NOUA METODA DE MODIFICARE A FORTEI DE FRINARE ELECTRODINAMICA LA LDE CU TRANSMISIE c.c. - c.c.	
6.1. Soluția teoretică propusă	59
6.1.1. Schema de frinare electrodinamică și principiul de modificare a forței de frinare	59
6.1.2. Determinarea relației de bază pentru stabilirea treptelor de modificare a fluxului	61
6.1.3. Stabilirea numărului de trepte de frinare electrodinamică	63
6.1.3.1. Metodă grafică de determinare a treptelor de excitație	64
6.2. Verificarea pe stand a generatorului principal	66
6.2.1. Determinarea t.e.m. induse de câmpul remanent	66
6.3. Experimentarea pe locomotivă a "Metodei slăbirii de câmp" pentru modificarea forței de frinare	67

././.

### III

6.3.1. Frâna electrodinamică reostatică de cca. 300 kW.	67
6.3.1.1. Caracteristica de frînare $F_f = f(v)$	68
6.3.1.2. Protecția	71
6.3.1.3. Construcția	71
6.3.1.4. Rezultatele experimentărilor	74
6.3.2. Frâna electrodinamică de cca.1000 kW.	75
6.3.2.1. Datele tehnice ale frânei	76
6.3.2.2. Determinarea treptelor de excitație	77
6.3.2.3. Caracteristica de frînare	81
6.3.2.4. Construcția	83
6.3.2.5. Rezultatele experimentărilor	84
6.3.2.6. Greutatea echipamentului de frînare	86
6.4. CONCLUZII	87
7. REGIMUL TRANZITORIU AL FRINARII ELECTRODINAMICE LA MODIFICAREA SECVENTIALA A CURENTULUI DE EXCITATIE, PRIN METODA SLABIRII DE CIMP IN TREPTE.	
7.1. Ecuațiile regimului tranzitoriu	88
7.2. Studiul sistemului	91
7.2.1. Determinarea răspunsului în domeniul timp	91
7.2.1.1. Integrarea sistemului de ecuații (7.2 + 7.9) prin metoda Runge Kutta	92
7.2.1.2. Determinarea analitică a soluțiilor sistemului de ecuații (7.9)	95
7.3. Aplicația calculului regimului tranzitoriu pentru elementele transmisiei electrice a LDE 1540 kW.(2100 CP)	96
7.3.1. Determinarea inductivității mașinilor electrice	96
7.3.2. Rezolvarea pe calculator numeric (Metoda Runge Kutta)	97
7.3.3. Performanțele sistemului	104

././.

## IV

7.3.3.1. Determinarea mărimilor ca- racteristice pt. $I_3-i_3(t)$	104
7.3.3.2. Determinarea mărimilor ca- racteristice pt. $I_4-i_4(t)$	105
7.3.3.3. Determinarea mărimilor ca- racteristice pt. $I_5-i_5(t)$	105
7.3.4. Determinarea soluțiilor analitice ale sistemului	105
7.4. Compararea rezultatelor obținute teoretic cu cele experimentale	112
8. CONCLUZII FINALE	119
9. ANEXE	122
Anexa I - Generator tip GCE 1100/10 Caracteristici principale	123
Anexa II - Motor de tracțiune tip GDTM 533 Caracteristici principale	124
Anexa III - Calculul curenților de excitație ai motoarelor de tracțiune în re- gim de frânare la LDE 236.	125
Anexa IV - Calculul caracteristicii de frâna- re $F_f=f(v)$ la LDE 236	129
Anexa V - Fotografii ale modificărilor în mon- tajul LDE 236 pentru integrarea în construcție a frânei electrice	131
Anexa VI - Proces verbal de recepție LDE 236 - frână reostatică	135
Desen L1-758 - Frâna electrodinamică LDE 2100 CP.- forță, comandă și reglaj	136
Borderou L1-160/R <sub>5</sub> - Ans.gen.inst.electrică. Centralizator borderouri Ans.general inst.LDE 2100 CP. cu frânare reostatică	138
10. BIBLIOGRAFIE	139

## I N T R O D U C E R E

Cresterea continuă a traficului feroviar, cu cerințe sporite privind viteza de circulație și greutate a trenurilor, concomitent cu realizarea de componente fiabile, solicită proiectanții și constructorii de vehicule motoare la adoptarea și realizarea unor soluții tehnice corespunzătoare.

Vitezele mari de circulație, impun mijloace suplimentare pentru realizarea frînării trenurilor pe pante lungi la viteze mari (frâne de menținere), sau încetinirea mișcării trenului într-un timp scurt (frâne de încetinire), pentru diferite scopuri.

Prin eficacitatea sa la viteze mari, frâna electrodinamică s-a impus atenției beneficiarilor de locomotive. Utilizarea ei pe locomotive diesel are un caracter mai restrâns, dat fiind complicațiile pe care le introduc alimentarea excitației motoarelor de tracțiune în regim de frânare, precum și mijloacele nespecifice pentru modificarea forței de frânare - la cea mai mare parte a locomotivelor diesel electrice existente.

Folosirea frînării electrodinamice și la locomotivele diesel este însă în momentul de față foarte actuală, dacă se are în vedere chiar și numai avantajul de a economisi o mare cantitate de sașoți, deci o mare cantitate de metal.

Directivele Congresului al XI-lea al P.C.R. prevăd printre obiectivele fundamentale ale etapei următoare de dezvoltare a României Socialiste, crearea unui sistem unitar al transporturilor, în care transportul pe calea ferată va deține ponderea principală.

Ținând seama de avantajele frînării electrodinamice la locomotivele diesel și de faptul că în momentul de față Calea Ferată Română are în dotare peste 1500 locomotive diesel electrice, se poate avea în vedere modernizarea acestora la reparații, prin montarea frânei electrice. Acest lucru este în concordanță cu indicațiile conducerii superioare de partid și de stat, prin care se transmit unităților socialiste sarcini de sporire a eficienței economice cu reduceri substanțiale de consum de metal.

.//.

Ca urmare a celor de mai sus, prezenta lucrare și-a propus o documentare oarecum exhaustivă, căutînd să prezinte pe această bază o teorie unitară pentru frînarea electrodinamică a locomotivelor diesel electrice, precum și metodele cunoscute pentru modificarea forței de frînare. În context se prezintă o nouă metodă de modificare a forței de frînare experimentată pe locomotiva diesel electrică Co-Co 1540 kW. (2100 CP).

În capitolul 1 se prezintă problema traficului feroviar la viteze mari cu implicațiile care conduc la măsuri suplimentare pentru frînarea trenurilor.

Capitolul 2 prezintă sumar noțiuni de frînare a trenurilor, necesare pentru calculul unei frîne electrodinamice.

Capitolul 3 reunește într-o formă sintetică și unitară teoria frînării electrodinamice a motorului de tracțiune evidențiindu-se modul de acționare în vederea obținerii unei forțe de frînare reglabile.

În capitolul 4 se prezintă pentru prima oară în literatura de specialitate o cercetare documentară amplă asupra dotării locomotivelor diesel-electrice cu frînă electrodinamică reostatică. Cercetarea reunește realizările de început cu cele care au evoluat odată cu modernizarea transmisiilor locomotivelor diesel electrice.

Capitolul 5 are ca scop de a pune în evidență metoda propusă pentru modificarea forței de frînare la locomotivele diesel electrice cu transmisie c.c. - c.c., ca fiind cea mai simplă și economică.

Capitolul 6 prezintă noua metodă de modificare a forței de frînare electrodinamică la locomotivele diesel, pornindu-se de la ideea că un generator cu caracteristică concavă la tensiune de comandă a excitației constantă și autoreglează tensiunea la borne odată cu variația sarcinii.

Se stabilesc relații analitice și metode grafice pentru determinarea curenților de excitație ai motoarelor de tracțiune în regim de frînare.

././.

Se prezintă experimentările care au verificat regimul staționar al metodei propuse. Pentru experimentare s-au folosit mașinile electrice ale transmisiei LDE 1540 kW. (2100 CP)

Se prezintă frâna electrodinamică experimentală montată pe o grupă de motoare (LDE 136) care a avut ca scop să verifice stabilitatea sistemului de mașini electrice ale transmisiei precum și soluția de dimensionare și montare (răcire) a rezistorului de frânare.

Se prezintă frâna electrodinamică de 1000 kW. (LDE 286) executată pentru prima oară în țară și care a fost proiectată integral după concepția proprie a autorului acestei lucrări.

Probele efectuate, precum și utilizarea actuală a frânei, au confirmat valabilitatea metodei de modificare a forței de frânare propuse, precum și utilitatea dotării locomotivei diesel electrice cu o frână electrodinamică. Soluția de montaj aleasă la LDE 1540 kW. (2100 CP) pentru echipamentul de frânare - minim datorită metodei de modificare a forței de frânare - este de natură a face posibilă oricând - cu minimum de modificări, montarea la reparații a unei frâne de cca. 1500 kW.

În momentul de față LDE 286, echipată cu o frână electrodinamică de 1000 kW., se află în dotarea Depoului Craiova care folosește această frână la încetinire înainte de intrare în stații.

În capitolul 7 se stabilește sistemul de ecuații al regimului tranzitoriu electromagnetic al grupului de mașini electrice ce participă la procesul de frânare electrodinamică.

Prin metode de investigare moderne se face studiul teoretic al regimului tranzitoriu și se compară rezultatele obținute teoretic cu cele înregistrate practic.

Se prezintă comparativ înregistrările regimului tranzitoriu electromagnetic de frânare electrodinamică, făcute pe LDE 286 la modificarea forței de frânare prin metoda propusă și cele obținute prin reglarea în același scop, a excitației separate a generatorului principal cu ajutorul unui regulator electronic executat de I.C.P.E. București și experimentat pe această locomotivă. Rezultatele obținute sînt aproximativ identice ceea ce revine în sprijinul metodei propuse.



Capitolul 8 concluzionează asupra întregii lucrări sesizând următoarele aspecte:

- valabilitatea ipotezelor care au stat la baza soluției pentru modificarea forței de frînare,
- reușita realizării practice a frânei electrodinamice de 1000 kW. pe LDE 286 - realizare pentru prima dată în țară,
- caracterul aplicativ în industrie,
- tratarea teoretică completă a regimului staționar și tranzitoriu al frînării prin transmisie la locomotivele diesel cu transmisie c.c. - c.c.,
- efectele economice posibile a se realiza prin generalizarea soluției propuse pentru locomotivele diesel electrice de 1540 kW. (2100 CP) din parcul CFR.

\*

\*

\*

## 1. PREZENTAREA GENERALA A PROBLEMEI

### 1.1. Traficul feroviar. Tendințe actuale de dezvoltare

Antrenată în procesul intens de dezvoltare științifică și tehnico-materială, care caracterizează toate domeniile de activitate ale societății moderne, majoritatea administrațiilor de cale ferată din lume, se preocupă de crearea condițiilor pentru realizarea cerințelor actuale ale transportului feroviar[1]- Aceste cerințe se concretizează prin sporirea în ritm accelerat a capacităților de transport, în condiții depline de siguranță și confort, la un preț de cost minim.

Intrucât sporirea lungimii trenurilor nu este posibilă peste o anumită limită, determinată de lungimea liniilor de garare din stații, iar creșterea tonajelor vagoanelor este și ea limitată de sarcina maximă pe osie admisă de cale [ 2 ] cerințele traficului feroviar modern se urmăresc a fi îndeplinite prin:

- modernizarea structurii tracțiunii (locomotive, vagoane, rame, etc.)

- sporirea capacităților de putere, care atrage după sine sporirea tonajelor remorcate. (Creșterea puterii instalate în locomotive: 2940 kW și 4400 kW în perspectivă)

- sporirea vitezelor de circulație (conturate încă de la sfârșitul anului 1971 la: 120 km/h pentru trenuri de marfă obisnuite, 160 km/h pentru trenuri accelerate și 200 km/h pentru trenuri rapide)

- modernizarea liniilor actuale de cale ferată, pentru a suporta regimurile dinamice grele, determinate de sporirea sarcinii pe osie și a vitezei de circulație (micșorarea distanțelor între traverse, mărirea razelor de curbură, etc.)

- extinderea automatizării sub aspecte multiple

- realizarea unor mijloace suplimentare de siguranță în mers a întregului ansamblu de tracțiune (instalații suplimentare de frânare, instalații de control automat al mersului, etc.)

- studii și cercetări în diferite ramuri ale tracțiunii (sisteme moderne de tracțiune și frînare, studiul aderenței, studiul aparatelor de rulare, al cutiei, etc.) [3]

Liniile directe ale traficului feroviar, enumerate mai sus, au condus la tipizări ale sistemului de tracțiune convenționale (care folosesc aderența dintre roată și șină-diesel, cu turbină cu gaze, electrică) și neconvenționale (cu pernă de aer, electrică cu motor de inducție liniar), la specializarea sistemelor de tracțiune în funcție de limita de viteză constructivă (tracțiune diesel până la 160 km/h, tracțiune electrică până la 200 km/h, tracțiune cu turbină cu gaze și transmisie electrică peste 200 km/h, cu limita atinsă până în prezent de cca. 300 km/h, [4], etc. Dar din toate aceste aspecte ale căilor de influență asupra exploatării feroviare moderne, se va reține în atenție problema sporirii vitezelor de circulație a trenurilor, deoarece de ea se leagă dezvoltarea sistemelor de frînare moderne, printre care și frînarea electrodinamică a locomotivelor diesel electrice.

## 1.2. Probleme ale traficului feroviar la viteze mari FRINAREA.

Creșterea importantă a vitezelor de circulație a trenurilor, se datorează în principal introducerii în exploatare feroviară a noilor mijloace de tracțiune electrice, diesel, cu turbină cu gaze, care cuprind în construcția lor actuală, elemente cu performanțe superioare din punct de vedere dinamic și cu fiabilitate mare.

Elemente de importanță din construcția locomotivelor asupra cărora s-a intervenit (prin studii și cercetări), ca urmare a sporirii vitezelor de circulație, se pot enumera: configurația exterioară (cu reconsiderarea rezistențelor de mers), aparatele de rulare (îmbunătățirea prin toate mijloacele a proprietăților de rulare ale locomotivei, inclusiv micșorarea sarcinilor dinamice suplimentare verticale și orizontale care acționează asupra șinelor), aparatele de tracțiune (introducerea cuplei centrale automate), dispozitive pentru mărirea aderenței (Franța-sistem superaderență la locomotiva seria 72000), utilizarea motorului asincron ca motor de cale, introducerea transmisiei c.a.-c.a. la locomotivele diesel, etc.

Dezvoltarea tehnologică în construcția de mașini, a permis ca în prezent să se realizeze unități motoare de tracțiune, de puteri foarte mari, care fac posibil ca odată cu creșterea vitezelor de circulație să se mărească considerabil și tonajul remorcat. Aceasta implică înmagazinarea unor energii cinetice foarte mari în mișcarea trenului, energii care trebuie distruse în procesul de frînare, pentru micșorarea vitezei sau pentru oprirea în drumul prescris.

De aici rezultă că sistemul de frînare folosit pe vehiculele de cale ferată la circulația cu viteze mari, trebuie să fie eficient începând de la vitezele maxime admise (160 km/h în cazul locomotivelor diesel).

Sistemul clasic de frînare a trenurilor îl reprezintă frînarea mecanică cu comandă pneumatică, care cu toate perfecționările aduse (frîna cu saboti nemetalici, frîna cu disc, frîna electropneumatică), limitează viteza trenurilor la 140 km/h [5]. Dezavantajele frînelor mecanice de orice tip, constau în faptul că datorită scăderii cu viteza a coeficientului de frecare dintre elementul de fricțiune (sabot, disc) și roată, forța de frînare este descărcătoare cu viteza. Experiențe americane arată că la viteze de aprox. 60-70 km/h, din cauza încălzirii sabotilor, după 20 sec. de la începutul frînării, coeficientul de frecare scade la 40% din valoarea inițială [6]. Din această cauză, în calculele de frînare, se ia o valoare medie mică pentru coeficientul aderenței ( $\mu = 0,15$ ), obținerea forțelor de frînare, bazându-se în principal pe mărirea presiunii specifice pe sabot. Ca urmare, multe administrații de cale ferată au mărit substanțial procentajele de frînare ale frînelor mecanice ( $\sigma =$  forța de apăsare pe sabot/greutatea pe osie), ajungându-se la unele locomotive moderne la  $\sigma = 130\%, 220\%$  [7]. Dar aceasta nu rezolvă neajunsurile frînelor mecanice la viteze mari, printre care procesele termice puternice, uzuri mari datorită frecărilor, menținerea drumului de frînare în limitele prescrise.

Pentru îmbunătățirea procesului de frînare la viteze mari de circulație, s-au dezvoltat noi tipuri de frîne, unele specifice locomotivelor și automotoarelor ca: frîna electrodinamică, frîna electromagnetică, frîna cu curenți Foucault, etc. [5, 3, 9, 10]. De menționat însă că frîna mecanică pneumatică rămîne în continuare frîna de bază a tuturor sistemelor de tracțiune feroviară.

Intervalele de viteză maximă limitate actualmente la 100-160 km/h și 160-200 km/h, fac însă ca ponderea frânei mecanice să fie variabilă în procesul de frînare (folosită în domeniul vitezelor mici pînă la oprire).

În tabela nr.1 se prezintă cîteva combinații actuale ale diferitelor sisteme de frînare [5].

Din această tabelă se observă calitatea de frîne suplimentare față de frîna mecanică pneumatică, a sistemelor moderne de frînare. Pentru a sublinia rolul de frînă suplimentară a frînei electrice (dinamică în cazul prezentat) se dă în fig.1.1. diagrama de frînare a unei locomotive Co-Co de 114 t, înzestrată cu o frînă electrică reostatică [7].

Se observă că la combinarea frînei dinamice și celei mecanice - la procentaje de frînare diferite - se poate acoperi întreg intervalul de viteze cu o forță de frînare aproape constantă. Forța de frînare rezultantă permite frînarea de la viteza maximă pînă la oprire (de la aprox. 50 km/h, frîna electrică este scăasă din funcțiune).

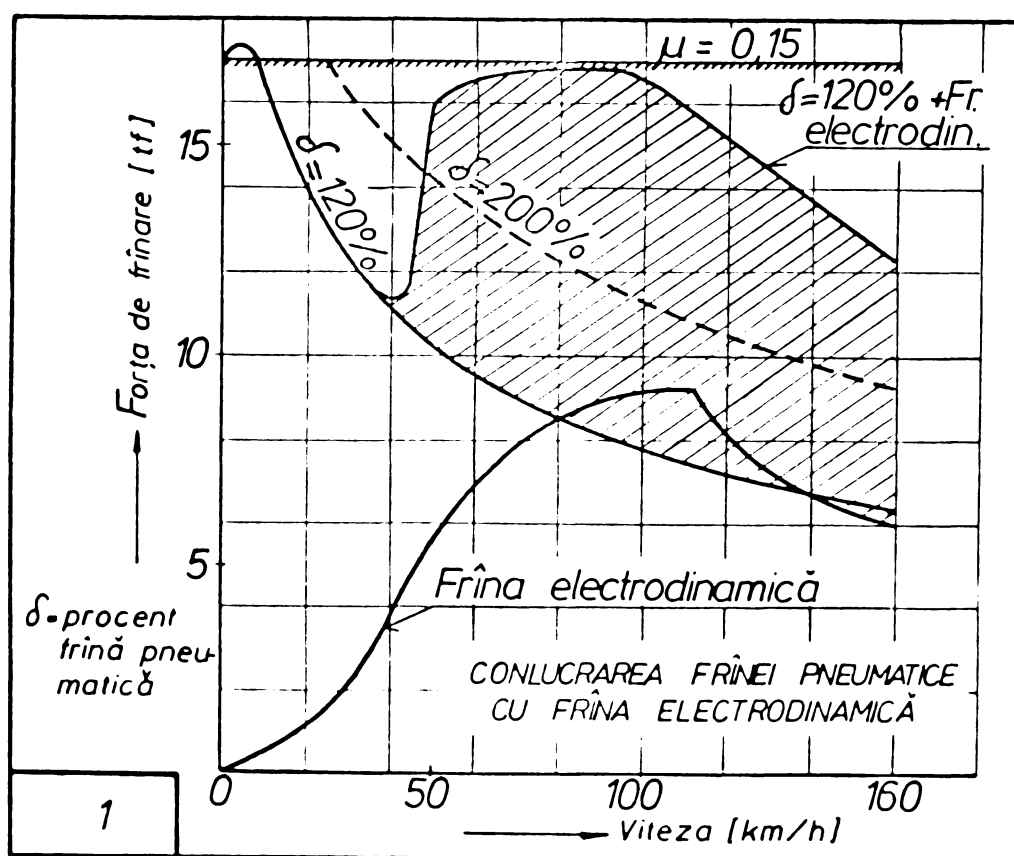


Fig. 1.1.

TABELA 1

Exemple de combinații de sisteme de frână

Combinăția de frână	Executate respectiv pre-văzute la	Frînare din viteza km/h.	Cu accelerația medie m/sec <sup>2</sup>	Observații
Frână cu saboți și frână magnetică de șină	Vagoane de călătorit Y/B 70 cu boghiu GÖrlitz VI K.M.G.	160	1,52	La probele de parcurs fără întrebuintarea frânei magnetice de șină 0,74 m/sec <sup>2</sup> .
Frână cu tambur și frână magnetică de șină	Automotoare rapide diesel "Fliegender Hamburger"	160	1,12	
Frână cu disc și frână magnetică de șină	Automotoare rapide TV 11,5 ale căilor federale germane.	140	1,49	Fără folosirea frânei magnetice de șină 1,05 m/sec <sup>2</sup> .
Frână electrică și frână cu disc	Trenurile electrice pe linia Tokaido	200	0,47	Frână cu disc se aplică sub 50 km/h.
Frână electrică și frână cu saboți	Locomotiva TEP 10 a Căilor ferate sovietice	150	0,72	La probele de parcurs
Frână hidrodinamică și frână cu disc	Proiectul APT (englez) al trenului cu turbină cu gaze	250	0,75 1,47	La frînarea normală de exploată. La frînare rapidă
Frâna cu curenți turbionari, frână el. cu rez., frână magnetică de șină și frână cu saboți	La prototipul turbotrenului francez	200	1,04	La frînare rapidă (fig. 1.1)

In prezentările succinte, făcute pe marginea frînării la viteze mari, s-a urmărit punerea în evidență a necesității dezvoltării frînelor suplimentare care trebuie să echipeze vehiculele feroviare moderne, pentru circulația în condiții de siguranță sporită.

O astfel de frînă suplimentară este reprezentată la locomotivelor diesel electrice de frînă electrodinamică reostatică (frînarea prin transmisie).

\*

\*

\*

## 2. FRINAREA TRENURILOR

### 2.1. Noțiuni generale

Instalațiile de frînare, care echipează vehiculele motoarelor și cele remorcate ale unui tren, permit transformarea energiei cinetice ( $m \frac{v^2}{2}$ ) înmagazinate în masa trenului în timpul mișcării, sau a energiei potențiale ( $-Gh$ ) cedate pe pante, în energie termică sau electrică, în conformitate cu specificul lor de funcționare.

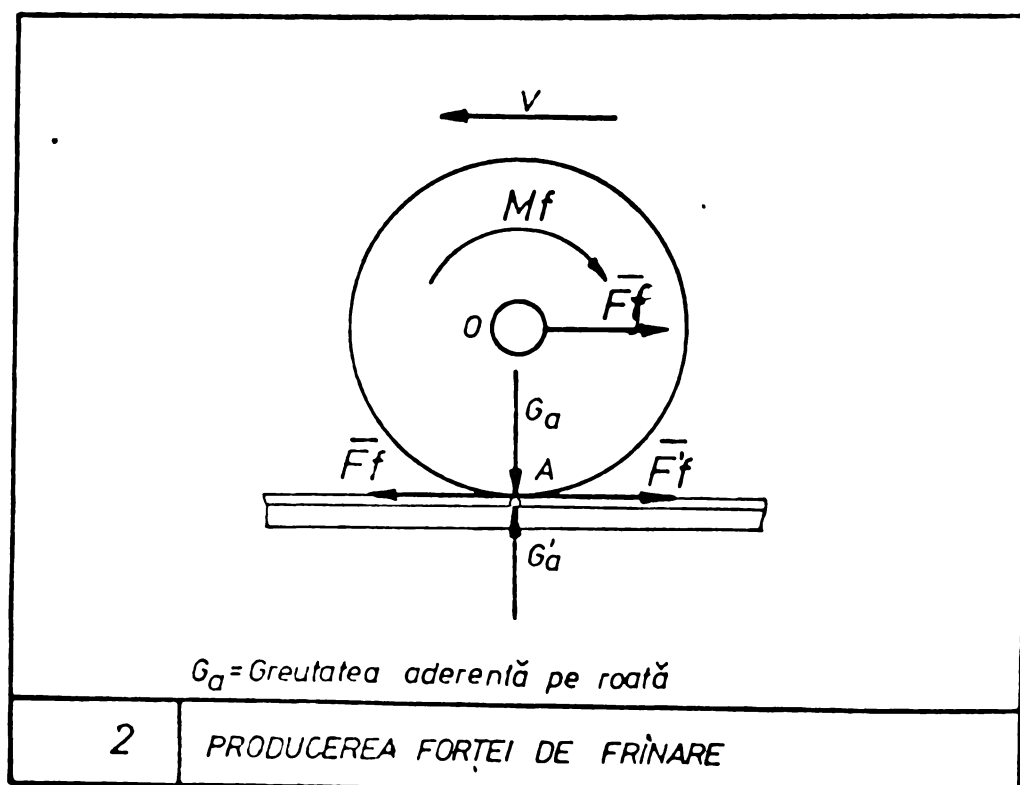
Până în prezent, administrațiile de cale ferată folosesc două categorii de frîne: frîne dependente de aderență, sau frîne de osie - frîna cu saboți, frîna cu disc, frîna electrică - și frîne independente de aderență - frîna electromagnetică, frîna cu curenți Foucault, etc.

Locomotivele de orice tip precum și vagoanele sînt echipate în mod obligatoriu cu frîne de osie cu acționare mecanică (saboți sau discuri) cu comandă pneumatică.

### 2.2. Forța de frînare la obadă

Procesul de formare a forței de frînare este determinat - ca și în tracțiune - de existența aderenței dintre roată și șină [11].

- Fig.2.1.





Cuplul de frinare  $M_f$  ce se exercită asupra unei osii motoare datorită funcționării instalației de frinare a vehiculului, poate fi înlocuit cu cuplul forțelor ( $\overline{F}_f, -\overline{F}_f$ ), cu acțiune în punctul A de contact cu șina și respectiv în punctul O de contact dintre fusul osiei și cuzinetul de osie (fig. 2.1)

Reacțiunea  $\overline{F}'_f$  de la șină către roată, provenită din forța  $\overline{F}_f$  a cuplului de frinare  $M_f$ , ține în echilibru forța de frecare ce ia naștere între roată și șină. Această reacțiune definește forța de frinare la obadă, ca o forță exterioară ce se opune mișcării.

Cuplul  $M_f$  care determină forța de frinare la obadă, poate fi obținut fie pe cale mecanică, prin forțele de frecare dintre saboți sau discuri și roată, fie pe cale electrică prin cuplul electromagnetic al motoarelor de tracțiune (12, 13, 14, 15, 49).

### 2.3. Forța de frinare a trenului

Forța de frinare a unui tren, se determină rezolvînd ecuația sa de mișcare (scrisă sub forme particulare corespunzătoare modului de obținere a cuplului de frinare) în funcție de parametrii cunoscuți ca, drumul de frinare, viteze de la care începe frinarea și declivitatea profilului pe care circulă trenul.

Ecuația de mișcare în regim de frinare pe pantă este:

$$m (1 + \gamma) \frac{dv}{dt} = - F_f - (R'_t - iG_t) \quad (2.1)$$

în care:  $m$  - este masa totală a trenului  
 $\gamma$  - coeficient de echivalare a maselor în rotație  
 $v$  - viteza trenului  
 $F_f$  - forța de frinare  
 $R'_t$  - forța de rezistență în palier, în regim de frinare  
 $G_t$  - greutatea totală a trenului (locomotivă + vagoane)  
 $i$  - panta (egală în valoare cu rezistența specifică)

Din ecuația (2.1) se poate calcula  $F_f$ , ceilalți parametri fiind cunoscuți. Acest mod de rezolvare poate fi aplicat în cazul determinării forței de frinare specifice, respectiv procentajului de frinare, în cazul frînării mecanice [14].

În cazul frînării electrodinamice însă, forța de frinare este un parametru inițial cunoscut, ea avînd o desfășurare dată funcție de viteză, pentru fiecare vehicul motor în parte (respectiv locomotivă).

In frînarea electrică, cuplul de frînare se produce numai la roțile motoare, forța de frînare transmițându-se trenului ca o forță longitudinală prin aparatele de ciocnire, cu valoarea  $F_{ft} = \sum F_f$  (suma forțelor la obadă).

Cunoscîndu-se desfășurarea funcție de viteză a forței de frînare a unei locomotive, dinamica trenului remorcat de această locomotivă, în regim de frînare, este hotărîtă de pantă și de greutatea lui.

Astfel: - pentru  $iG_t < (F_f + R'_t)$ ,  $\frac{dv}{dt} < 0$ , viteza se micșorează și trenul are o mișcare decelerată - Frîna electrodinamică lucrează ca frînă de încetinire.

- pentru  $iG_t = (F_f + R'_t)$ ,  $\frac{dv}{dt} = 0$ , viteza se menține constantă și trenul are o mișcare uniformă. Frîna electrodinamică lucrează ca frînă de menținere.

- pentru  $iG_t > (F_f + R'_t)$ ,  $\frac{dv}{dt} > 0$ , viteza continuă să crească și trenul are o mișcare accelerată.

După cum reiese din cele expuse, forța de frînare electrodinamică luată singură, nu rezolvă problemele legate de frînare (decît parțial și în anumite condiții), tonajul și panta hotărînd variația vitezei în timp. De aceea, în cazul frînării electrodinamice, locomotiva (vehiculul motor), avînd o caracteristică de frînare proprie, cu performanțe limitate, mecanicul sau un sistem automat, în multe situații, trebuie să acționeze frîna mecanică pneumatică, pentru realizarea programului de mers și a opririi trenului /15/ .

### 3. TEORIA FRINARII ELECTRODINAMICE REOSTATICE

#### 3.1. Generalități privind frînarea electrodinamică

Orice sistem de frînare electrodinamică a trenurilor are la bază principiul reversibilității mașinilor electrice. [17,18,19,20,21].

Pentru ca o mașină electrică să treacă din funcționarea de motor în funcționarea ca generator, trebuie ca sensul cuplului electromagnetic al motorului să se schimbe față de sensul vitezei de rotație.

Pentru orice mașină electrică există deci întotdeauna relația:

$$M_G = - M_m \quad (3.1)$$

În lipsa forței de tracțiune, energia cinetică a trenului înmagazinată în timpul mișcării în masa sa, constituie un agent motor pentru motoarele de tracțiune, care, dacă sînt excitate și cu circuitul de sarcină închis, vor trece în funcționare de generator prin schimbarea sensului curentului rotoric la același sens al fluxului și același sens al rotației. Cuplul electromagnetic raportat la obadă va fi de această dată un cuplu rezistent care se va opune mișcării trenului.

După natura sarcinii, energia electrică produsă la funcționarea motoarelor de tracțiune în regim de generator, poate fi transformată în energie termică - atunci cînd sarcina este o rezistență sau poate fi redată rețelei de alimentare. În primul caz este vorba de frînarea electrodinamică reostatică iar în al doilea caz de frînarea electrodinamică recuperativă.

În regim de frînare electrodinamică, puterea de frînare la obadă este:

$$F_f v = K \frac{U' I}{\eta} \quad (3.2)$$

unde:  $F_f$  este forța de frînare la obadă

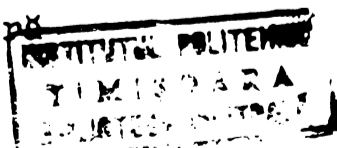
$v$  - viteza trenului

$U'$  - tensiunea motorului de tract. în regim de generator

$I$  - curentul motorului de tract. în regim de generator

$\eta$  - randamentul general al transmis. în regim de frînare

$K$  - constantă pentru unitățile de măsură



Toate sistemele de frinare electrodinamică trebuie să satisfacă următoarele cerințe fundamentale:

- să asigure caracteristicile statice date, pentru menținerea constantă a vitezei trenului pe pante sau pentru micșorarea vitezei înainte de oprire, în condiții depline de siguranță de funcționare a motoarelor de tracțiune.

- să prezinte stabilitate electrică, adică să restabilească echilibrul stabil electric după orice proces tranzitoriu și să corespundă parametrilor determinați în regimurile dinamice.

- să fie stabile mecanic

- să prezinte pe cât posibil abateri mici de sarcină pentru circuitele cuplate în paralel ale motoarelor de tracțiune, la diametre diferite ale bandajelor roților, caracteristici de magnetizare, etc.

- să nu admită oscilații importante ale forței de frinare la comutarea treptelor, iar viteza și forța de frinare să poată fi reglată ușor în limite largi

- să prezinte robustețe în exploatare

- să reducă cheltuielile de exploatare

- să asigure o comandă comodă și simplă în exploatare, a procesului de frinare.

- să introducă modificări minime în schemă

- să utilizeze aparatura locomotivelor de serie

- schema de frinare să fie simplă și să prezinte minimum de aparatură de comutare.

### 3.2. Caracteristicile frînării electrodinamice

Din punct de vedere functional, calitățile frînării electrodinamice sînt complet caracterizate prin funcțiile  $v = f(I)$  și  $F_f = f(v)$ . Aceste funcții definesc caracteristicile de frinare electrodinamică și ele depind de:

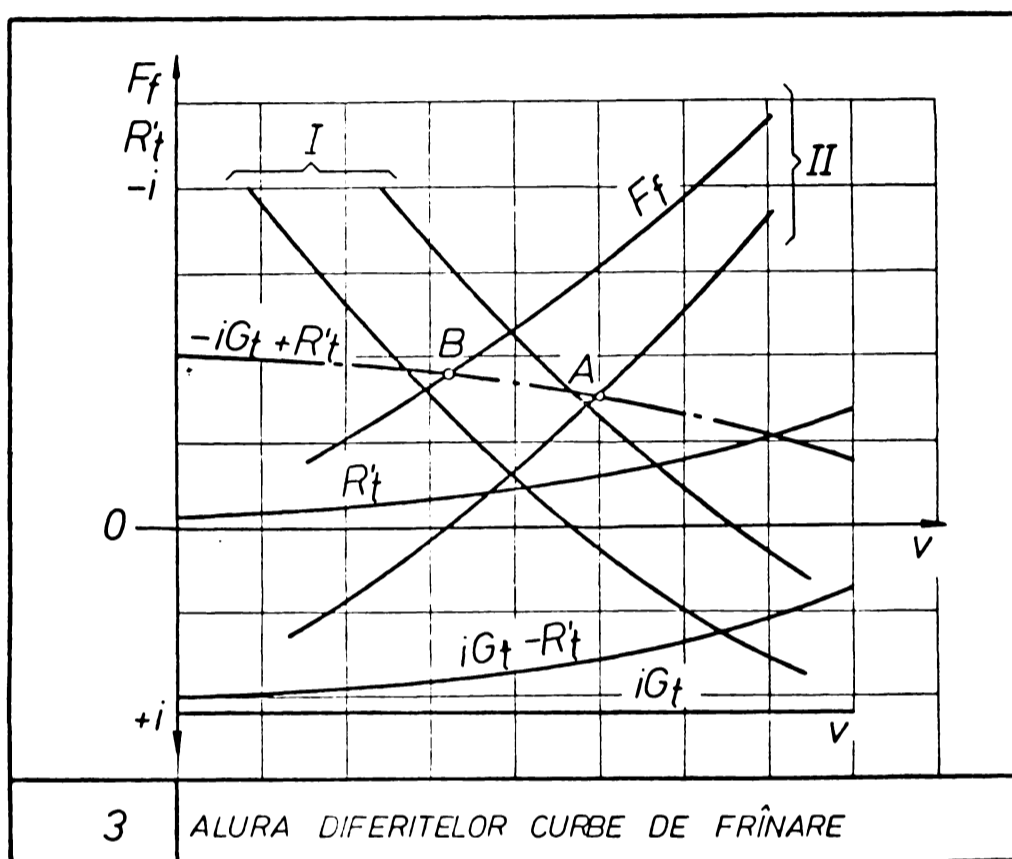
- a. parametrii motoarelor de tracțiune și sistemul lor de excitație,

- b. mijloacele de comandă a procesului de frinare,

- c. caracteristicile circuitului de sarcină.

Din combinarea dependințelor a, b, c, caracteristica mecanică a frînării  $F_f = f(v)$  poate avea aluri diferite. Înșă nu orice fel de variație a forței de frinare funcție de viteză satisface condițiile de stabilitate mecanică impuse frînării electrodinamice.

.//.



3 ALURA DIFERITELOR CURBE DE FRÎNARE

Fig.3.1.

Reluând discuția ecuației mișcării pe curbele din fig.3.1., rezultă:

- când curba  $F_f = f(v)$ , are o variație descrescătoare cu viteza (alura I) și trenul este scos din echilibrul  $v = v_A$ , în sensul  $v > v_A$ , accelerația  $\frac{dv}{dt} > 0$  și trenul își va mări în continuare viteza.

În cazul  $v < v_A$ ,  $\frac{dv}{dt} < 0$  și viteza trenului va continua să scadă. În acest fel punctul A este instabil. Deci frâna electrică cu caracteristică căzătoare, este instabilă.

- când curba  $F_f = f(v)$ , are o variație crescătoare cu viteza (alura II), se observă că la variația vitezei în jurul punctului de echilibru B ( $v = v_B$ ), caracteristica prezintă stabilitate mecanică.

.//.

Deci, pentru a asigura stabilitatea mecanică a caracteristicii de frînare este necesar ca forța de frînare să crească odată cu creșterea vitezei.

Pentru construirea caracteristicilor de frînare, se folosesc caracteristicile de excitație și de sarcină ale mașinilor de tracțiune precum și parametrii mecanici ai transmisiei (diametrul roții și raportul de transmisie).

În cele ce urmează se vor expune numai caracteristicile frînării reostatice a motoarelor serie de curent continuu, acestea fiind până în prezent motoarele care echipează transmisia electrică a majorității locomotivelor diesel. [6, 22, 23, 24, 25, 26] .

### 3.3. Frînarea electrodinamică reostatică a motoarelor serie de curent continuu

În regimul de frînare electrodinamică reostatică, motoarele de tracțiune cu excitație serie, pot fi excitate după sisteme diferite. Cele mai uzuale sînt:

- cu excitație serie
- cu excitație separată
- cu excitație separată și rezistor de stabilizare
- cu excitație separată și excitație compundată, ultimele trei reprezentînd diverse variante.

#### 3.3.1. Frînarea reostatică cu excitație serie

Trecerea motorului de tracțiune cu excitație serie în regim de frînare reostatică cu excitație serie este reprezentată în fig. 3.2.

În fig. 3.3. sînt reprezentate curbele  $F_p = f(v)$  pentru diferite valori ale rezistorului de frînare.

Frînarea electrică reostatică cu excitație serie impune scheme speciale de conectare a motoarelor de tracțiune, pentru obținerea de regimuri stabile de funcționare, atunci cînd sînt cuplate în paralel. Nu se insistă asupra acestor scheme întrucît acest mod de excitație nu are decît o valoare teoretică pentru frînarea electrică a locomotivelor diesel [25].

..11.

337.134  
12 A

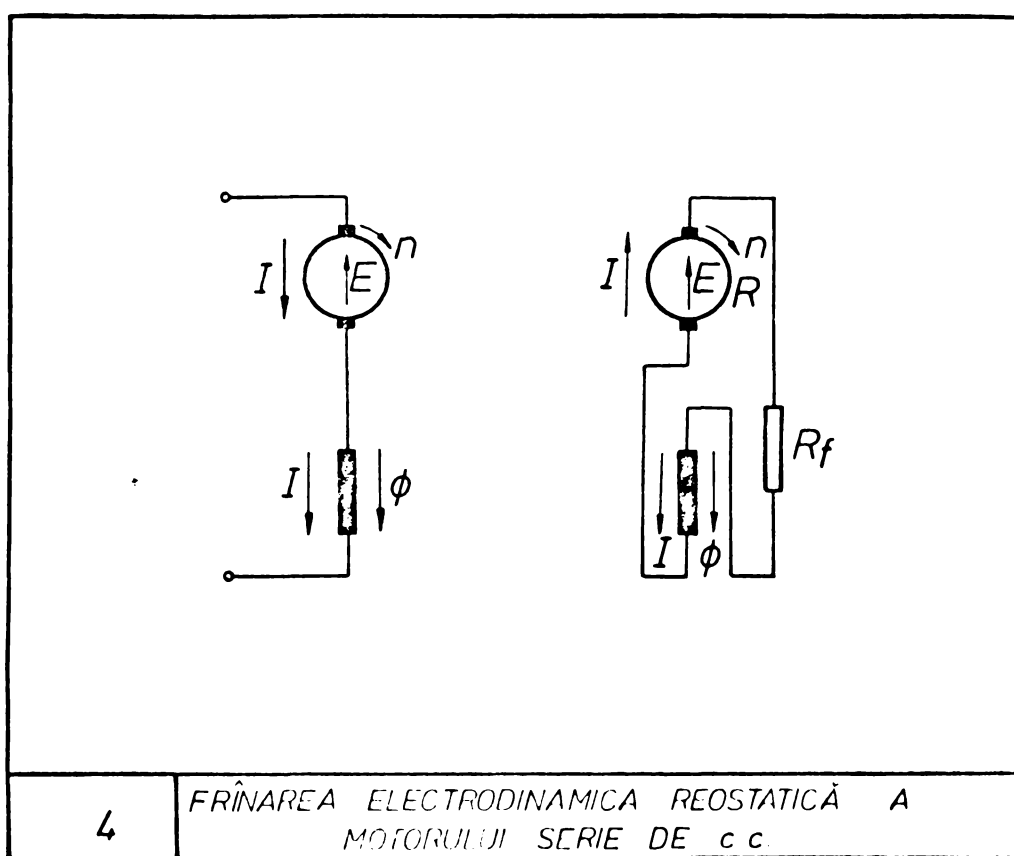


Fig.3.2.

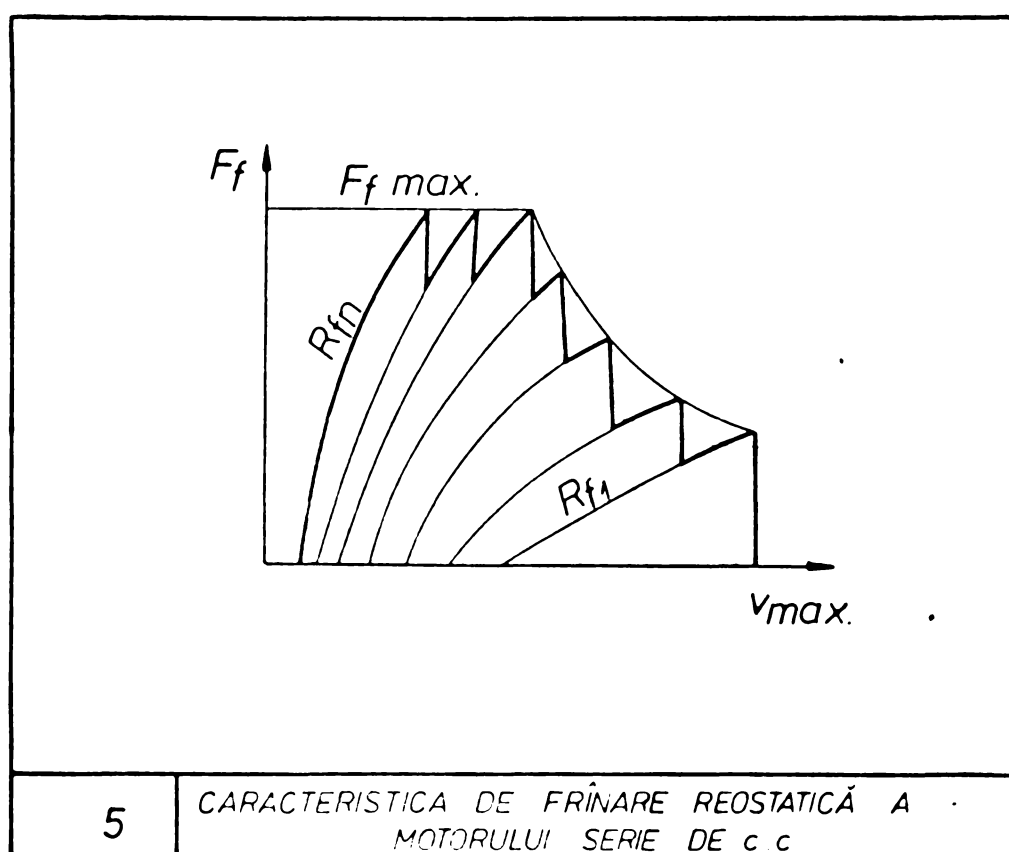


Fig.3.3.

### 3.3.2. Frînarea roostatică cu excitație separată

La frînarea electrodinamică roostatică cu motoare cu excitație în serie, pentru excitarea separată, înfășurarea polilor se separă de indus și se alimentează de la o sursă de curent independentă iar indusul se închide în rezistorul de frînare (fig.3.4.)

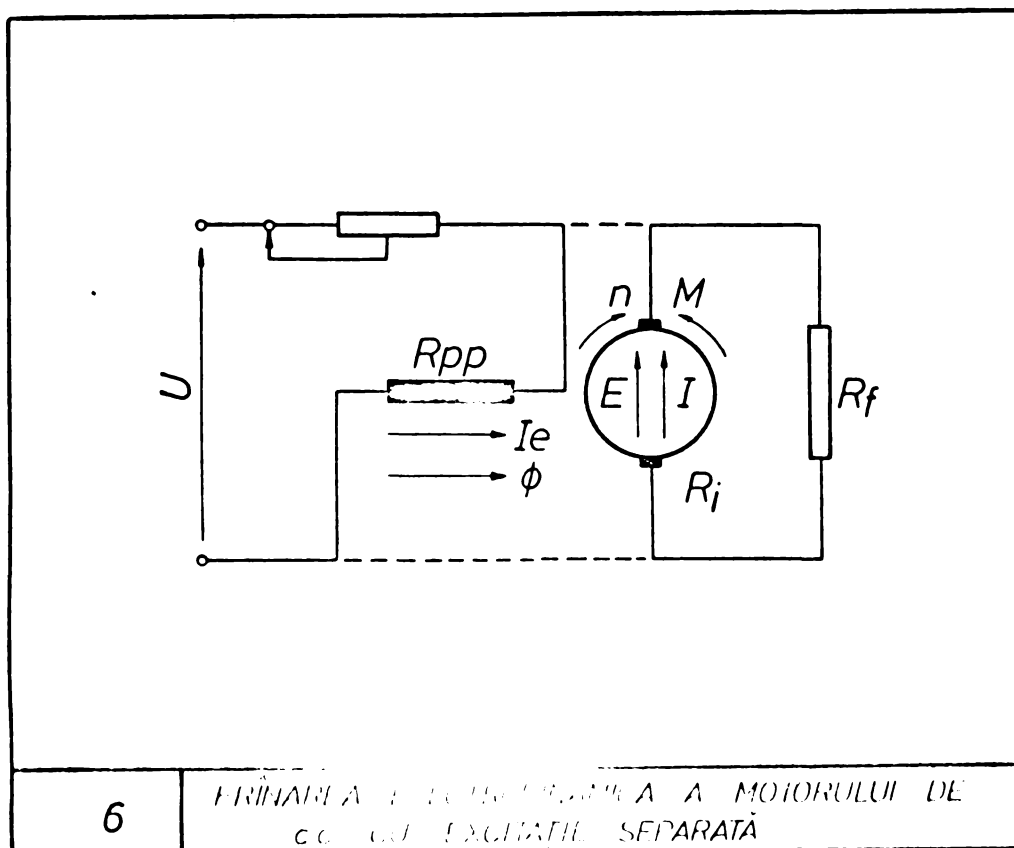


Fig.3.4.

În regimul staționar de motor, ecuația funcțională este:

$$n = \frac{U}{k_e \phi} - \frac{R_I I}{k_e \phi} \quad (3.3)$$

Se observă că dacă  $U = 0$ , pentru același sens al rotației și al fluxului curentul schimbă de semn și ca urmare schimbă de sens și cuplul  $M = k_m \phi I$ , (se opune sensului de rotație al indusului).



După realizarea circuitului de frînare, ecuația echilibrului de tensiuni - adoptând sensurile pozitive pentru sursă, este:

$$k_e n \phi = I (R_i + R_f) = R'_f I \quad (3.4)$$

unde:

- $R_f$  - este rezistența de frînare
- $R_i$  - rezistența rotorului și a polilor auxiliar
- $R'_f$  - rezistență de frînare totală

Rezolvând ecuația (3.4) în funcție de curentul de frînare și înlocuind expresia lui  $I$  în relația cuplului electromagnetic, aceasta capătă următoarea formă:

$$M = k_m \phi I = \frac{k_m k_e}{R'_f} \phi^2 n \quad (3.5)$$

Se exprimă fluxul magnetic funcție de curentul  $I$  și atunci:

$$M = \frac{k_m}{k_e} R'_f \frac{I^2}{n} \quad (3.6)$$

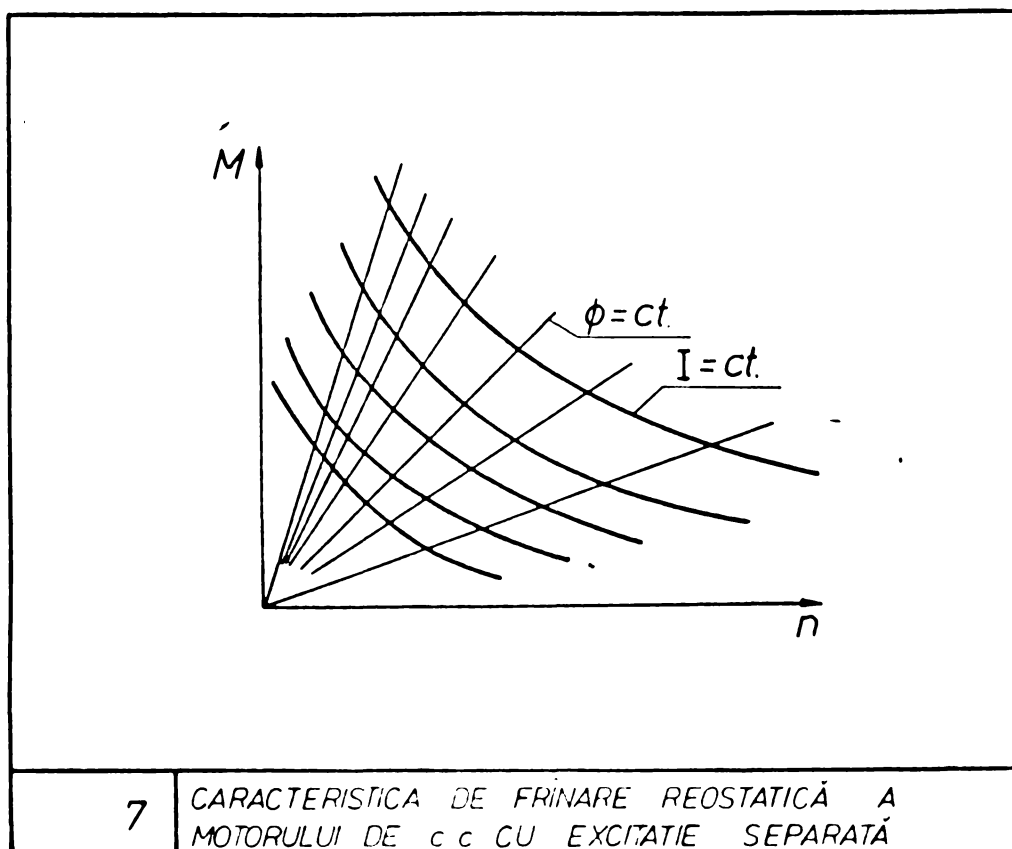


Fig.3.5.

././.

Analizând formulele (3.5) și (3.6) rezultă că neglijând reacția indusului, pentru flux constant, variația cuplului este lineară cu turația iar pentru curent de frînare constant, variația cuplului cu turația este hiperbolică (fig.3.5)

Caracteristica mecanică de frînare  $F_f = f(v)$  se obține utilizând relațiile (3.5) și (3.6) în care cuplul se raportează la obada roții.

Dacă  $D$  este diametrul roții motoare a locomotivei, forța de frînare la obadă este dată de:

$$F_f = \frac{M_f}{\frac{D}{2} \eta_t} = \frac{iM}{\frac{D}{2} \eta_t} \quad (3.7)$$

$\eta_t$  - fiind randamentul total al transmisiei ( $\eta_t = \eta_G \cdot \eta_i$ ) -

$M$  - cuplul electromagnetic

$i$  - raportul de transmisie al angrenajului

Făcînd transformările necesare se obțin următoarele formule de calcul pentru forța de frînare:

- la flux constant:

$$F_f = K \frac{k_e k_m}{R'_f} \frac{i^2}{D^2} \varnothing^2 v = K_1 v \quad (3.8)$$

- la curent de frînare constant:

$$F_f = K' \frac{k_m}{k_e} R'_f \frac{I^2}{v} = \frac{K_2}{v} \quad (3.9)$$

Trasarea caracteristicii  $F_f = f(v)$  pentru curent constant de frînare constant, se face cu scopul de a ușura determinarea rapidă a încărcării motoarelor la un regim de frînare dat.

Regimul de frînare electrodinamică cu excitație separată are o serie de limitări (fig.3.6) care se determină din limitele de reglare a forței de frînare. Aceste limitări sînt:

- $F_{emax}$  - care se determină din condițiile de încălzire ale înfășurărilor polilor principali
- $I_{fmax}$  - care se determină din condițiile de încălzire a rotorului
- comutația
- aderența roților cu șina
- viteza maximă de circulație

Curentul de excitație maxim pentru regimul de durată (sau de scurtă durată) al frînării electrice, se recomandă a se lua egal cu curentul maxim din regimul de tracțiune.

Limitarea domeniului de utilizare a curbelor  $F_f \neq f(v)$  de către valoarea maximă a curentului de excitație este reprezentată în fig.3.6. prin curba 1.

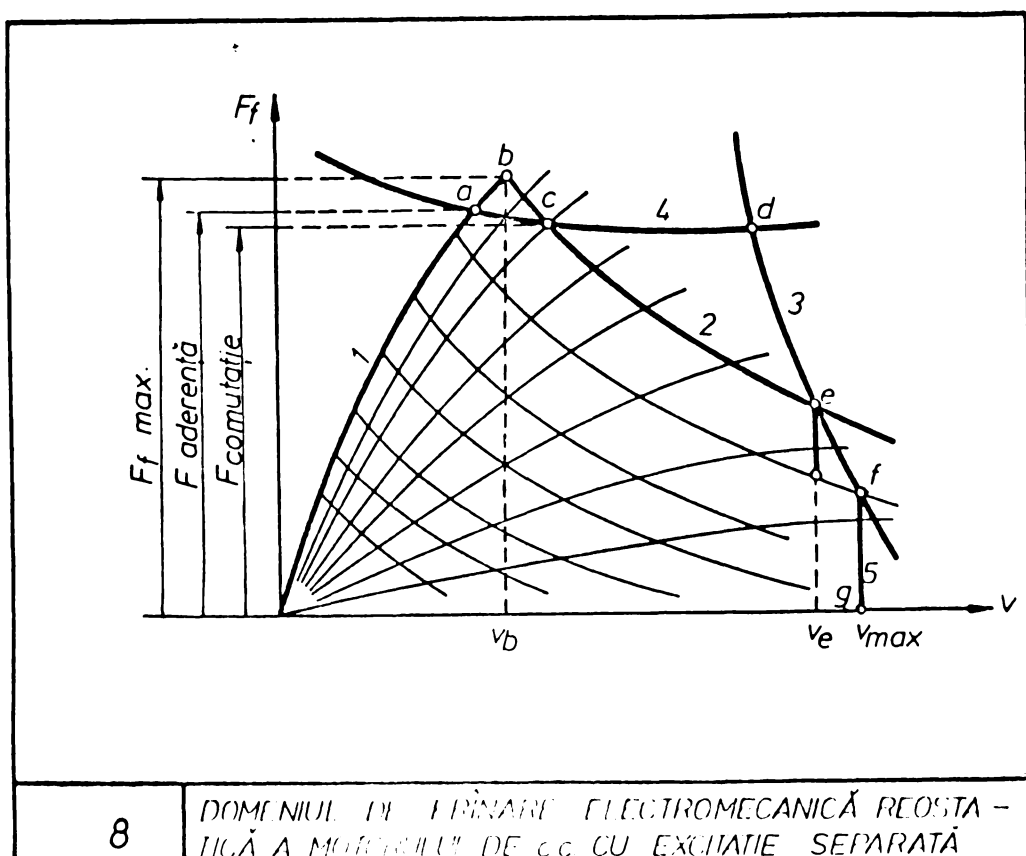


Fig.3.6.

Curentul de frînare maxim pentru regimul de durată (sau de scurtă durată) al frînării electrodinamice este limitat de încălzirea rotorului.

Limitarea forței de frînare de către valoarea maximă a curentului de frînare este reprezentată prin curba 2 din fig.3.6.

La viteze de circulație ridicate, de obicei la începutul frînării electrodinamice, forța de frînare mai poate fi limitată de comutația mașinii, marcată de valoarea limită a tensiunii induse în secția care comută.

.//.

Limitarea din cauza comutației la o valoare constantă a tensiunii induse în secția care comută, este reprezentată în fig. 3.6. prin curba 3.

Limitarea după forța de aderență este dată în figură de curba 4.

Limitarea domeniului de utilizare a caracteristicilor de frinare de către viteza maximă este reprezentată pe figură prin dreapta 5.

Intersecția curbelor de mai sus determină domeniul de utilizare a frînării electrodinamice reostatice cu excitație separată pentru transmisie și rezistor de frinare date.

Familia caracteristicilor de frinare pentru diferiți curenți de excitație și sarcină, aflate în interiorul suprafeței delimitată de intersecția curbelor de limitare, determină în planul ( $F_f, v$ ) domeniul regimului de frinare electrodinamică reostatică cu excitație separată.

Punctele de intersecție, reprezintă puncte caracteristice ale domeniului de frinare și determină parametrii frinei electrodinamice. Cele cu importanță deosebită sînt:

- punctul b: Stabilește valoarea forței maxime de frinare și viteza corespunzătoare acestei forțe.
- punctul e: Stabilește viteza de circulație care corespunde începutului limitării domeniului de utilizare a caracteristicilor de frinare de către comutație.
- punctul f: Stabilește valoarea forței de frinare la viteza maximă.

Analiza relațiilor care stabilesc coordonatele punctelor b, e și f, permite să se tragă următoarele concluzii, importante la dimensionarea unei frîne electrodinamice reostatice la condiții de exploatare date:

- forța maximă este limitată numai de încălzirea admisibilă a polilor principali și a rotorului
- viteza la care se obține forța de frinare maximă este cu atît mai mare cu cît valoarea rezistenței de frinare este mai mare.
- forța de frinare limitată de comutația motorului este proporțională cu valoarea rezistenței de frinare și invers proporțională cu viteza de circulație.

Caracteristica de frinare  $F_f = f(v)$  construită sub formă de curbe în limitele domeniului de frinare, permite stabilirea

..

imediată a regimurilor de frinare posibile pentru tren dat, la circulația pe profile diferite de circulație.

3.3.3. Frinarea electrodinamică reostatică cu excitație separată și rezistor de stabilizare

Cerințele de frinare pot impune în unele cazuri, folosirea frînării electrodinamice nu numai pentru menținerea vitezei pe o declivitate dată, ci și reducerea simțitoare a vitezei, operație ce precede oprirea trenului.

După cum rezultă din caracteristica de frinare redată în fig.3.6, la frinarea reostatică cu excitație separată și reglare comandată prin variația fluxului, pentru menținerea constantă a forței de frinare la diferite viteze, este necesară reglarea continuă a curentului de excitație. Această reglare se poate automatiza, una din metode fiind compundarea artificială a excitației, printr-un rezistor "de stabilizare" (fig.3.7)

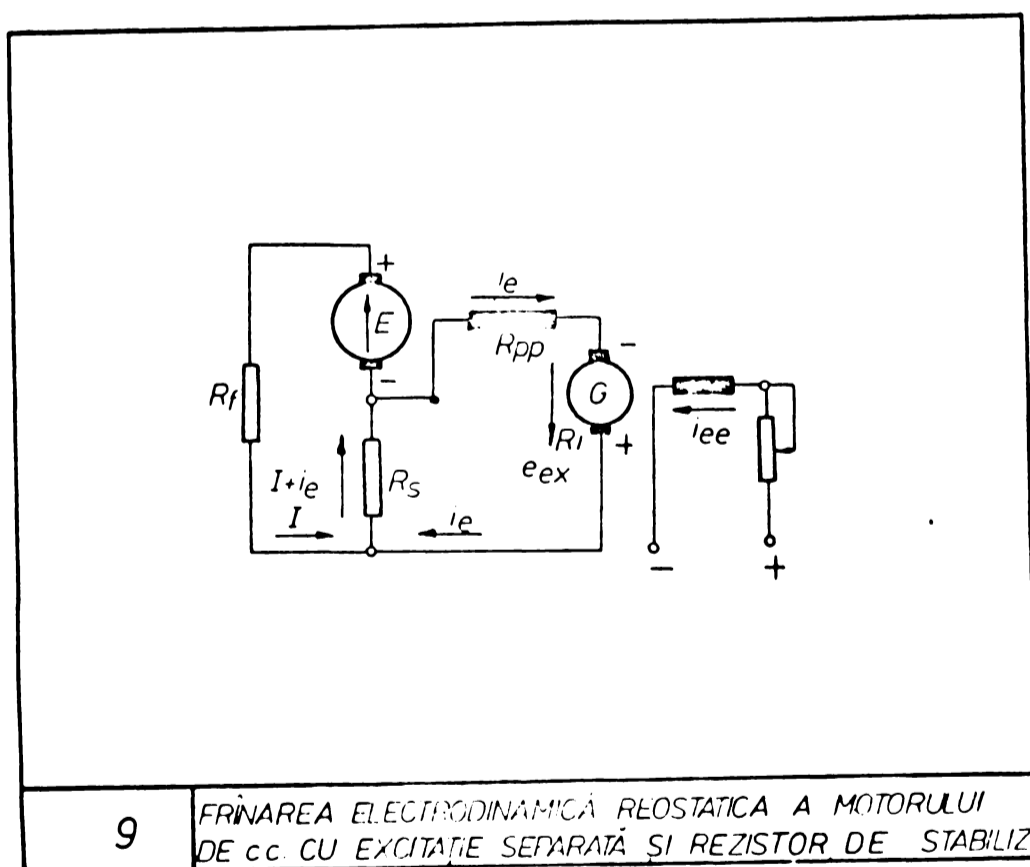


Fig.3.7.

.//.

Reglarea comandată a vitezei de frinare,  $v = f(I)$ , se realizează de obicei prin reglarea curentului de excitație al mașinii G.

Pentru circuitul de sarcină al excitatoarei G se poate scrie:

$$e_{ex} = (I + i_e) R_s + i_e (R_{pp} + R_i) \quad (3.10)$$

unde:  $R_{pp}$  - este rezistența înfășurării polilor principali ai motorului de tracțiune

$R_i$  - rezistența indușului excitatoarei

Din această ecuație se obține:

$$i_e = \frac{e_{ex}}{R_s + R_{pp} + R_i} - \frac{I R_s}{R_s + R_{pp} + R_i} = i_{\text{derivație}} - i_{\text{serie}}$$

din care rezultă că curentul de excitație are componentă variabilă cu sarcina, componentă care scade fluxul rezultat al mașinii pe măsură ce sarcina crește (la  $e_{ex} = ct$ ). Variația fluxului mașinii este identică cu aceea a unui motor compund în regim de generator (generator anticompunder).

Cum cuplul electromagnetic  $M = k_m \Phi I$ , rezultă, că se poate obține o forță de frinare aproximativ constantă dacă fluxul scade cu creșterea curentului de sarcină.

Alegerea valorii rezistenței de stabilizare  $R_g$ , reprezintă o problemă complexă, care nu poate fi rezolvată pe cale analitică datorită neliniarității curbei de magnetizare.

În fig.3.8. se prezintă caracteristicile de frinare pentru două valori ale rezistenței de stabilizare  $R_g$  și pentru două valori ale tensiunii excitatoarei.

#### 3.3.4. Frinarea electrodinamică reostatică cu excitație separată și excitatoare compundată

Efectul de anticompunder a motorului de tracțiune cu excitație serie, în regim de frinare reostatică poate fi realizat și cu ajutorul unei excitatoarei de excitație compundată (fig.3.9)

Curentul de frinare crează în cea de a doua înfășurare a excitatoarei G un flux de sens contrar celui produs de înfășurarea sa separată. Rezultă că la creșterea curentului de frinare,  $i_e$  va fi mai mic, ceea ce realizează condiția pentru obținerea unei forțe de frinare constante.

././.

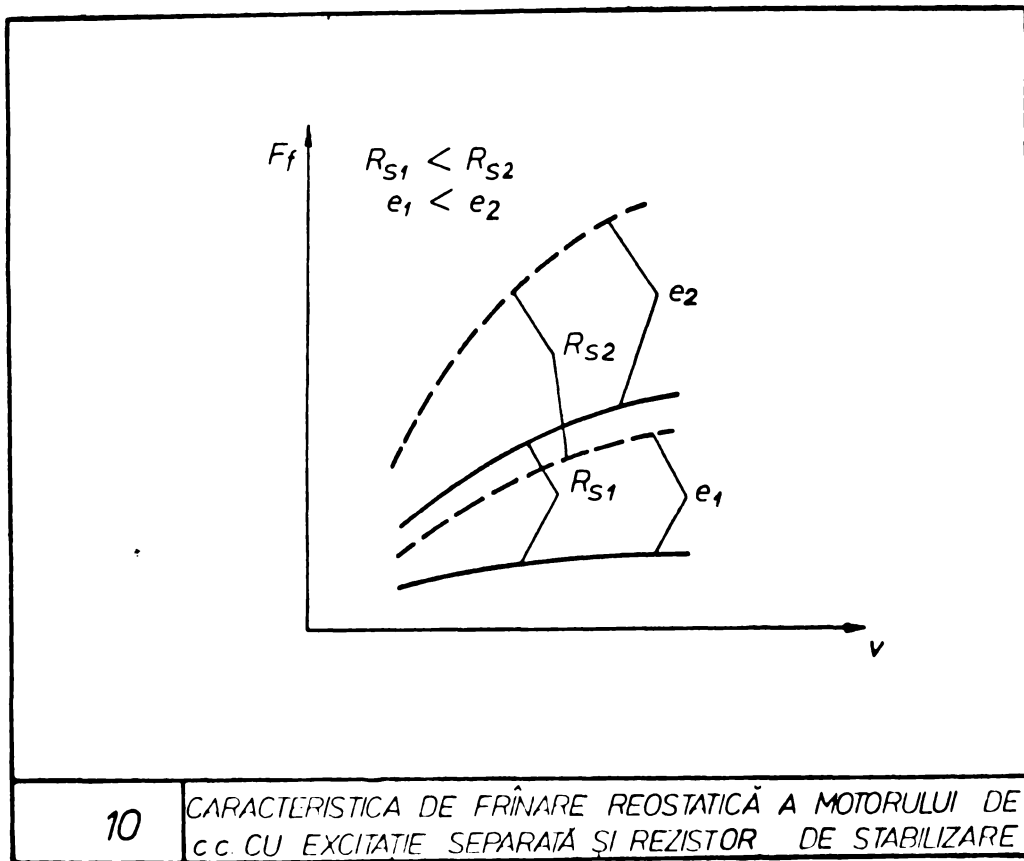


Fig.3.8.

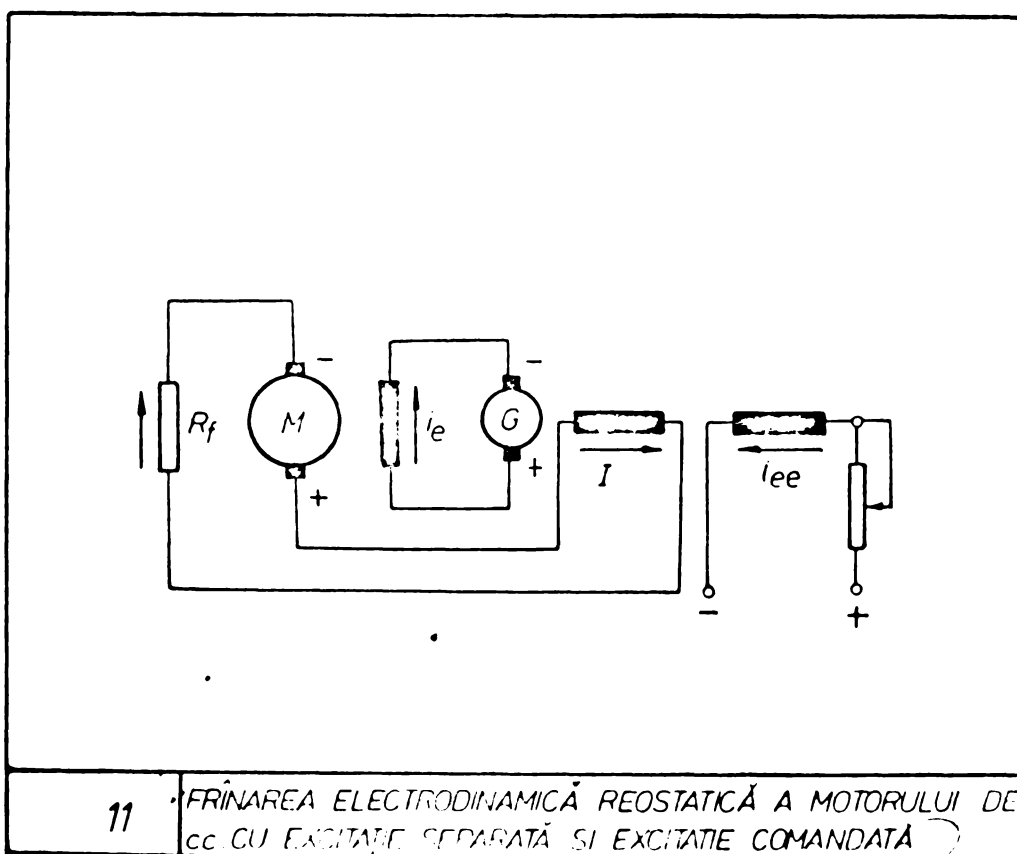


Fig.3.9.

#### 4. DOTAREA LOCOMOTIVELOR DIESEL ELECTRICE CU FRINA ELECTRODINAMICA REOSTATICA

##### 4.1. Generalități privind locomotivele diesel electrice

Este important a preciza la început, câteva aspecte în legătură cu structura tracțiunii diesel electrice și rolul ei în tracțiunea feroviară, pentru a se înțelege mai bine referirile ce se vor face în continuare.

Tracțiunea diesel electrică prevede utilizarea locomotivelor în următoarele servicii:

- serviciu de manevră - puteri 400 kW - 880 kW.
- serviciu pe linii secundare ( $G_{osie} = 17 \text{ t}_f, v=80 \text{ km/h}$ ), puteri 880 kW - 1100 kW,
- serviciu pe liniile principale neelectrificate ( $G_{osie} = 21 \text{ t}_f, v_{max} = 160 \text{ km/h}$ ), puteri 1540 kW, 2940 kW.
- trenuri automotoare diesel de foarte mare viteză.

Locomotivele diesel electrice moderne prezintă următoarele caracteristici ce interesează problemele de frînare:

- sînt locomotive universale (călători + marfă),
- sînt construite pentru aderență totală (21-23 t/osie, Bo-Bo și Co-Co),
- au viteza maximă constructivă limitată la 160 km/h,
- se construiesc cu un singur motor diesel, a cărei putere este practic limitată în condițiile actuale la 154-240 kW/t, adică la cca. 2940 kW/unitate. Peste puteri mai mari intră în discuție ca motor de antrenare turbina cu gaze,
- transmisia are caracteristică de tracțiune hiperbolică ( $F_0 v = ct$ ) și randament mai mare de 80%,
- au posibilitate de frînare prin transmisie - frînare electrodinamică reostatică,
- permit folosirea combinată a frînei pneumatice cu frîna electrică.

Cele mai multe administrații de cale ferată din Europa și de pe alte continente, utilizează la locomotive diesel transmisia electrică, aceasta reprezentînd în momentul de față transmisia a peste 80% din totalul locomotivelor de linie din întreaga lume [27].

.//.



Transmisia electrică a locomotivelor diesel a cunoscut o evoluție continuă [27,28,29,30,31,32,33] .

De la începutul fabricației de locomotive diesel, transmisia a folosit ca motor de antrenare motorul serie de curent continuu. Generatorul de curent continuu, alimentează motoarele de tracțiune cu cuplaj serie, serie-paralel sau paralel. Este transmisia clasică curent continuu-curent continuu (c.c.-c.a.), prezentată în fig.4.1. pentru cuplajul în paralel al motoarelor de tracțiune.

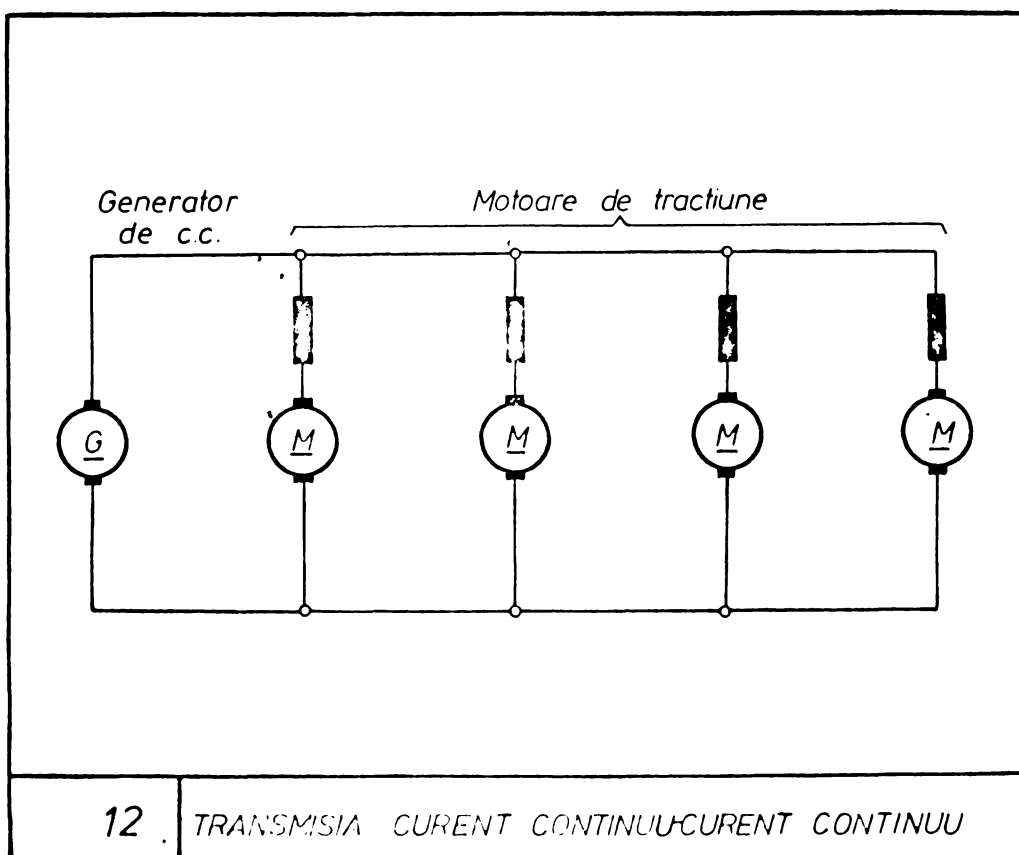


Fig.4.1.

Pe măsura dezvoltării tehnicii de construcție a motoarelor diesel, puterea și turația acestora a crescut continuu, atrăgând după ele construcții de generatoare de c.c. la puteri și turații mari.

././.

După cum se știe însă, puterea mașinilor electrice este dependentă de datele lor geometrice, încărcarea electrică și solicitarea magnetică. La valorile maxime ale acestor parametri pe care tehnica le permite pentru o funcționare sigură, s-a ajuns la o putere limită a generatorului de c.c. pentru transmisia electrică a locomotivelor de c.c. de 1800 kW.

Necesitatea de puteri mai mari, a condus, impulsionată de construcția elementelor electronice, la înlocuirea generatorului de c.c. cu generator sincron trifazat, care nu prezintă limitări în cadrul puterilor instalate actualmente în motorul diesel [34]. Folosirea generatorului sincron și a motorului serie de c.c. ondulat prin intermediul unui redresor, a stabilit a doua categorie de transmisie și anume transmisia curent alternativ-curent continuu (c.a. - c.c.), prezentată în fig.4.2.

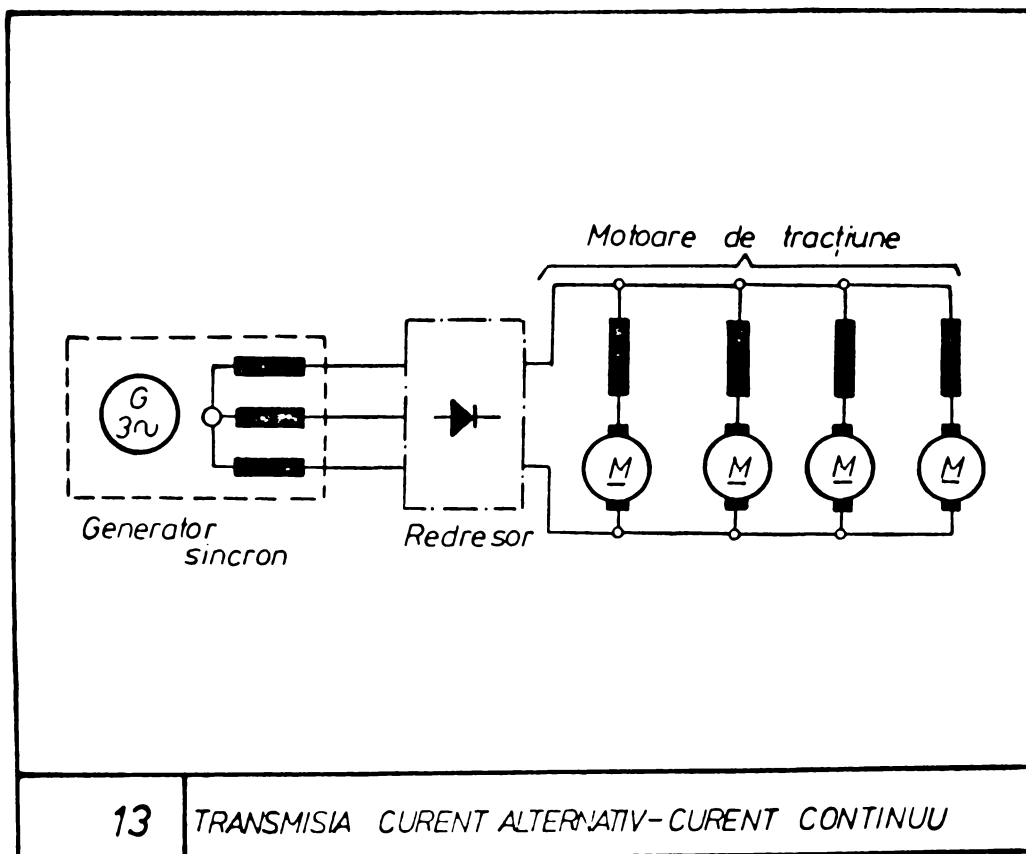


Fig. 4.2.

././.

Motorul de curent continuu serie, uzual în exploatarea feroviară, prezintă, cu toate perfecționările constructive, un punct slab: colectorul.

Realizarea generatorului sincron pentru tracțiune, precum și tehnica folosirii tiristoarelor, au permis înlocuirea motorului serie de c.c. cu motorul asincron în scurtcircuit, cu reglaj de turație comandat.

Acestea stabilesc cea de a treia grupă de transmisii și anume transmisia curent alternativ-curent alternativ (c.a.-c.a.) prezentată în fig.4.3. (Aceasta va fi transmisia electrică de viitor mai ales pentru locomotive diesel de puteri mari, o altă transmisie neputând să se încadreze în greutatea pe osie).

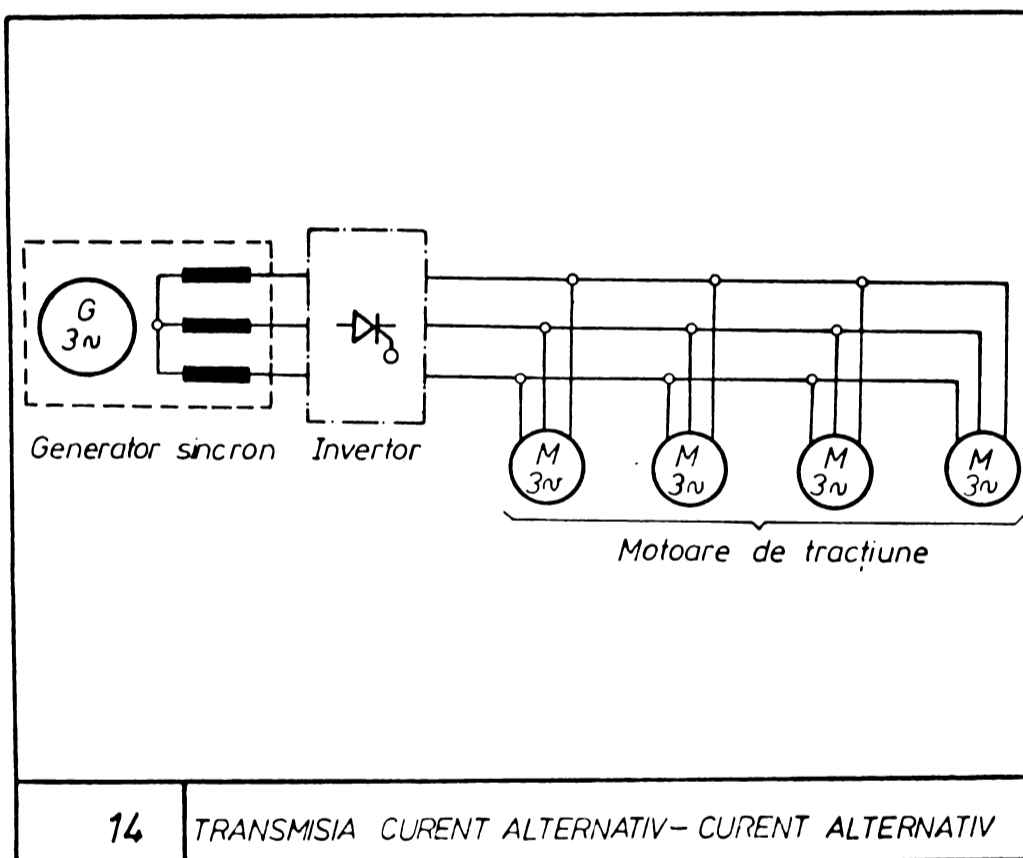


Fig.4.3.

././.

In țara noastră o statistică a sistemelor de tracțiune arată în felul următor:

Sistemul de tracțiune	%	1960	1965	1967	1970	1975
abur		98,7	59,72	41,96	20	
diesel		1,3	40,25	56,63	71	} 95
electrică		-	0,03	1,41	9	

Se observă procentul ridicat al tracțiunii diesel (electrice și hidraulice). De remarcat că pînă în prezent CFR-ul are în dotare cca. 1500 locomotive diesel electrice de 1540 kW. (2100 C.P.) De aici rezultă importanța ce se acordă dezvoltării și diversificării tracțiunii diesel cu transmisie electrică, (familia de LDE 1100 kW - 2940 kW (1500 - 4000 CP) cu motoare diesel ALCO).

Pentru orientare în ceea ce privește construcția de locomotive diesel electrice, se prezintă tabela 2 de mai jos care cuprinde caracteristicile unor locomotive europene reprezentative.

#### 4.2. Avantajele dotării cu frînă electrodinamică reostatică a locomotivelor diesel.

Procentul mare de locomotive diesel în parcul mondial de locomotive, recomandă o atenție mărită în legătură cu modernizarea locomotivelor existente și a celor nou construite, pentru a corespunde gradului de siguranță cerut de traficul feroviar actual.

Dotarea locomotivelor diesel cu frînă electrodinamică reostatică, prezintă avantaje care cresc performanțele lor tehnice, cu serioase consecințe pozitive economice și <sup>de</sup> transport. Aceste avantaje sînt de fapt cele pe care le prezintă în general frînarea electrodinamică și anume:

- creșterea siguranței circulației, datorită existenței pe locomotive a două sisteme de frînare independente.
- creșterea vitezei de coborîre a pantelor, frîna electrodinamică permițînd menținerea constantă a vitezei de coborîre.

././.

TABELA 2									
CARACTERISTICILE UNOR LOCOMOTIVE DIESEL-ELECTRICE REPREZENTATIVE									
Tipul transmisiei electrice		Continuu-Continuu			Alternativ - Continuu			Alternativ-alternativ	
Tipul de locomotivă		DEL 20 CC	BB 67000	BB 67300	DE 1500	CC 7200	M <sub>Z</sub>	DE 2500	
Constructor		Jung	Brissoneau et Lotz/MTE	Krupp	AEG-Telefunken	Alsthom	Nydquist Holm/Firsch	Rheinstahl Henschel	
Partea mecanică		Siemens	MTE/Oerlikon				A/S Thirp	BBC	
Partea electr.		CEH	SNCF	SNCF	WLE	SNCF	DSB	DB	
Administratie de cale ferată		Co'Co'	BB	BB	Bo'Bo'	CC	Co'Co'	Co'Co' / Bo'Bo'	
Formula osiilor		108	80	80	62	114	116	80	
Greutatea în serviciu t.		120	140/90	140/90	100	160/85	143	143	
Viteza maximă (mers rapid/încet)		-	-	-	Da	-	-	Da	
Frână electrică									
Motorul diesel		MD 870	SEMT 16	PA 4	MD 655	SACM-AGO	GM 16-	MTV MA 12V	
Tip		1470	1760	1760	1100	VL6-ESHR	645 E3	956 TB 11.	
Puterea după U.I.C.		2 000	2 400	2 400	1 500	2 640	2 420	1 840	
Turația nominală		1 500	1 500	1 500	1 500	3 600	3 300	2 500	
Generatorul principal		cc	cc	ca 3 sincr.	ca 3 sincr.	ca 3 sincr.	ca 3 sincr.	ca 3 sincr.	
Curent		cc	cc	cc	cc	cc	cc	ca 3 asincr.	
Electromotoarele de tracț.		6	2	2	4	2	6	6/4	
Curenți		Paralel	Paralel	Paralel	Paralel	Paralel	Paralel și serie-	Paralel	
Numărul electromot.									
Conexiune									

- folosirea rațională a energiei cinetice a trenului, datorită sporirii vitezei medii de coborîre a trenului față de frîna pneumatică, ceea ce duce la economii de combustibil (la coborîrea pantelor motorul diesel rămîne în funcțiune la mers în gol),
  - reducerea uzurii bandajelor roților locomotivei și vagoanelor și a consumului de saboți, micșorarea uzurii pieselor care servesc pentru transmiterea efortului de frînare. Se apreciază că consumul de saboți crește rapid odată cu creșterea vitezelor de circulație, ajungînd să fie de 7 ori mai mare de 160 km/h față de 100 km/h,
  - ameliorarea condițiilor de lucru a echipamentului electric datorită reducerii cantității de praf metalic de la saboți și bandaje,
  - sporirea eficacității frînelor mecanice, care fiind utilizate mai puțin, lucrează la temperaturi mai reduse și deci cu coeficient de frecare ridicat.  
Pe pante lungi, coeficientul de frecare poate să scadă cu mai mult de 60%.
- In cazul frînării electrodinamice saboții de frînă sînt aproape reci, astfel că în caz de nevoie, la o frînare rapidă se poate asigura o frînare cu eficacitate maximă, utilizînd și saboții.
- reglarea fină a forței de frînare, ceea ce contribuie la confortul călătorilor, permite automatizarea procesului de conducere a locomotivei și ușurează simțitor munca mecanicilor,
  - reducerea numărului de roți defecte cu bandaje slăbite, datorită supraîncălzirilor.

#### 4.3. Puterea frînei electrodinamice a locomotivelor diesel

Motoarele de tracțiune ale transmisiilor electrice ale locomotivelor diesel, funcționează în regimul de tracțiune la putere constantă, regim optim de exploatare a motorului diesel. Produsul  $F_0 v = ct$  la obază, înseamnă de fapt  $P = ct$  pentru mașinile electrice ale transmisiei.

.//.

Din cele de mai sus rezultă că la transmisiile c.c. - c.c. și c.a. - c.a., valorile extreme ale tensiunii și curentului nu pot fi îndeplinite simultan deoarece  $U \cdot I = ct$ , cu alte cuvinte, puterea de dimensionare a motoarelor de tracțiune este mai mare decât puterea de funcționare. (Puterea de dimensionare este  $U_{max} \cdot I_{durată}$ ). Întrucât în regim de frînare se poate merge cu valoarea curentului motorului de tracțiune până la valoarea curentului de durată și cu tensiunea până la aproape de valoarea maximă (limitată numai de comutație), rezultă că puterea motoarelor de tracțiune în regim de frînare poate fi folosită aproape de puterea lor de dimensionare, adică poate depăși puterea de tracțiune.

La transmisia c.a. - c.a. puterea de frînare poate fi egală cu puterea de tracțiune.

Puterea frinei electrice pe locomotive diesel nu depinde însă hotărâtor de puterea pe care o pot dezvolta motoarele de tracțiune în regimul de frînare. În cea mai mare măsură această putere este limitată de puterea ce se poate instala în rezistențele de frînare, în spațiul disponibil în locomotivă.

#### 4.4. Amplasarea utilajului de frînare electrodinamică pe locomotivă

Deoarece spațiul disponibil în locomotivă este destul de restrâns, dotarea locomotivelor diesel electrice cu frînă electrodinamică, trebuie să se facă cu minimum de aparatură în plus.

Aparatura de comandă se amplasează de obicei în blocurile și pupitrele de comandă existente pentru regimul de tracțiune. Controlerul de comandă se modifică corespunzător, pentru a asigura transmiterea comenzilor și în regimul de frînare.

Două agregate au volum mai mare și introduc greutate de montaj: comutatorul tracțiune-frînare și rezistorul de frînare.

Montarea comutatorului tracțiune frînare și realizarea secționărilor circuitului de forță necesare pentru schimbarea regimului de funcționare, ridică probleme deosebite, care de obicei conduc la redimensionări.

././.

Cel mai voluminos agregat rămâne însă rezistorul de frinare din care cauză i se atribuie și o atenție deosebită.

Rezistorul de frinare trebuie să aibe gabarit și greutate minime. Ea se execută din aliaje speciale de tipul nichel-crom, Alcrothal, Feral, care prezintă funcționări sigure la temperaturi ridicate de  $1000 + 1100^{\circ}\text{C}$ . Greutățile minime realizate sînt  $0,5 \text{ kg/kW}$ . (în construcție bloc ventilat).

Pentru mărirea puterii de frinare, rezistoarele de frinare trebuie ventilate forțat. Există construcții de rezistoare de frinare: răcite cu gazele de eșapare de la motorul diesel, agregate autonom ventilat forțat cu ventilator propriu sau montate pe acoperișul locomotivei cu răcire naturală în mers.

În ultimii ani, realizarea blocurilor de frinare de  $2500 \text{ kW/m}^3$  ventilate forțat, a permis instalarea pe locomotivă a unor frîne electrice de puteri mari [35].

Amplasarea rezistorului de frinare rămîne însă o problemă deschisă pentru fiecare tip de locomotivă. În foto 4.1. se prezintă amplasarea rezistoarelor de frinare în bloc cu ventilație forțată, iar în foto 4.2. se arată montarea pe acoperiș a rezistoarelor de frinare la rama automotor WMD - WR - WM a căilor Ferate Elvețiene.

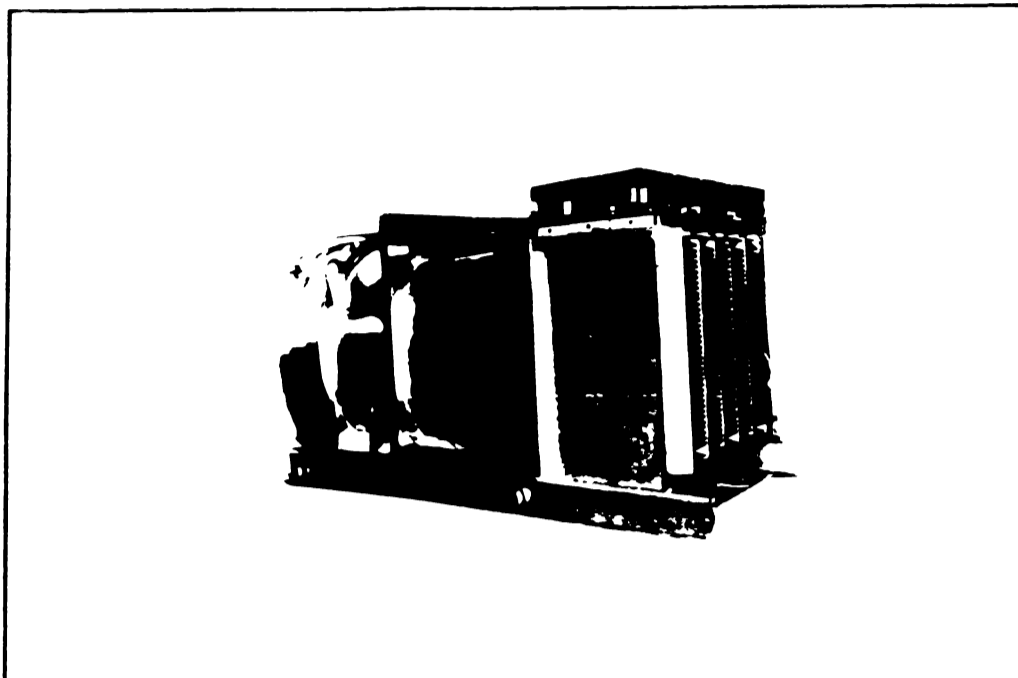
#### 4.5. Evoluția frînei electrodinamice în tracțiune diesel

În literatura de specialitate se menționează ca primă realizare frîna electrodinamică reostatică a locomotivelor sovietice O-El-6 și O-El-7, construite în 1931 la Kolomna. Ea a fost utilizată ca frînă de menținere a vitezei pe pante, fără folosirea frînei pneumatice, sau pentru reducerea vitezei înainte de oprire. Schema principală a acestor locomotive este cea din fig. 4.4.

Trecerea de la regimul de tracțiune la regimul de frinare se execută prin controler cu ajutorul căruia, la poziții inferioare, motoarele se deconectau de la generator, iar pe poziții superioare se modifica curentul de excitație al acestora. În timpul frînării electrodinamice, motorul diesel era oprit. Excitația era asigurată de bateria de acumulare.

././.

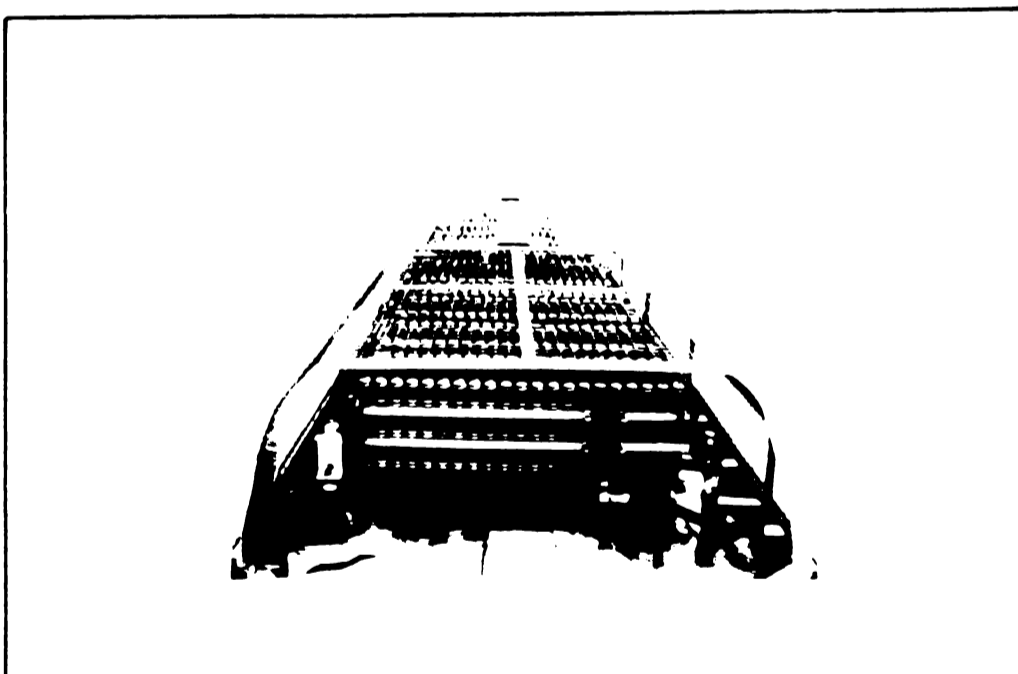




15

BLOC DE REZISTOR DE FRÎNARE CU  
VENTILAȚIE FORȚATĂ

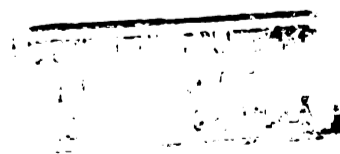
Foto 4.1.



16

MONTAJ PE ACOPERIȘ AL REZISTORULUI  
DE FRÎNARE

Foto 4.2.



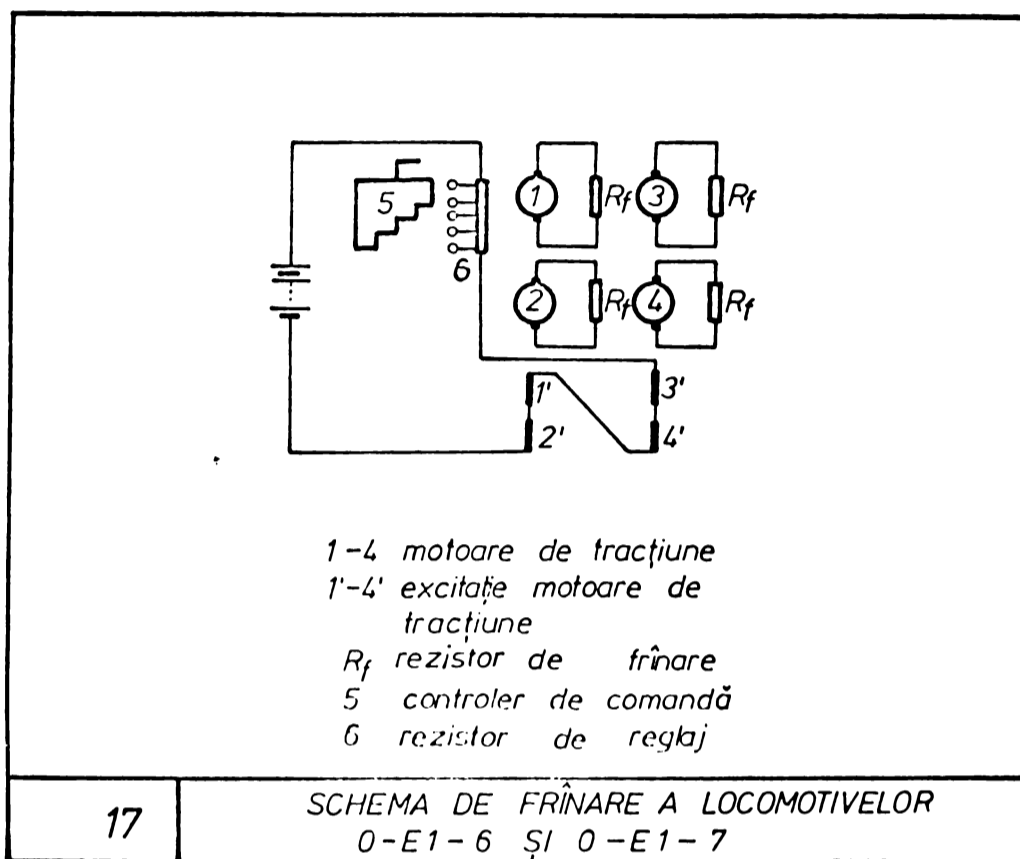


Fig.4.4.

In 1942 firma americană Electro-Motive, a început echiparea locomotivelor diesel electrice cu frînă electrodinamică reostatică, după schema din fig. 4.5.

Reglajul forței de frînare se face de această dată indirect, prin excitația generatorului principal. Ca noutate apare ventilarea forțată a rezistorului de frînare, ceea ce conduce la micșorarea gabariturii acestuia și la mărirea puterii instalate.

In 1947, se construiesc în Elveția (la Winterthur) locomotive de 550 kW. (750 CP), cu frînă electrodinamică reostatică. Reglajul forței de frînare se face prin variația turatiei motorului diesel, prin care se modifică tensiunea de excitație. Ca noutate la această frînă se remarcă folosirea parțială a energiei electrice de frînare pentru alimentarea mașinilor auxiliare și a ventilatorului rezistoarelor de frînare [36].

././.

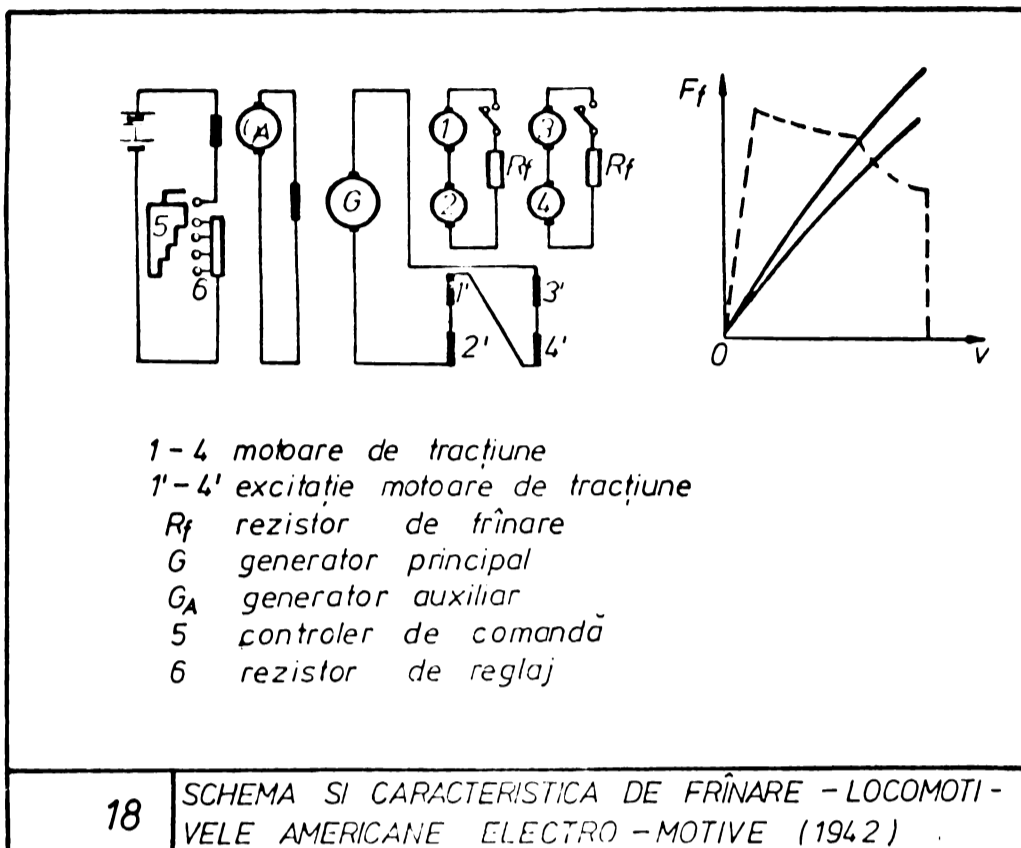


Fig. 4.5.

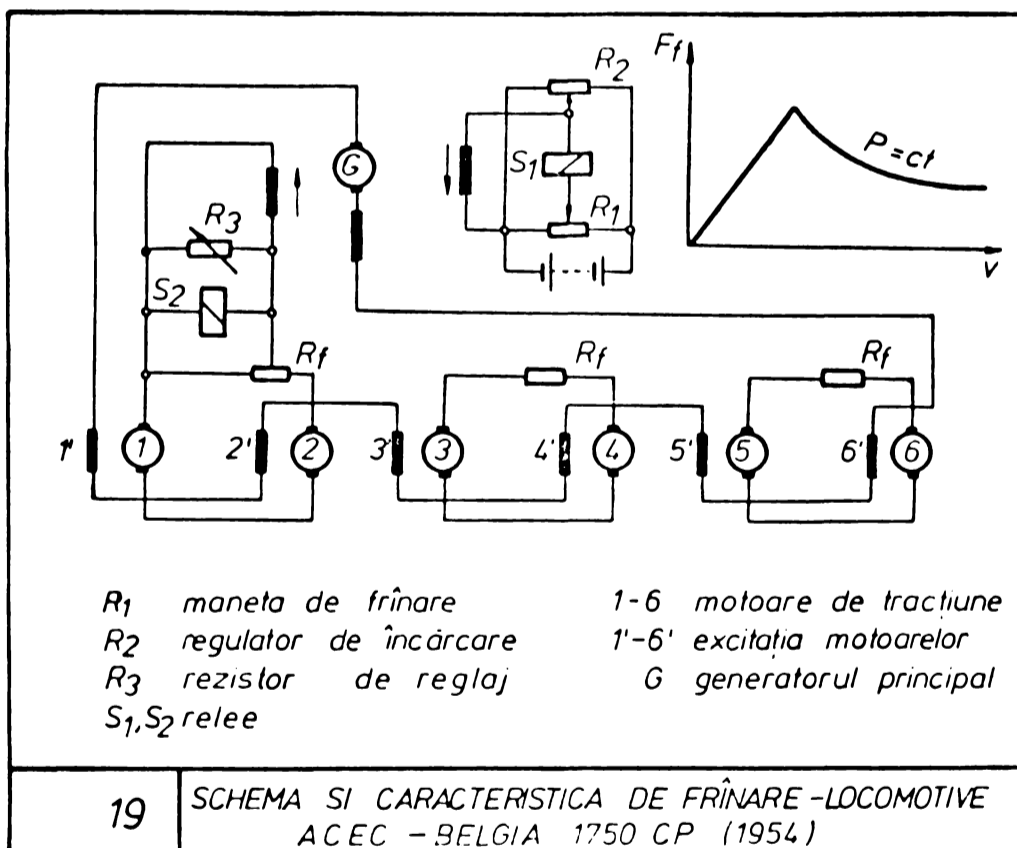


Fig. 4.6.

În 1954, în Belgia, firma ACEC construiește 20 locomotive diesel electrice de 1280 kW. (1750 CP.), cu frână electrodinamică reostatică de menținere [50]. Schema de frână a acestei locomotive prevede introducerea înfășurării derivației a generatorului în circuitul de frână al motoarelor de tracțiune și conectarea ei în așa fel încât să lucreze ca înfășurare de excitație anticompund față de înfășurarea separată folosită la modificarea forței de frână. Prin aceasta se realizează limitarea automată a curentului de frână.

Schema de forță și de excitație în regimul de frână a mașinilor electrice este cea din fig. 4.6.

Caracteristica de frână cu această schemă este prezentată de asemenea în fig. 4.6.

Reglajul pentru limitarea curentului de frână intervine în zona hiperbolică a caracteristicii de frână. Releul S 2 lucrează la valoarea maximă a căderii de tensiune pe  $R_f$  (corespunzător la  $I_{max}$ ). La aceste locomotive, în timpul frânării electrice motorul diesel este adus la turația de mers în gol.

Tot în 1954, pentru stabilizarea caracteristicilor de frână, firmele americane Alco și General Motors, la locomotivele diesel electrice de 1500 CP introduc înfășurarea de lansare a generatorului principal, în circuitul de excitație al motoarelor de tracțiune [22].

O schemă de acest fel este prezentată în fig. 4.7.

Excitația motoarelor de tracțiune este asigurată de generatorul principal (la mersul în gol al motorului diesel). Înfășurarea separată a generatorului principal este alimentată de la o amplidină, a cărei înfășurare de comandă este introdusă în circuitul de reglare cu amplificatoare magnetice.

Sistemul prevede modificarea manuală a curentului de excitație a motoarelor de tracțiune, de la valorile minime la valorile maxime și reglarea automată când s-au atins limitele curentului de frână după caracteristica de frână dată.

Procesul de frână este condus manual prin potențialul  $R_n$ . Schema asigură stabilitatea electrică și limitarea automată a curentului de frână după caracteristica din fig. 4.7.

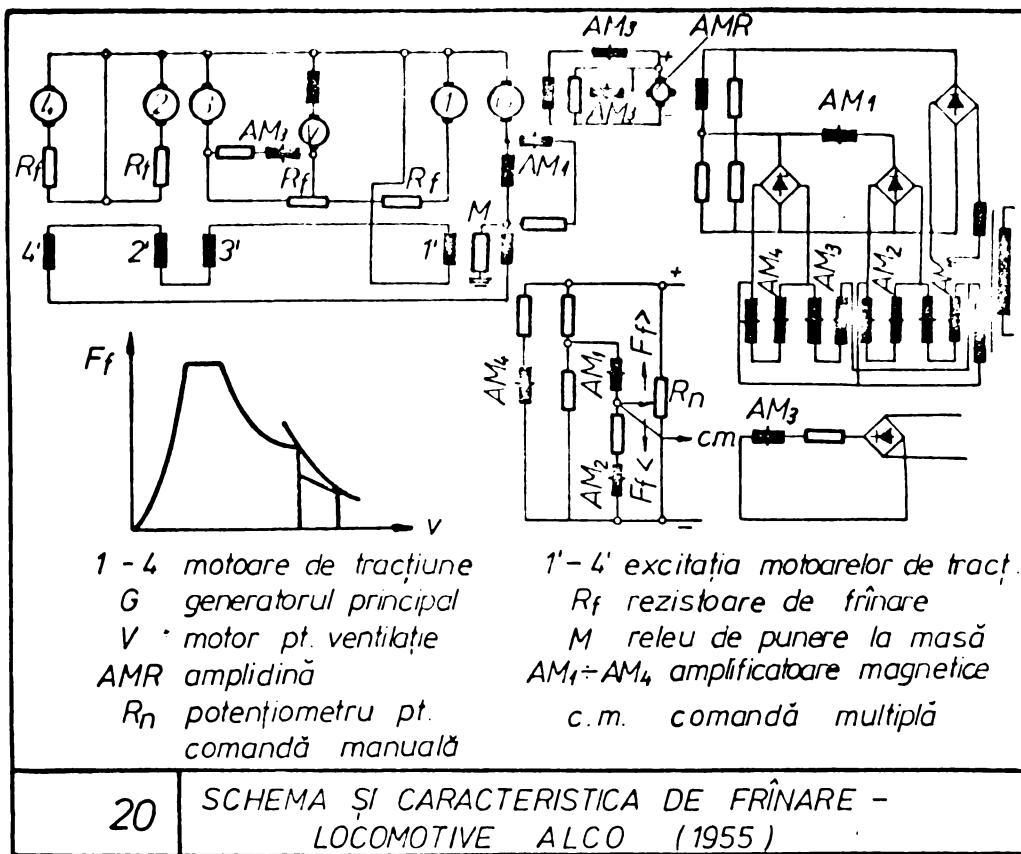


Fig. 4.7.

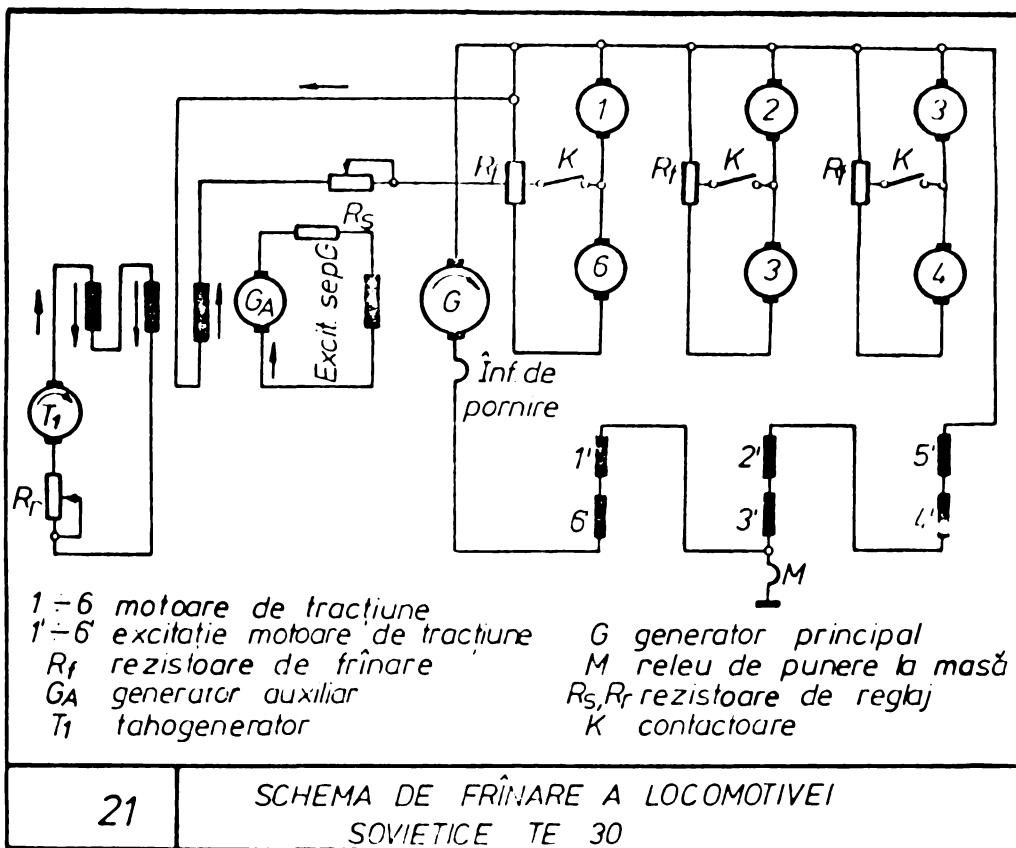


Fig. 4.8.

Tot ca evoluție a frînării reostatice la locomotivele diesel electrice trebuie menționate schemele locomotivelor sovietice TE 3 și TEP-10 care au particularități de reglaj și concepție [22].

Schema de frînare a locomotivei TE 3 este redată în fig. 4.8.

Cu această schemă, modificarea forței de frînare se realizează prin variația turatiei motorului diesel.

Tahogeneratorul  $T_1$  introduce o relație de proporționalitate între curentul de excitație al generatorului principal și turatia motorului diesel.

Cu ajutorul înfășurării derivație a generatorului auxiliar, cuplată potențiomtric pe rezistorul de frînare, se realizează anticompendarea generatorului auxiliar. Rezistorul  $R_g$  permite reglarea gradului de anticompendare, respectiv stabilitatea caracteristicilor de frînare. Prin variația rezistorului  $R_f$  se schimbă panta caracteristicilor, deci se asigură elasticitatea schemei. Schema aceasta prezintă multă aparatură iar motorul diesel lucrează neeconomic.

Schema de frînare a locomotivei TEP10 (fig.4.9.) realizează menținerea constantă a forței de frînare.

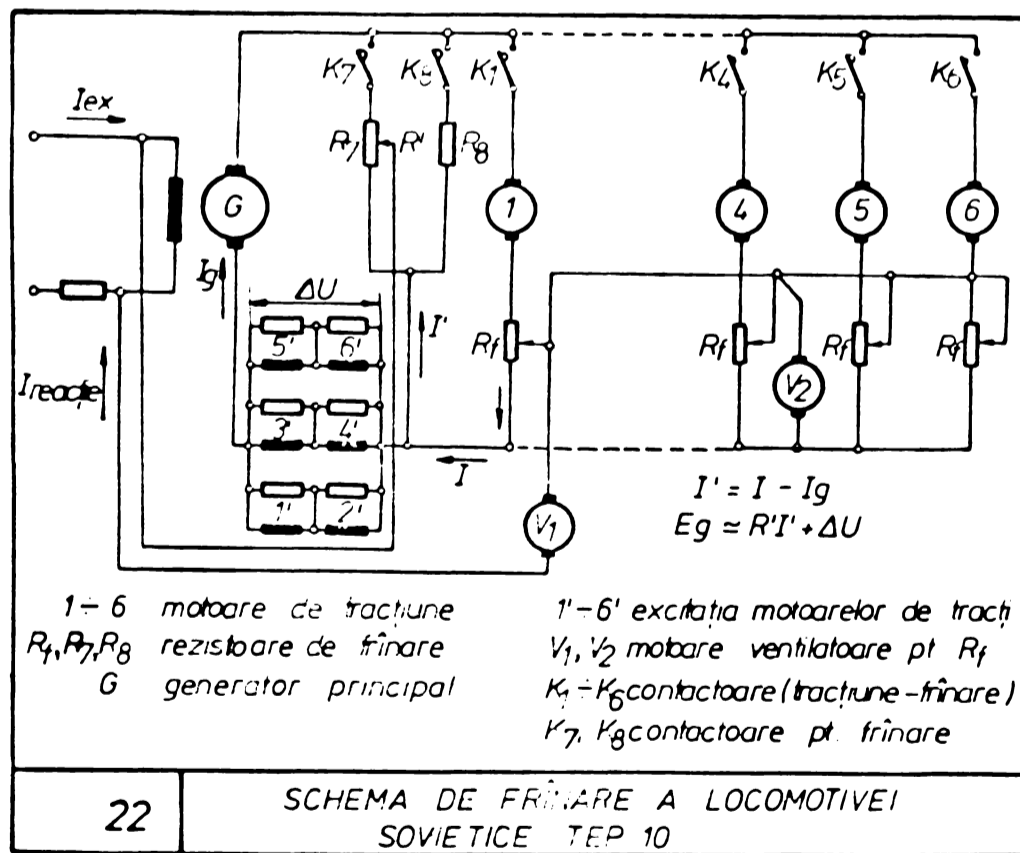


Fig.4.9.

In această schemă motoarele de tracțiune păstrează excitația serie iar generatorul principal lucrează în regim de motor, transmitând motorului diesel o parte din puterea de frînare (nu mai mare decât un anumit procent din partea lui de mers în gol).

#### 4.6. Locomotive diesel electrice moderne cu frînă electrodinamică reostatică

Urmărind evoluția construcției de locomotive diesel, se constată că înzestrarea lor cu frînă electrodinamică este negeneralizată, mai ales în Europa, cele câteva sute de bucăți executate chiar pînă în 1965 avînd un caracter experimental.

In tabela 3 se prezintă tipuri de locomotive diesel electrice construite după 1960 dotate cu frînă electrodinamică. (Din cercetarea bibliografică făcută, rezultă că pînă în prezent sînt în serviciu sute de locomotive cu frînă electrodinamică)

In cele ce urmează, se vor prezenta cîteva locomotive de construcție modernă tipice pentru serviciul prestat și pentru tipul transmisiei.

##### 4.6.1. Locomotive de manevră. Transmisie c.c. -c.c.

Se citează locomotivele elvețiene demarfa pentru serviciu ușor - Em 3/3 - de 440 kW.(600 CP) și cele pentru serviciu semigreu - Bm 4/4 - de 880 kW.(1200 CP) [30].

Schema de frînare este principial aceeași pentru cele două locomotive și anume ca în fig. 4.10.

La aceste locomotive motoarele de tracțiune au excitația separată atât în tracțiune cît și în frînare. Excitația separată a generatorului principal este alimentată de mașina E care are trei înfășurări de excitație. Înfășurarea anticompunder a acestei mașini este alimentată în regim de frînare, în conformitate cu schema din fig. 4.10, de suma a două căderi de tensiune proporționale cu curentul de frînare, respectiv cu curentul de excitație. Această combinație de excitații realizează o creștere a curentului de excitație a motorului de tracțiune în regim de frînare, odată cu scăderea curentului rotorului.

././.

Tabela 3

Locomotive diesel electrice moderne cu frână  
electrodinamică (1960 - 1976)

Tara și firma producătoare	Beneficiar	Puterea CF/kW.	Tipul	V <sub>max</sub> km/h	Observații
Anglia/English Electric	Sudan	<u>1850</u> 1850	Co-Co	60	
Anglia/Bri- tish Thomson	Africa de Est	<u>1100</u> 1100	Co-Co	88,5	
Anglia/Brush	Anglia și U.R.S.S.	<u>4000</u> 4000	Kestrel/ Co-Co	201	
Franta/ Alsthom	Ecuador	<u>2x610</u> 2x440	Bo-Bo- Bo-Bo		
Franta/ Alsthom	Etiopia s.a.	<u>2400</u> 2400	CC2400	60	
RFG/Krupp, Telefunken	export	<u>1500</u> 1500	Bo-Bo	100	
RFG/Henschel BBC	DBB/RFG	<u>2500</u> 2500	Bo-Bo/ Co-Co	143	
RFG/Siemens, Henschel	Grecia	<u>2000</u> 2000	DE2000 Co-Co	120	
Elveția/SLM	SBB/Elveția	<u>600</u> 600	Em <sup>3</sup> /3-c	65	
Elveția/SLM	SBB/Elveția	<u>1200</u> 1200	Bm <sup>4</sup> /4 Bo-Bo	75	
Australia/ Goodwin	Australia	<u>975</u> 975	Co-Co	96,5	
Australia/ Clyde	Australia	<u>3000</u> 3000	GT26c/ Co-Co	-	
Japonia/ Mitsubishi	Noua Zeelanda	<u>1050</u> 1050	BoBoBo	-	
Belgia/Bru- geoise Nivelles	Belgia	<u>1950</u> 1950	205/ Co-Co	120	
Belgia/Cocke- rill Augrée	Sudan	<u>1850</u> 1850	Co-Co	85	
Ungaria/Gantz Navag	R.P.U.	<u>2700</u> 2700	Co-Co	130	
SUA/ALCO	Atlantic Coast Line	<u>2750</u> 2750	Century 628	110	Modificată pt. frâ- nă electrodinamică
SUA/ALCO	Export	<u>2000</u> 2000	Century 620	110	"
SUA/ALCO	Export	<u>1050/ 950</u> 1000	DL-531B	110	
		<u>710</u> 710			
		..//.			



continuare

Tara și firma producătoare	Beneficiar	Puterea	Tipul	V <sub>max</sub> km/h	Observații
SUA/ALCO	S.U.A.	$\frac{3600}{2275}$	Century 636	134	
SUA/General Electric	S.U.A.	$\frac{2250}{1650}$	U23c/Co-Co	-	
SUA/General Motors	Argentina	$\frac{1500}{7200}$	G 22C	-	
SUA/General Motors	Argentina	$\frac{2200}{1400}$	GT26CW	-	
RSCC/CKD Praga	RSUS	$\frac{--}{1760}$	T.449.o	140	
SUA/General Electric	Amtrak S.U.A.	$\frac{3320}{2440}$	P 30 CH	165	
Franta/CEM	Congo	$\frac{3600}{2650}$	BB - BB	120	
Franta/Alsthom	Gabon	$\frac{--}{2060}$	AD 3000 A <sub>1</sub>	120	
Franta/Alsthom	China	$\frac{--}{2940}$	AD 4000 A <sub>1</sub>	140	

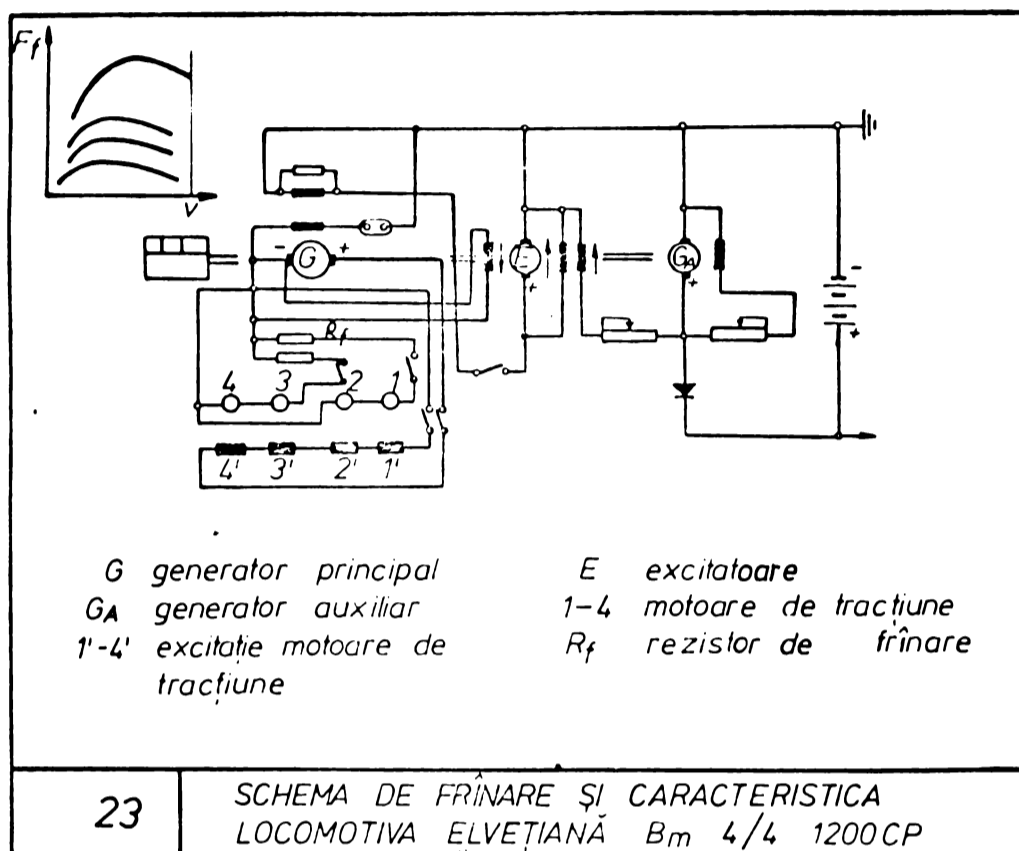


Fig. 4.10.

Frînarea electrică a acestor locomotive are deci o caracteristică anticompund. La locomotiva B<sub>m</sub> 4/4 (fig.4.10) prin cele 11 trepte de frinare rezultă o forță de frinare aproximativ constantă sau foarte puțin dependentă de viteză.

#### 4.6.2. Locomotive de linie. Transmisie c.c. - c.c.

Se vor cita câteva construcții americane, SUA avînd o mare experiență în problema frînei electrodinamice la locomotivele diesel cu transmisie c.c. - c.c. [37,38,39,40,41,42].

Locomotivele seria Century ale firmei Alco, se construiesc cu frînă electrodinamică sau se modifică pentru montarea ei ulterioară. În regim de frinare motoarele de tracțiune lucrează cu generatoare cu excitație separată debitînd pe rezistoare de frinare proprii, de valoare constantă.

././.

Sistemul de comandă a excitației "tip E" fig. 4.11. pentru reglajul de putere în tracțiune, precum și pentru limitările impuse de diverse protecții, folosit de firma Alco, oferă calități și performanțe deosebite la un preț de cost redus. Acest sistem lucrează asupra excitației separate a excitatricei generatorului de tracțiune, comandând modificarea tensiunii în conformitate cu influența înfășurărilor de comandă ale amplificatorului magnetic. Sub influența înfășurărilor de comandă de la frâna electrodinamică reostatică, prin amplificatorul magnetic se modifică valoarea curentului mediu de excitație al excitatricei, astfel ca să se obțină limitarea curentului de frinare (scade valoarea medie a curentului tranzistorului EFT 3). Cu un astfel de sistem de comandă a excitației, la locomotiva Century 424 de 1760 kW. (2400 CP), s-a obținut caracteristica de frinare din fig. 4.11.

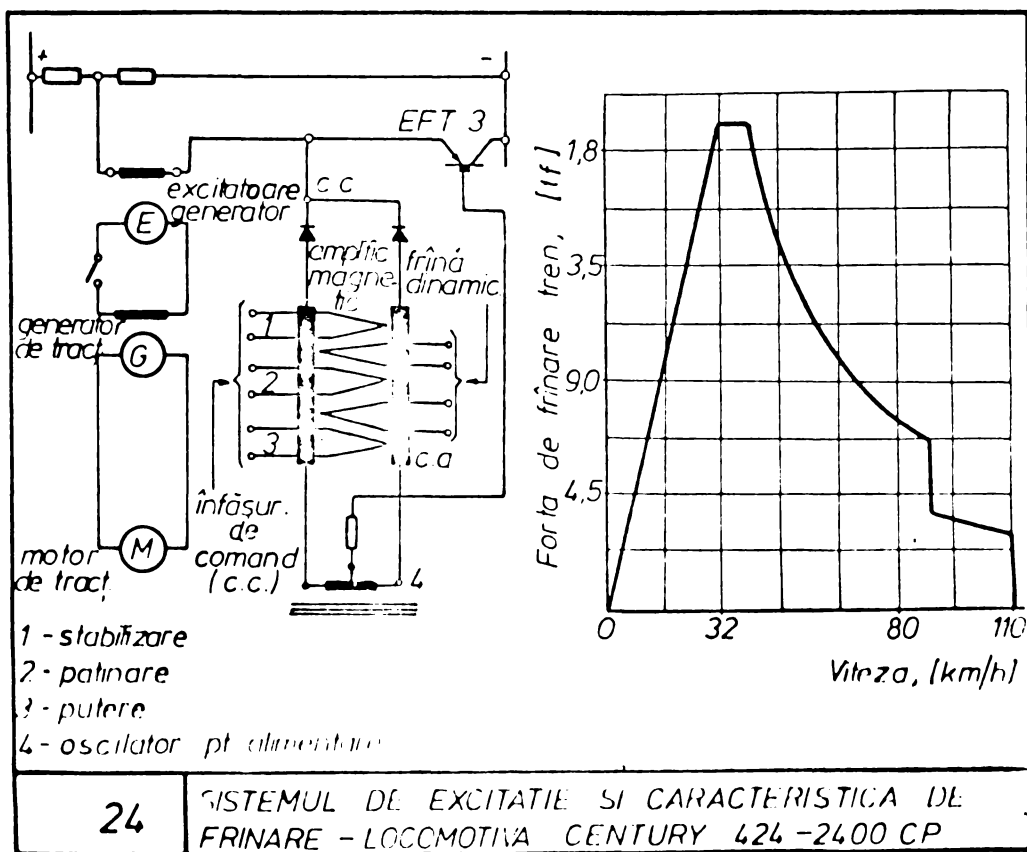


Fig. 4.11.

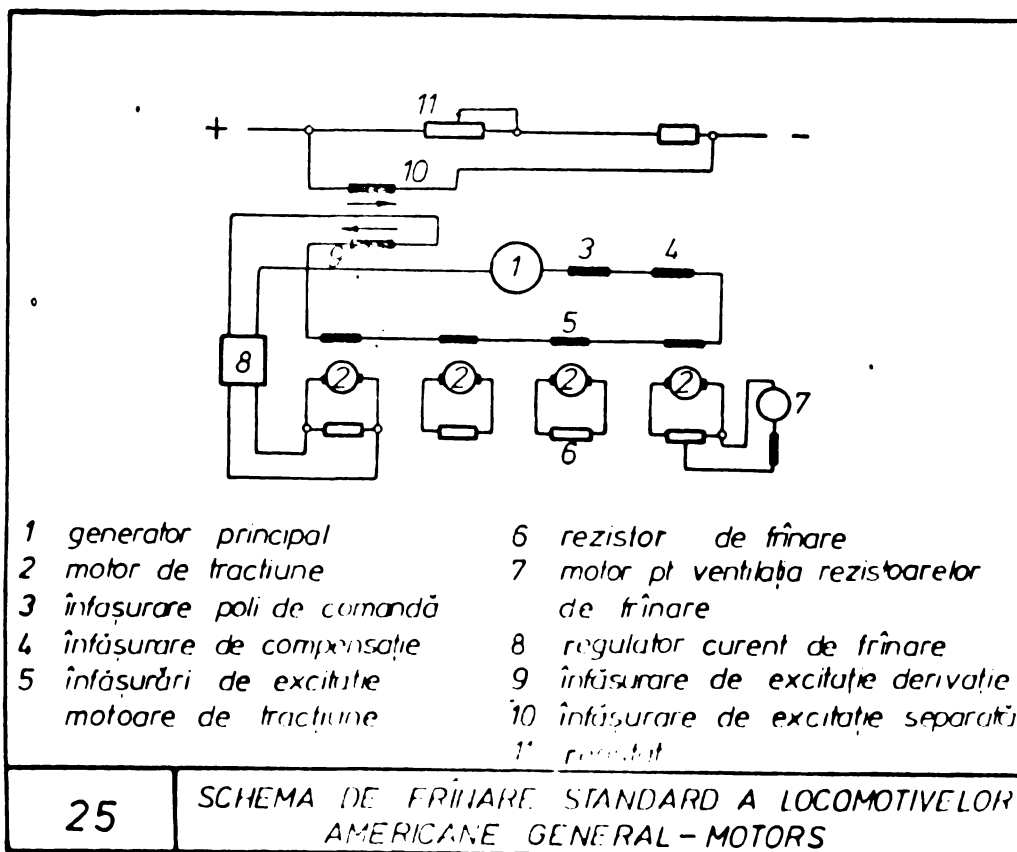
././.

Cîteva tipuri de locomotive din seria Century sînt date în tabela 3.

Locomotivele diesel electrice ale firmei General Motors sînt echipate în marea lor majoritate cu frînă electrodinamică după schema din fig. 4.12. Modificarea forței de frînare se face prin variația excitației separate a generatorului principal cu ajutorul unui reostat acționat de controlerul principal, iar limitarea circuitului de frînare se realizează prin anticompundera generatorului principal.

Printre ultimile realizări ale firmei General Motors se citează locomotivele G 22 C de 1100 kW.(1500 C.P.) construite pentru Argentina.

Se menționează de asemenea locomotivele DEL 20 BB ale firmei Siemens la care, ca particularitate apare generatorul Hall folosit pentru măsurarea forței de frînare (face produsul curent excitație - curent frînare). Dispozitivul de reglare (aceleși pentru tracțiune și frînare) este construit cu circuite electronice ale cărui grupe de bază sînt amplificatoare de reglaj tipizate. [31, 43, 46].



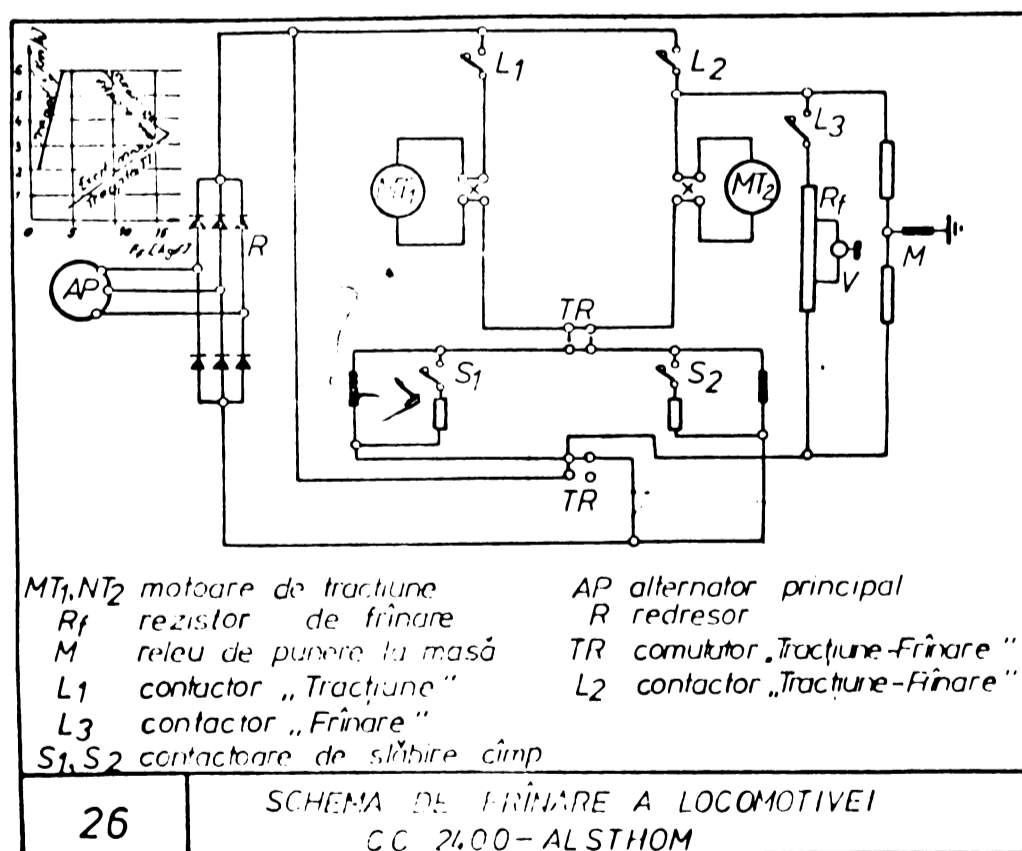
4.6.3. Locomotive cu transmisie c.a. - c.c.

Din experiența firmei Alsthom - Franța [47] importantă furnizoare de locomotive diesel electrice, se poate exemplifica locomotiva CC 2400. Această firmă utilizează în mod curent boghiul monomotor și astfel transmisia are două motoare de tracțiune, al căror circuit de forță pentru tracțiune și frînare este prezentat în fig. 4.13.

Schema de frînare este o schemă clasică, cu cele două rotoare în serie debitând pe un rezistor de frînare comun, iar excitațiile înseriate alimentate de la alternator, prin redresor.

Potentialul circuitului este fixat de releul de punere la masă, M, astfel încât tensiunea nu poate depăși în nici un punct, jumătate din tensiunea totală.

Comanda pentru modificarea forței de frînare se dă prin controlerul de comandă care, în domeniul de "Frînare" are 17 trepte. Prin aceste trepte se comandă variația turatiei motorului diesel și în consecință excitația motoarelor de tracțiune în regimul de frînare.



Caracteristica de frînare obținută cu ajutorul celor 17 trepte de frînare are desfășurarea din fig. 4.13.

O schemă originală de frînare electrică o are locomotiva de 1980 kW. (2700 C.P.) tip DMV 10, construită în 1970 - 1971 de uzinele Ganz-Mavag și Ganz-Electric din R.P.U. [45]. În această schemă, rolul rezistorului de stabilizare este preluat de o parte a înfășurării de excitație (fig. 4.14)

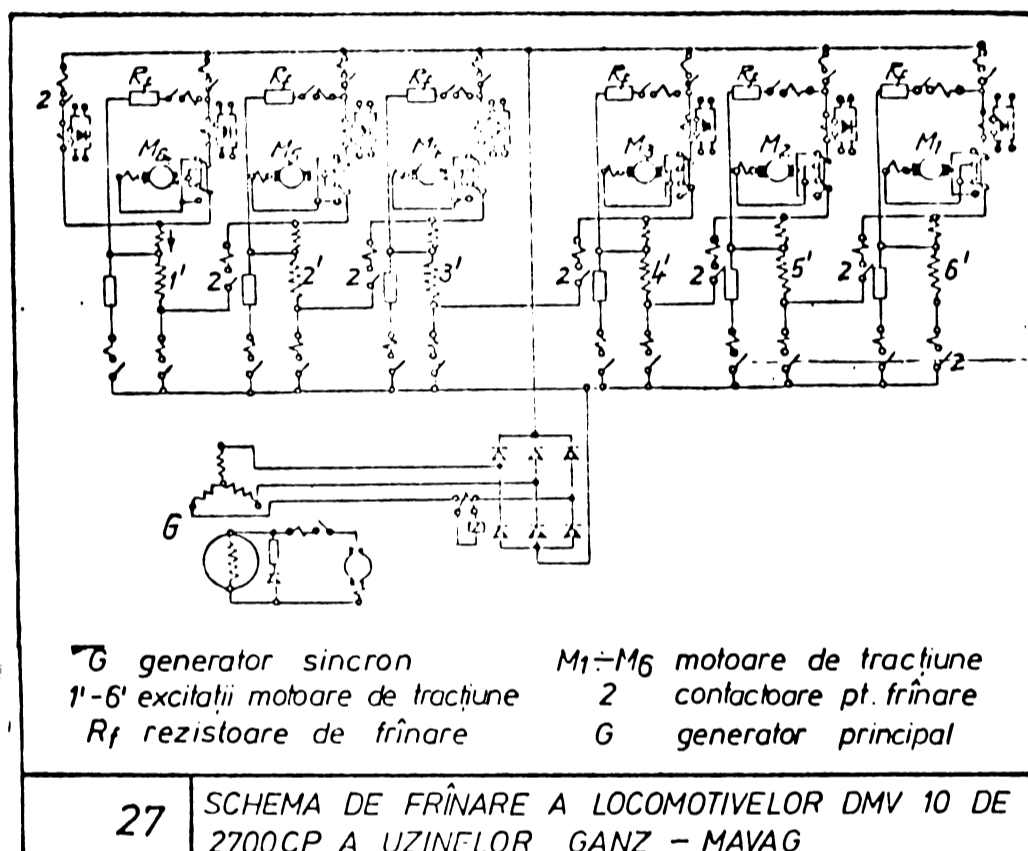


Fig. 4.14.

În regimul de frînare, controlul echipamentului circuitului de forță se efectuează prin controler, care este cuplat mecanic cu robinetul frânei pneumatice.

În frînare normală trenul este frînat pneumatic, pe cînd locomotiva este frînată numai electric.

Controlerul poate fi acționat independent de robinetul frânei pneumatice. În acest caz, frîna electrodinamică a locomotivei frînează și trenul.

Cele două frîne nu funcționează împreună în nici o situație. Trecerea de la un sistem de frînare la altul se face automat.

Reglajul forței de frînare se comandă prin excitația generatorului principal, în conformitate cu programul prescris.

Locomotiva Kestrel, realizată în 1968 de firma Brush din Anglia [28] este prevăzută cu trei sisteme de frînare: cu aer comprimat, cu vacuum și electric.

Frîna electrodinamică reostatică și cea cu aer comprimat pentru tren, sînt combinate după un program de viteză și sînt comandate de la un singur robinet.

Locomotiva este frînată mai întîi cu aer comprimat, apoi se conectează și frîna electrodinamică reostatică. De la începutul frînării electrodinamice, pînă la atingerea excitației maxime, forța de frînare este reglată electronic.

În timpul funcționării frînei electrodinamice, frîna cu aer comprimat se deconectează. Sub 50 km/h, cînd frîna electrodinamică nu mai este eficientă, se acționează din nou frîna pneumatică pînă la oprirea trenului.

Caracteristica de frînare a locomotivei Kestrel este cea din fig. 4.15.

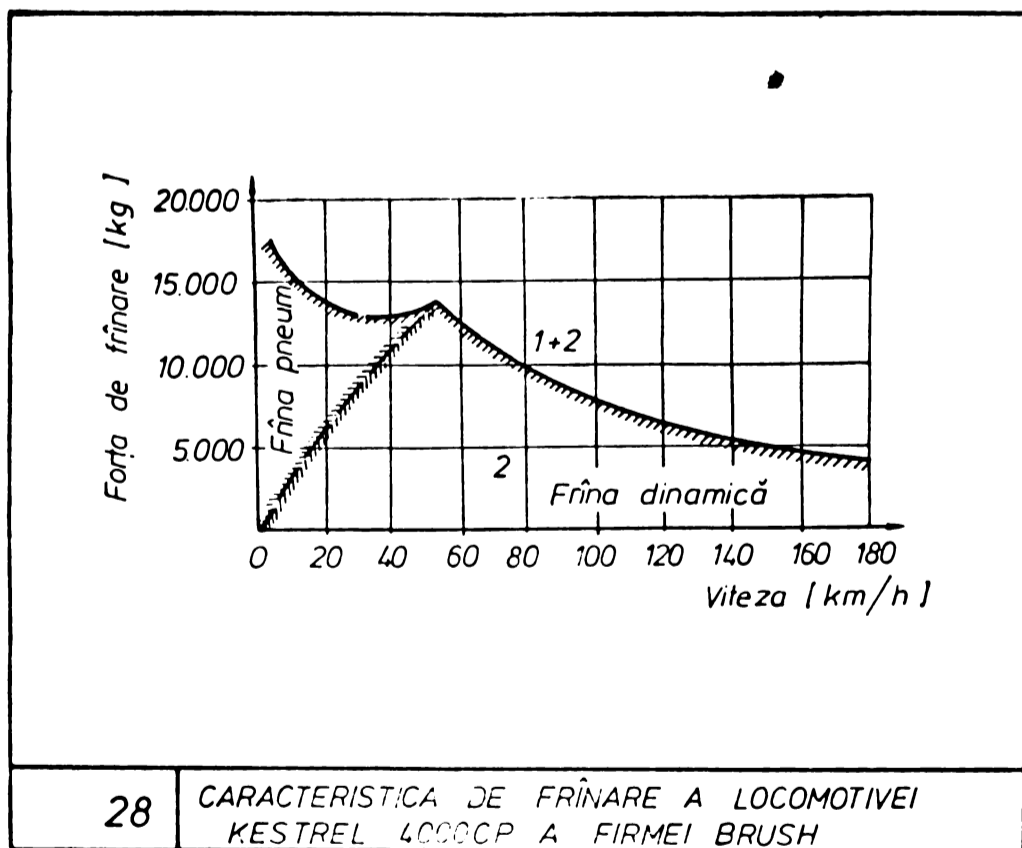


Fig. 4.15.

În timpul frînării electrodinamice, curentul de excitație este asigurat de tiristoare, modificarea lui fiind obținută prin modificarea urghiului de aprindere a tiristoarelor.

Puterea instalată în rezistorul de frînare este de 1080 kW. Rezistoarele de frînare sînt montate în două blocuri și sînt ventilate forțat.

#### 4.6.4. Locomotive cu transmisie c.a. - c.a.

Pînă în prezent transmisia c.a. - c.a. la locomotivele diesel este realizată de firmele Henschel - BBC, Hawk-Brush (100 kW) și Brissonneau (locomotivă mică cu cicloconvertor). Pentru firma Henschel prototipul 1-a constituit locomotiva tip DE 2500 pe 6 osii [47].

Tehnica transmisiei c.a. - c.a. începută de firmele Henschel - BBC în 1965 s-a pus la punct prin locomotiva DE 2500, în continuare avîndu-se în vedere folosirea acestei transmisii la locomotiva DE 3000 și pentru locomotive de puteri mai mari.

În cazul transmisiei trifazate de forță, frîna electrodinamică se poate realiza cu ușurință, cu un minimum de aparatură suplimentară: rezistorul de frînare și un contactor pentru aceasta (fig. 4.16.)

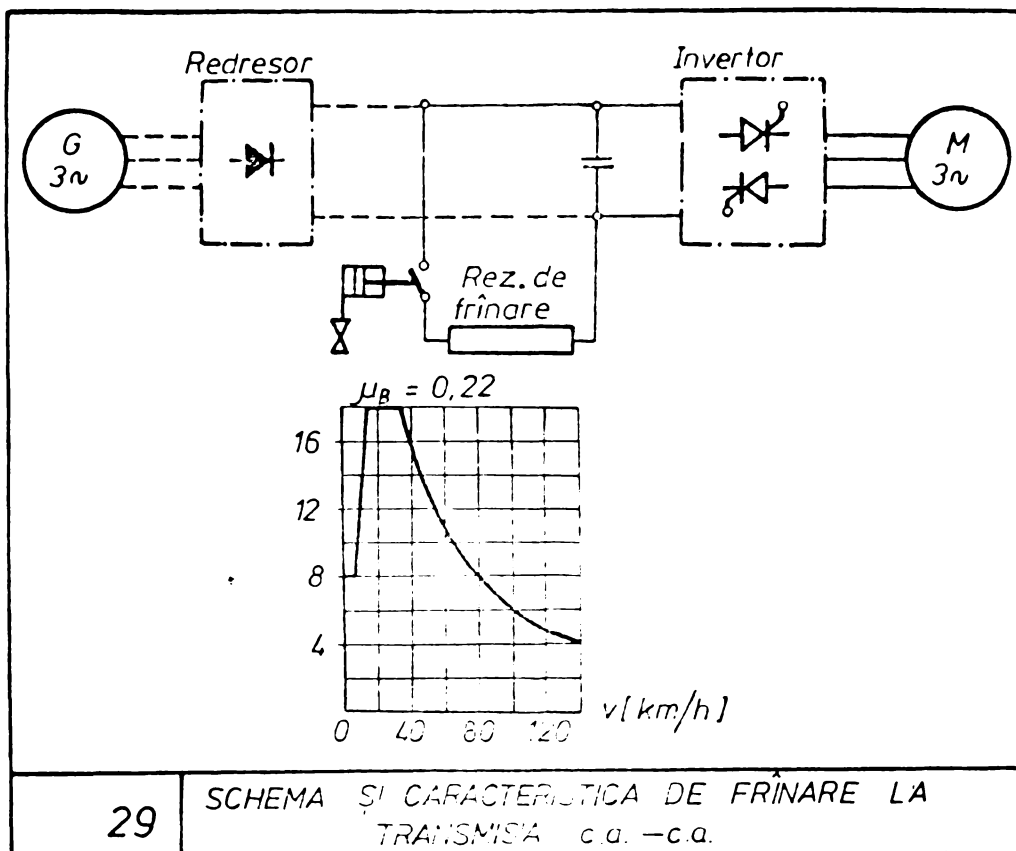
Pentru ca mașina asincronă de tracțiune să treacă în regim de frînare electrodinamică, este necesară numai o rețea "conducătoare" care să furnizeze tensiunea și frecvența corespunzătoare.

Această rețea este constituită din circuitul intermediar de curent continuu și invertor (ondulator). Trebuie doar ca frecvența invertorului să fie mai mică decît cea corespunzătoare turației din tracțiune, pentru trecerea turației în sincronism și schimbarea semnelui cuplului. O întoarcere de energie către generator nu este posibilă din cauza redresorului.

Rezistorul de frînare are o valoare constantă. Variația forței de frînare se obține prin modificarea tensiunii circuitului intermediar. Rețeaua electronică asigură menținerea corectă a frecvenței în rețea.

././





29

SCHEMA ȘI CARACTERISTICA DE FRÎNARE LA TRANSMISA c.a.-c.a.

Fig. 4.16.

#### 4.7. Frîna electrodinamică reostatică la locomotive diesel fabricate în R.S.R.

La noi în țară, se construiește din 1960 locomotiva diesel electrică oCo-DA de 1540 kW.(2100 C.P.) În concepția sa inițială această locomotivă nu a fost prevăzută cu frînă electrodinamică.

La cererea CFR-ului, beneficiarul locomotivei, s-a realizat încercînd cu 1968 o variantă constructivă cu  $v_{\max} = 120$  km/h, pentru călători.

Modernizarea acestei locomotive pentru traficul de călători la viteze sporite, a condus la ideea montării unei frîne electrodinamice reostatice.

Inzestrarea locomotivei de 1540 kW.(2100 C.P.) cu frînă electrodinamică, pe construcția existentă este dificilă, datorită spațiului foarte restrîns ce se poate folosi pentru montarea aparatului suplimentar. Rezolvarea practică a fost obținută

..//.

tă prin cercetările pe care le-am întreprins ca proiectant de locomotive și care s-au concretizat prin proiectarea și realizarea pentru prima oară în țară a unei frâne electrodinamice pe o locomotivă diesel cu transmisie electrică.

Soluția teoretică și modul de realizare fac obiectul capitolului 6, în care se prezintă experimentările efectuate pe locomotiva diesel electrică o6o DA 286.

În anul 1970 s-au construit la Uzina Electroputere două locomotive tip o6o DB de 1840 kW. (2500 C.P.) tropicalizate, derivate din construcția locomotivei de 1540 kW. (2100 C.P.), care au fost echipate cu frână reostatică. Deoarece varianta de 1840 kW. (2500 C.P.) a fost construită cu un singur post de conducere, s-a putut amplasa în spațiul fostului post de conducere II, un bloc de frinare de 1250 kW., ventilat forțat (motorul ventilatorului alimentat și rezistorul de frinare). Schema circuitului de frinare este prezentată în fig. 4.17.

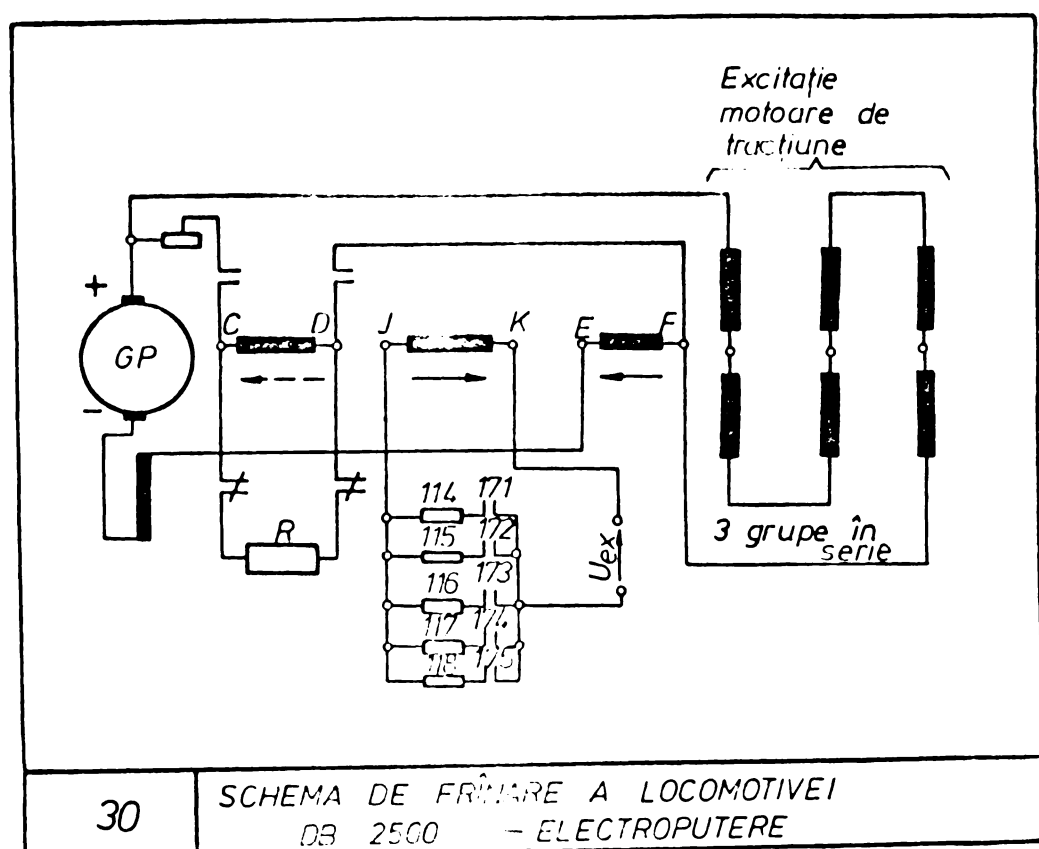


Fig. 4.17.

Pentru variația forței de frînare s-a folosit o combinație de rezistoare și contactoare, în serie cu excitația separată a generatorului principal. Cu această combinație se realizează 15 trepte de frînare. Forța maximă de frînare a acestei frâne este 14,5 tf la 35 km/h.

Pentru limitarea curentului de frînare, s-a folosit înfășurarea derivație a generatorului principal, alimentată printr-un regulator de tensiune comandat de valoarea maximă a curentului de frînare.

x

x

x

## 5. CONCLUZII PRIVIND DOTAREA LDE CU FRÎNA ELECTRODINAMICĂ

Din cercetarea documentară făcută asupra locomotivelor diesel cu transmisie electrică, în ceea ce privește dotarea lor cu frînă electrodinamică reostatică, se poate spune în primul rând că, deși există multe firme constructoare și multe tipuri construite până în prezent, frâna electrodinamică nu reprezintă un element constructiv de bază în construcția acestor locomotive. Afirmația este valabilă pentru firmele europene, în America, frâna electrodinamică reostatică fiind aproape generalizată.

Cresterea continuă și în ritm accelerat a volumelor de trafic feroviar, care impune, pentru administrațiile de căile ferate și pentru constructorii de locomotive, rezolvarea problemelor legate de mărirea vitezelor de mers, a condus printre altele la utilizarea frânelor suplimentare de diferite tipuri. Ca urmare, în ultimii ani, toate locomotivele de puteri mari se construiesc sau sînt prevăzute să se construiască cu frîna electrodinamică reostatică.

(Proiecte pentru LDE de aproximativ 2940 kW (4000 CP) - Alstom, Siemens, AEI, Electroputere, etc.)

Argumentele care au împiedicat dezvoltarea frânelor electrodinamice sînt legate de faptul că rezistoarele de frînare au volum mare, ceea ce îngreuiază montajul, iar operațiile de frînare se complică. Aceste argumente s-au risipit cu timpul, datorită dezvoltării tehnologiilor moderne, prin care se obțin materiale cu calități îmbunătățite și tehnici superioare de reglaj.

Din experiența obținută până în prezent în dotarea locomotivelor diesel electrice cu frînă reostatică, se pot preciza următoarele:

- frîna electrodinamică se folosește ca frînă suplimentară de mentinere ( $F_f = cv$ ) sau ca frînă de încetinire ( $F_f = ct$ )
- frîna electrodinamică se folosește singură sau în combinație cu frîna pneumatică, în care caz comanda frînării poate fi adaptată pentru a permite comanda individuală a frînei electrodinamice sau a frînei pneumatice sau comandă combinată. La trenuri nu prea grele și în raliu se poate folosi numai frîna electrodinamică ca frînă de încetinire la coeficienți de aderență nu prea mari ( $\mu = 0,22$ ).

././.

- s-a stabilit utilizarea înzestrării cu frână electrodinamică a locomotivelor indiferent de tipul serviciului - manevră sau marfă - călători - cu puteri între 440 kW. și 2940 kW.
- puterea de frânare este limitată de puterea ce se poate disipa în rezistorul de frânare. Pentru mărirea acestei puteri se folosește ventilația forțată a rezistorului de frânare. Rezistorul de frânare este de valoare constantă;
- pentru reducerea aparatului suplimentare de comutare, motoarele de tracțiune se conectează în serie câte două pe același rezistor de frânare. Această conexiune permite de asemenea simplificarea trecerii din regimul de tracțiune în cel de frânare și elimină necesitatea conexiunilor de echilibrare în circuitul de forță;
- pentru alimentarea înfășurărilor de excitație ale motoarelor de tracțiune în regim de frânare se folosește generatorul principal în cazul transmisiei c.c. - c.c., alternatorul prin intermediul redresorului la transmisia c.a. - c.c. și alternatorul cu circuitul intermediar de curent continuu, în cazul transmisiei c.a. - c.a.;
- ca motor de tracțiune al transmisiei de viitor, se prevede a fi motorul asincron trifazat în scurtcircuit. Acest motor are performanțe deosebite în regimul de frânare, permițând frânarea cu forță constantă până la oprire;
- modificarea forței de frânare se obține prin variația curentului de excitație al motoarelor de tracțiune. Această variație se realizează după cum urmează:
  - la transmisia c.c. - c.c.:
    - direct, prin variația cu ajutorul controlerului de comandă a excitației generatorului principal, la turație constantă a motorului diesel;
    - indirect, prin variația excitației excitatoarei generatorului principal la turație constantă a motorului diesel;
    - prin utilizarea amplificatoarelor magnetice pentru excitația generatorului, la turație constantă a motorului diesel.

- Obs.: Se menționează metoda de la LDE 286 pentru CFR: variația prin slăbire de câmp, la două grade de excitație a generatorului principal și turație constantă a motorului diesel (mers în gol).
- prin variația turației motorului diesel.
  - la transmisia c.c. - c.a.: - prin variația cu ajutorul tiristoarelor a excitației excitatoarei generatorului sincron.
  - la transmisia c.a. - c.a.: - prin variația frecvenței statorice a motorului asincron, cu ajutorul invertorului.
  - limitările de protecție se fac prin anticompendări ale generatorului principal (înfișurarea alimentată de curentul de frână), prin sisteme complexe de excitație (amplificatoare magnetice, reglatoare de curent, generatoare Hall, etc.)

Examinând soluțiile folosite de diverse firme pentru sistemele de comandă și reglare în regim de frână, rezultă ca soluții uzuale sistemele electronice de automatizare, amplificatoare magnetice și sistemele de anticompendare a excitației.

Folosirea elementelor statice electronice de automatizare și a amplificatoarelor magnetice, presupune folosirea de convertitoare de curent continuu - curent alternativ în echipamentul electric al locomotivelor diesel. Există de asemenea un număr foarte mare de probleme ce trebuie rezolvate pentru ca să se poată realiza un sistem de comandă statică aplicabil în exploatare. Acestea sînt în primul rînd legate de fiabilitatea semiconductorilor și prețul lor. Apoi, diversele reacții ce trebuie preluate din sistemul de forță în sistemul de reglare, conduc la necesitatea realizării de echipamente electronice sau de alt fel, prin care să se evite introducerea de potențiale ridicate față de masă în circuitele de comandă și reglare, ceea ce presupune o deosebită atenție în alegerea elementelor care compun circuitele respective.

Sistemele de reglare bazate pe anticompendarea excitației necesită multă aparatură pentru secționarea circuitelor, iar cele care au și rezistor de stabilizare ridică probleme de răcire a

acestui, întrucît el este parcurs de suma curenților de frînare și de excitație.

Desigur, pe baza experienței tehnologice și de concepție, fiecare firmă își alege sistemul de comandă și reglare care asigură pentru aceasta un optiș tehnico-economic.

Trebuie însă relevat aspectul următor: cele mai multe locomotive diesel electrice aflate în circulație vor fi înzestrate la reparație cu frînă electrodinamică, pentru a face față în condiții mai bune traficului feroviar modern. Locomotivele construite pînă în prezent au în mare majoritate în general puteri sub 1980 kW. (2700 C.P.) și transmisia c.c. - c.c. Rezultă că, pe lîngă cercetările legate de dezvoltarea în continuare a frînelor electrodinamice pentru locomotive diesel, trebuie să se aibă în vedere și optimizarea soluției de dotare cu frînă electrodinamică a actualelor locomotive diesel electrice în circulație.

În țara noastră, Căile Ferate au în parc cca.1500 locomotive diesel electrice de 1540 kW. (2100 CP). Ministerul Transporturilor și Telecomunicațiilor a solicitat modernizarea lor prin dotare cu frînă electrodinamică.

Ca urmare, se impune luarea în considerare a realizării frînei electrodinamice pe LDE 286 pentru generalizarea ei la locomotivele din parcul CFR cu ocazia reparațiilor.

x

x            x

6. O NOUA METODA DE MODIFICARE A FORTEI DE FRINARE ELECTRODINAMICA LA LDE CU TRANSMISIE c.c.-c.c.

6.1. Soluția teoretică propusă

6.1.1. Schema de frinare electrodinamică și principiul de modificare a forței de frinare.

Transmisia electrica a locomotivelor diesel electrice cu transmisie c.c. - c.c., cuprinde în aproape toate aplicațiile un generator de curent continuu și motoare de tracțiune serie de curent continuu, funcționând în paralel sau în grupe de serie paralel.

Pentru regimul de frinare electrodinamică, excitația motoarelor se separă și se alimentează de la generatorul principal, iar rotoarele se închid pe rezistoarele de frinare.

Motoarele de tracțiune funcționează ca generatoare cu excitație separată având ca sarcină rezistoarele de frinare.

Pentru modificarea forței de frinare în domeniul de frinare, am ales ca soluție principală variația fluxului de înfășurările de excitație ale motoarelor de tracțiune (fig.6.1)

Ca sursă de alimentare pentru obținerea curentului de excitație, am prevăzut generatorul principal, care la regimul de cea mai joasă turație (motorul diesel la mers în gol) alimentează înfășurările de excitație conectate în serie, ale motoarelor de tracțiune.

Metoda de reglare a forței de frinare prin variația fluxului de excitație a motoarelor de tracțiune funcționând ca generatoare cu excitație separată, este o metodă cunoscută. Ceea ce diferă la diverse construcții este modul în care se comandă și se realizează această variație de flux.

În ultimii ani, pe baza tehnicii moderne s-au realizat unele reglaje automate cu regulatoare tiristorizate și combinații automate cu frâna de aer. [1]. Toate aceste sisteme introduc aparatură suplimentară nespecifică unor locomotive deja construite (regulatoare electronice, robinete de frână speciale, etc.) De aceea, în urma studiului amănunțit al mașinilor transmisiei



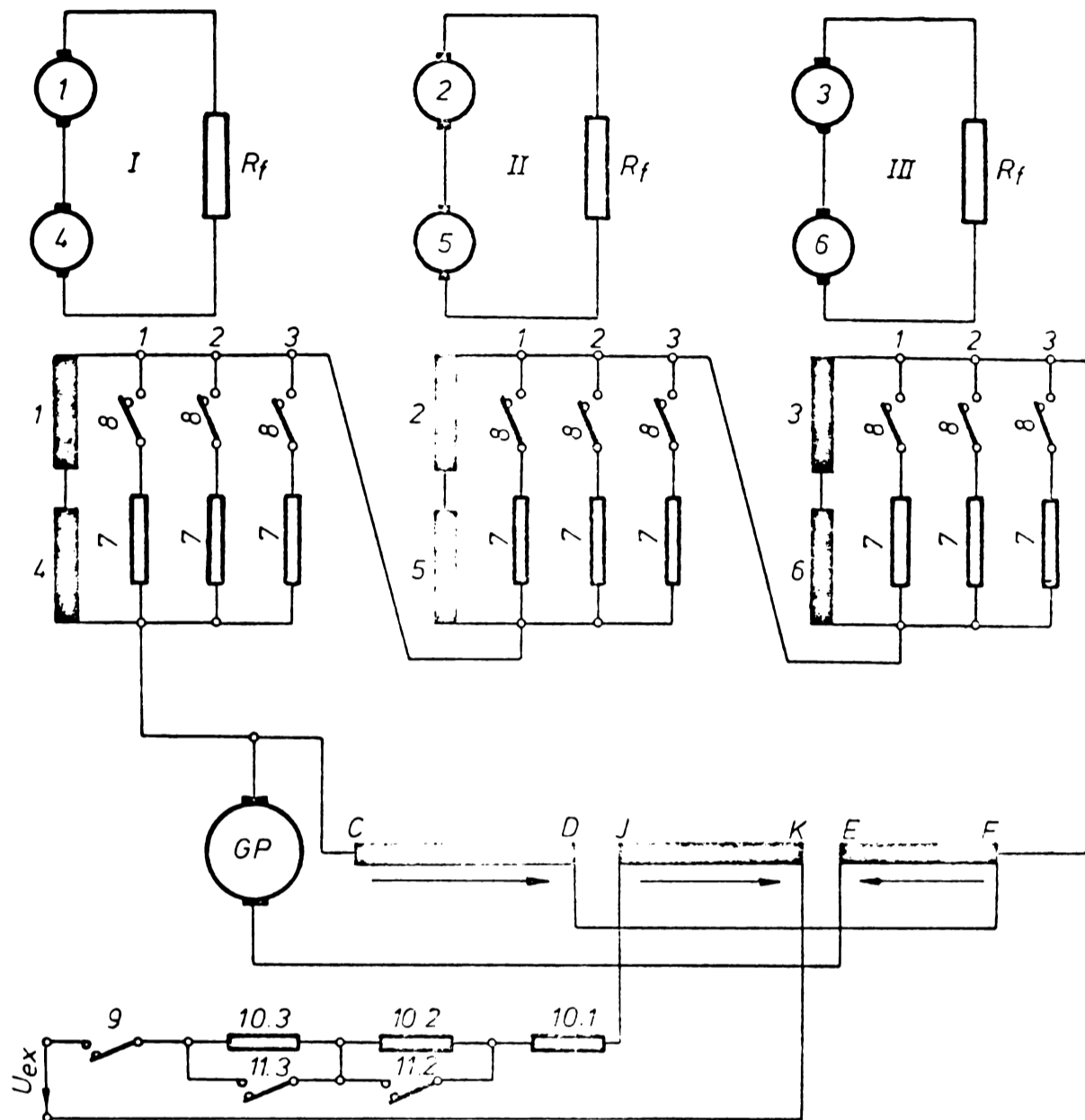


Fig 5 1

- GP - generator principal
- 1-6 - motoare de tracțiune (rotor și excitație)
- R<sub>f</sub> - rezistor de frînare
- 7 - rezistor slăbire câmp
- 8 - contactoare slăbire câmp
- 9 - contactor excitație GP
- 10.1, 2 - rezistor excitație GP în regim de frînare
- 10.3 - rezistor pt limitarea curentului de frînare
- 11.2 - contactor pt nivelul II de excitație
- 11.3 - contactor pt limitarea curentului de frînare

electrice și a regimului de frînare electrodinamică, am stabilit ca posibilă teoretic, o nouă metodă de modificare a fluxului de excitație a motoarelor de tracțiune în regim de frînare, prin folosirea sistemului existent de slăbire a câmpului în regimul de tracțiune.

Folosirea sistemului de slăbire a fluxului motoarelor de tracțiune în regim de frînare este posibilă deoarece generatorul principal are și înfășurare de excitație anticomund și deci, la aceeași turație și curent de excitație constant, nu-și modifică practic curentul la variația sarcinii (introducerea în circuitul cu înfășurările de excitație ale motoarelor de tracțiune a rezistențelor de slăbire a câmpului).

#### 6.1.2. Determinarea relației de bază pentru stabilirea treptelor de modificare a fluxului.

Pentru calculul curentului de excitație al motoarelor de tracțiune în regim de frînare trebuie stabilită relația dintre acesta și curentul de excitație separată a generatorului. Dacă curentul de excitație al motoarelor de tracțiune este chiar curentul de sarcină al generatorului principal. Deci trebuie stabilită relația  $I_G = f(I_{JK})$  după schema din fig.6.2.

În conformitate cu schema din fig.6.2., solenoida totală de excitație în sarcină a generatorului principal este:

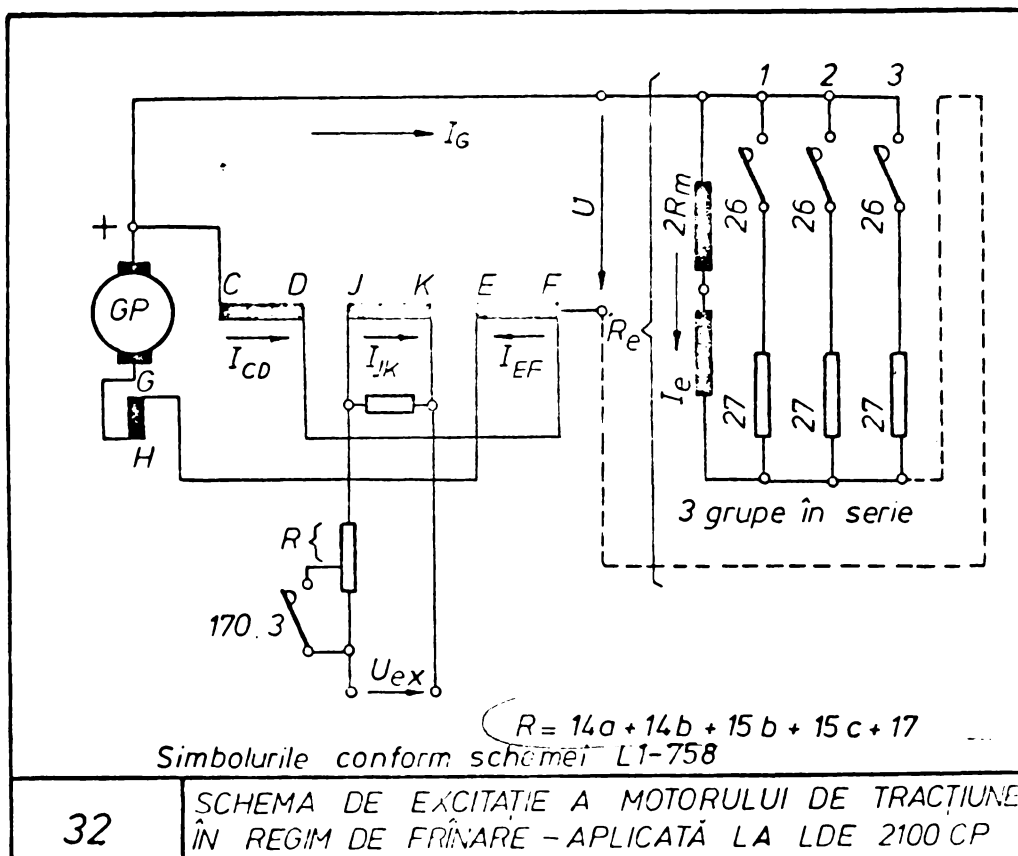
$$\Theta = N_{JK} I_{JK} + N_{CD} I_{CD} - N_{EF} I_G \quad (6.1.)$$

(neglijând reacția indusului), în care  $N_{JK}$ ,  $N_{CD}$ ,  $N_{EF}$  reprezintă numărul de spire pe perechea de poli corespunzător înfășurărilor de excitație separată, derivație și serie. Întrucât, pentru realizarea curenților de excitație ai motoarelor de tracțiune în regimul de frînare se lucrează cu solenoidii mici la generatorul principal (rezistența înfășurărilor de excitație ale motoarelor de tracțiune este foarte mică și practic generatorul funcționează în scurtcircuit), se pot considera caracteristica de magnetizare a acestuia rectilinie în zona acestor solenoidii. În acest caz se poate scrie:

$$E = k\Theta + E_r \quad (6.2.)$$

unde:

- E - t.e.m. indusă de câmpul rezultat
- $E_r$  - t.e.m. indusă de câmpul remanent
- $\Theta$  - solenația totală de excitație
- m - coeficient de proporționalitate pentru porțiunea nesaturată a caracteristicii de magnetizare.



32

SCHEMA DE EXCITAȚIE A MOTORULUI DE TRACȚIUNE ÎN REGIM DE FRÎNARE - APLICATĂ LA LDE 2100 CP

Fig. 6.2.

Notînd cu  $R_e$  rezistența echivalentă a circuitului de sarcină, și cu  $R_G$  rezistențele din circuitul rotorului generatorului ( $R_G = R_A + R_{EF} + R_{OH}$ ), ecuația de echilibru a tensiunilor va fi:

$$U = R_e I_G = E - R_G I_G \quad (6.3)$$

Inlocuind în (6.3) expresia lui  $\Theta$  și notînd  $R_e + R_G = R$  se obține:

././.

$$I_G = \frac{N_{JK} I_{JK} + \frac{E_r}{m}}{N_{EF} + \frac{R}{m} - \frac{N_{CD}}{R_{CD}} R_e} \quad (6.4)$$

6.1.3. Stabilirea numărului de trepte de frinare electrodinamică.

Am avut în vedere în primul rînd cerința ca saltul de curent în rotorul motoarelor de tracțiune, la variația în trepte a fluxului în regim de frinare să nu depășească saltul de curent din regimul de tracțiune la cîmp slăbit, iar valoarea de durată a curentului prin rezistorul de slăbire de cîmp să nu fie depășită (fig.6.3)

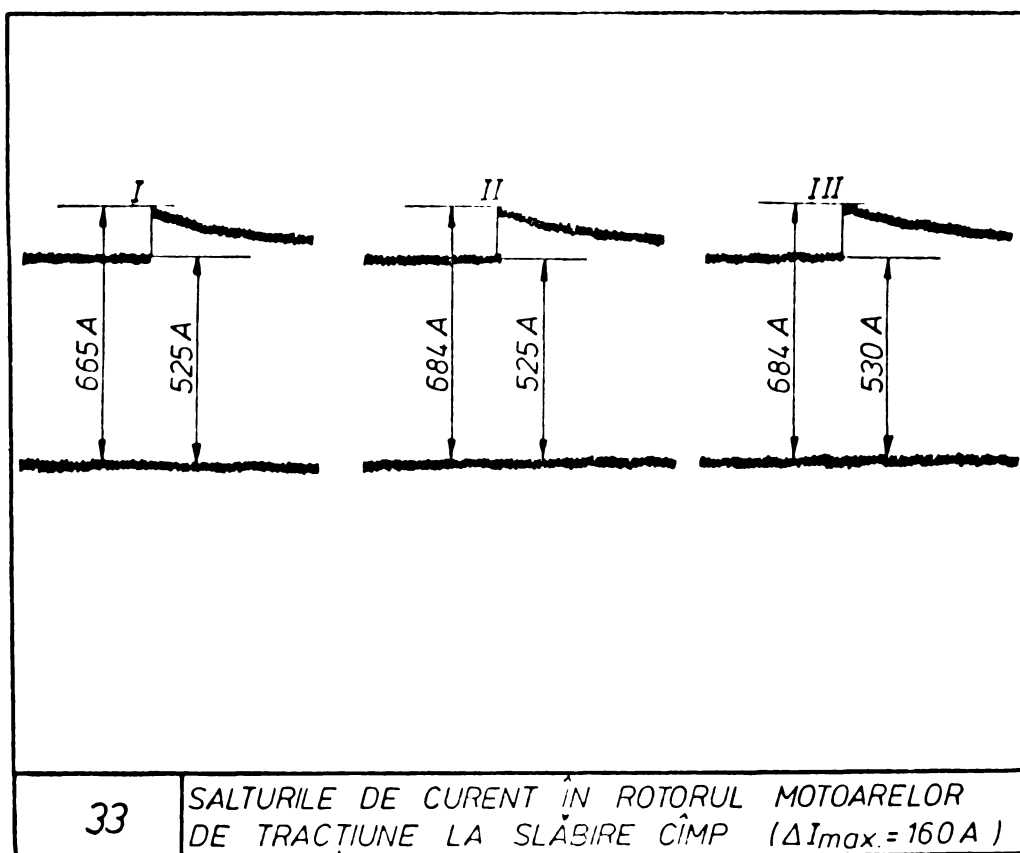


Fig. 6.3.

In acest caz, curentul de excitație al motoarelor de tracțiune nu trebuie să depășească de asemenea valoarea curentului maxim de excitație din regim de tracțiune.

Intre valorile maximă și minimă ale curentului de excitație se stabilește multiplul realizabil de trepte de șuntare și în acest fel, cu relația (6.4) valorile curentului de excitație separată a generatorului principal.

#### 6.1.3.1. Metodă grafică de determinare a treptelor de excitație.

Cunoscându-se caracteristica de magnetizare  $E(\theta)$  pentru turația regimului de funcționare, am calculat caracteristica externă a generatorului principal  $U(I)$ , pentru această turație și sarcină aproape de scurtcircuit. (Regimul de funcționare al GP. în frînare electrodinamică) (fig.6.4)

Având în vedere schema de excitație a generatoarelor de c.c. pentru tracțiune (vezi fig.6.1), cu caracteristică concavă, ecuația 6.1. se mai poate scrie:

$$\theta = b + a U - c I_G \quad (6.5)$$

unde:  $b = N_{JK} I_{JK} = ct =$  solenația de excitație separată

$a =$  panta solenației derivației;  $a = \frac{N_{CD}}{R_{CD}}$  spire/ohm

$c =$  numărul de spire pe perechea de poli, pentru excitația serie

$$U = E - R_G I_G$$

$$\text{Rezultă: } \theta = b + aE - (aR_G + c) I_G = b + aE - d I_G \quad (6.6)$$

unde s-a notat  $aR_G + c = d$ .

Se separă termenii care depind de  $E$  și cei care depind de  $I_G$ . Rezultă următoarele drepte (pentru mașina nesaturată, cum este cazul generatorului în funcționare pentru regimul de frînare).

$$(1) E = f(\theta)$$

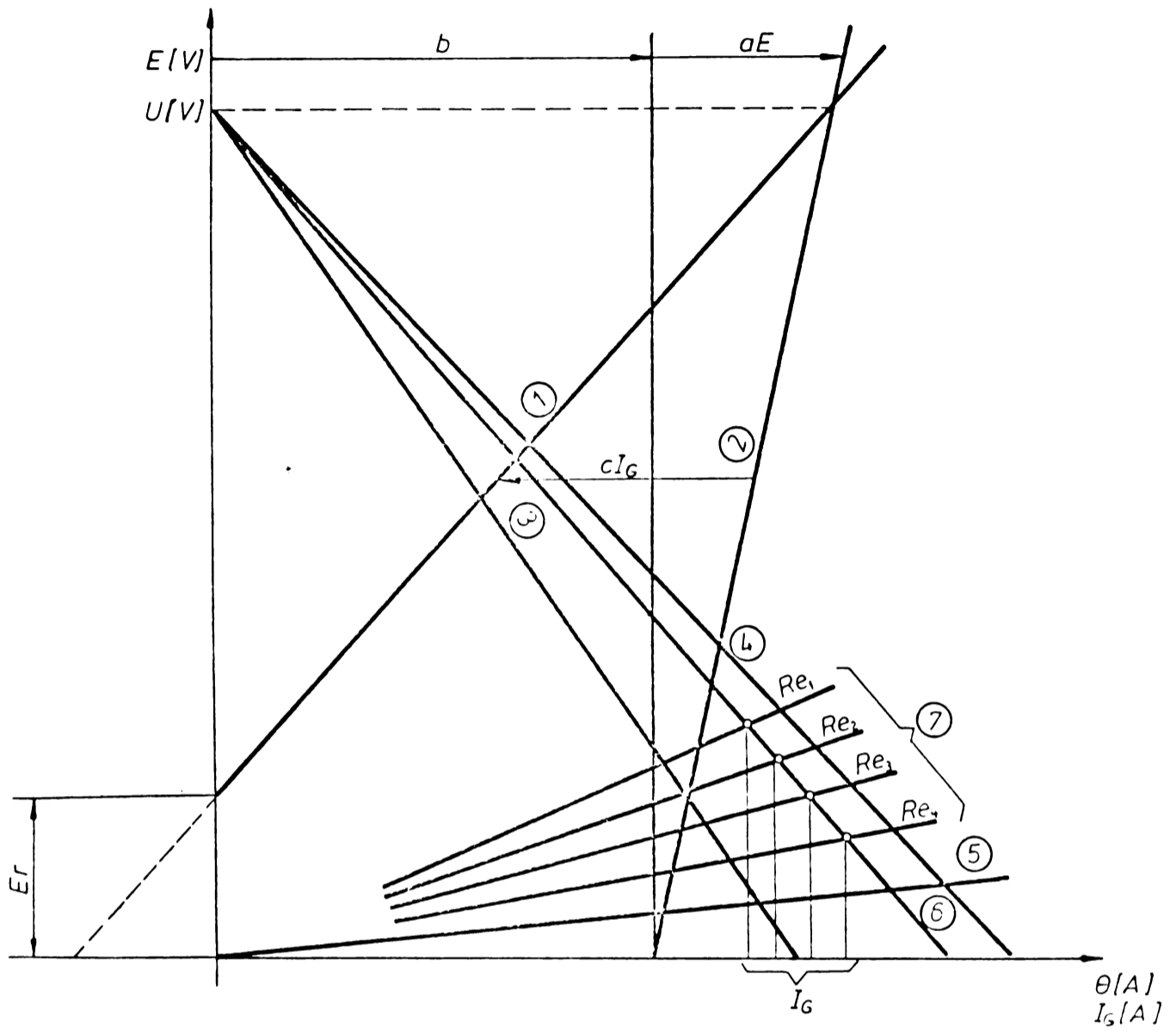
$$(2) aE + b = f(E) \quad ?$$

$$(3) b + aE - \theta = d I_G \text{ care este în același timp } d I_G = f(E)$$

(4) Se împarte cu  $d$  dreapta (3) pe abscisă și se obține

$$E = f(I_G)$$

././.



- ①  $E(\theta)$
- ②  $b + aE = f(E)$
- ③  $b + aE - \theta = dI_G$
- ④  $\frac{b + aE - \theta}{d} = f(I_G)$
- ⑤  $R_G I_G = f(I_G)$
- ⑥  $U(I_G)$
- ⑦  $U_G = R_e I_G$

Fig. 6.4

(5) Se scade pe orizontală  $R_G I_G = f(I_G)$  și se obține la scara (6)  $U = f(I_G)$ , care este caracteristica externă a generatorului.

Obs. Reacția inducșului nu se ia în considerație, valorile curenților fiind mici în acest regim de funcționare și în plus generatoarele de tracțiune de c.c. au bobinaj de compensație.

Se trasează pe aceeași scară, la scara lui U și  $I_G$ , dreptele de sarcină  $R_G I_G$ , care sunt toate treptelor de curent și valorilor de excitație ai motoarelor de tracțiune. (Dreptele (7) sunt cele trei trepte de curent,  $I_{G1}, I_{G2}, I_{G3}$ ). Intersecția acestor drepte cu  $U(I_G)$ , reprezintă curenții de excitație ai motoarelor de tracțiune pentru regimul de frînare.

Salturile curenților de excitație, de la o treaptă la alta nu trebuie să depășească salturile de slăbire de câmp din regiile de tracțiune (vezi fig.6.3.). (aceasta se va verifica teoretic prin studiul regimului tranzitoriu de la cap.7)

4

## 6.2. Verificarea pe scară a generatorului principal

### 6.2.1. Determinarea t.e.m. induse de câmpul remanent.

S-a făcut proba pe două generatoare LDE 2100 CP (tip GJM 1100/10 - 1350 kW), la 1030 rot/min, pentru  $E = 120$  V. și  $E = 240$  V. Rezultatele sînt următoarele:

Tabela 4.			
Generator	$\theta_{120}$	$\theta_{240}$	$E_r$
Nr.	(A)	(A)	(V)
17733	643	1440	22
17662	744	1665	23

$\theta = N_{JK} I_{JK}$  din caracteristica de magnetizare  $E(\theta)$

La turația de mers în gol a motorului diesel, corespunde 485 rot/min. la generator.

\* → \*

In conformitate cu relația (6.2), se determină:

$m = 0,131$  pentru 1080 rot/min.

$m = \frac{485}{1080} \cdot 0,131 = 0,052$  pentru 485 rot/min. și

deci,  $E_r = 23 \cdot 0,45 = 10,3$  V. pentru această turație.

Dacă se stabilesc  $I_{Gmin} = 200$  A și  $I_{Gmax} = 800$  A. (egali cu curenții de excitație min. și max. ai motoarelor de tracțiune) cu valoarea lui  $m$  determinată mai sus, din relația (4) rezultă :

$$I_{JKmin} = 1,05 \text{ A} ; I_{JKmax} = 5,5 \text{ A}.$$

6.2.2. Funcționarea aproape de scurtcircuit. Caracteristica de scurtcircuit.

Pentru verificarea calculelor de mai sus, s-a probat generatorul pe o sarcină formată din polii principali conectați în serie, a șase motoare de tracțiune la turația de 485 rot/min. Rezistența polilor principali ai motoarelor de tracțiune fiind foarte mică (de ordinul  $10^{-2}$ ) se poate aprecia că generatorul funcționează aproape de scurtcircuit cu această sarcină.

Rezultatele sînt date în tabela 5.

Tabela 5.

$I_{JK}$ (A)	0,3	1,1	2,6	4,1	5,65	7,2
I (A)	100	200	400	600	800	1000

După cum se observă, proba a verificat întocmai calculele.

Deci, pentru a realiza modificarea forței de frînare trebuie executat un dispozitiv de comandă a curentului de excitație separată a generatorului principal care să permită obținerea valorilor extreme de cca 1A, respectiv 5,5 A.

### 6.3. Experimentarea pe locomotivă a "Metodei slăbirii de câmp" pentru modificarea forței de frînare

6.3.1. Frîna electrodinamică reostatică de cca. 300 kW.

Pentru experimentarea funcționării transmisiei electrice (generator principal-motoare de tracțiune) în regim de frînare

././.



și a metodei slăbirii de câmp pentru modificarea forței de frînare, am proiectat și realizat o frînă electrodinamică reostatică de cca. 300 kW, numai pentru o grupă de motoare de tracțiune, pe LDE 136.

Avînd în vedere puterea redusă de frînare, cu care se poate frîna numai locomotiva, a rezultat ca suficient un număr de patru trepte de modificare a forței de frînare. Locomotiva diesel electrică 136 are numai două trepte de slăbire a cîmpului motoarelor de tracțiune. Pentru a realiza totuși patru trepte de modificare a forței de frînare, am folosit și faptul, că există posibilitatea de a modifica substanțial valoarea curentului de excitație separată  $I_{JK}$  al generatorului principal, ca și în tracțiune, prin scurtcircuitarea rezistorului 14.1, cu ajutorul contactorului 170.1 pe treapta a doua a controlerului de comandă (fig.6.5)

În conformitate cu schema din fig.6.5 curenții de excitație ai motoarelor de tracțiune în regim de frînare se realizează în patru trepte după următoarele secvențe:

Tabela 6.

Treapta	Nivel excit. JK(A)	$I_G$ (A)	$I_{ex}$ (A)	Poziția contactoarelor					Obs.
				170.1	170.2	170.3*	26.1	26.2	
I	1,55	345	180	-	-	-	x	x	x închis - deschis
II	1,95	415	220	x	-	-	x	x	
III	1,95	405	310	x	-	-	x	-	-
IV	1,95	400	400	x	-	-	-	-	

\* Contactorul 170.3 este acționat numai la intrarea în funcțiune a protecției pentru limitarea curentului maxim de frînare.

#### 6.3.1.1. Caracteristica de frînare $F_f = f(v)$

Pentru puterea de frînare de 300 kW și curentul maxim de excitație de 400 A, rezultă un curent de frînare de durată de 375 A.

Datele de calcul pentru caracteristica de frînare  $F_f = f(v)$  a unui motor de tracțiune sînt următoarele:

././.

} închid în tracțiune funcție  
de poziția regulatorului  
de cîmp

Obs.	FRÎNARE					TRACȚIUNE				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
400	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-
26.1	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-
26.2	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-
22.11	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-
170.1	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-
170.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
170.3	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
13	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-

- 1 - generatorul principal
- R<sub>f</sub> - rezistor de frînare
- 13 - contactor pentru excitație
- 14.1, 14.2 - rezistoare reglaj excitație în tracțiune
- 14.3 - rezistor reglaj excitație în frînare
- 21 - inversor de sens
- 22.11 - contactor pentru motoare de tracțiune (grupa pe care se face frînarea)
- 26.1, 26.2 - contactoare slăbire cîmp
- 27.1, 27.2 - rezistoare slăbire cîmp
- 170.1 - contactor pentru poziția 14.1
- 170.2 - contactor pentru poziția 14.2
- 170.3 - contactor pentru poziția 14.3
- 400 - contactor pentru frînare
- 402 - releu maximal pentru curent frînare
- 403 - comutator electropneumatic tracțiune frînare

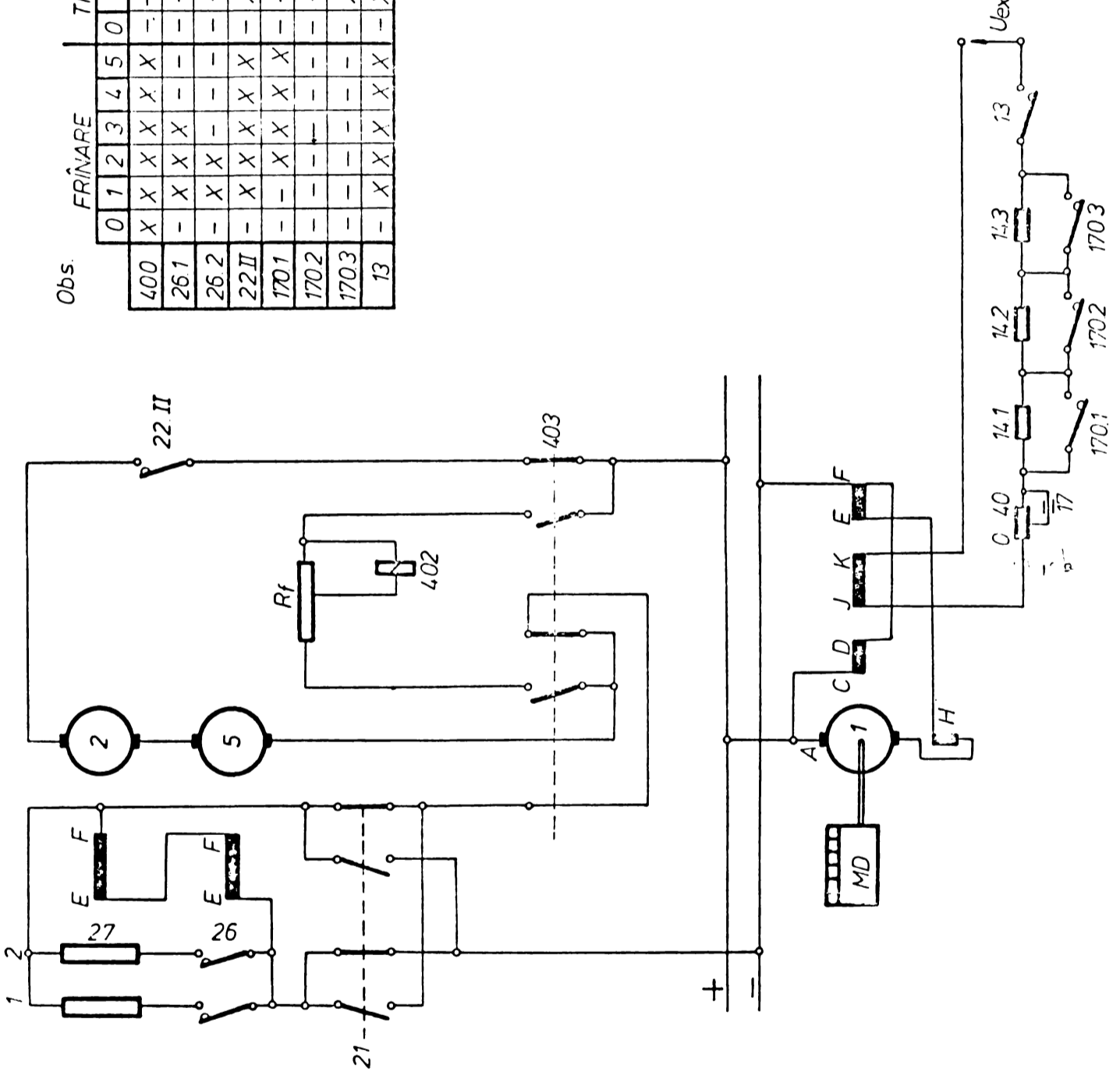


Fig 6.5

- curent de frinare de durată 375 A
- curent maxim de frinare 400 A
- rezistor de frinare 0,84 Ohm
- curent maxim de excitație 400 A
- rezistoarele din circuitul rotorului (la 115°C) 0,0195 Ohm
- caracteristica de magnetizare în anexa II
- raport de transmisie  $i = 4,6$
- diametrul roții semiuzate  $D = 1060$  mm.

În conformitate cu [1] formulele de calcul pentru caracteristica de frinare sînt:

$$F_f = 4,9 \Phi^2 \cdot v \cdot 10^4 \text{ [daN]} \text{ pentru flux constant (6.7)}$$

$$F_f = 0,685 \frac{I_f^2}{v} \text{ [daN]} \text{ pentru curent de frinare constant (6.8)}$$

unde:  $\Phi$  este fluxul de excitație în Wb  
 $v$  - viteza locomotivei în km/h.

Caracteristica de frinare electrodinamică a locomotivei 136 este redată în fig.6.6.

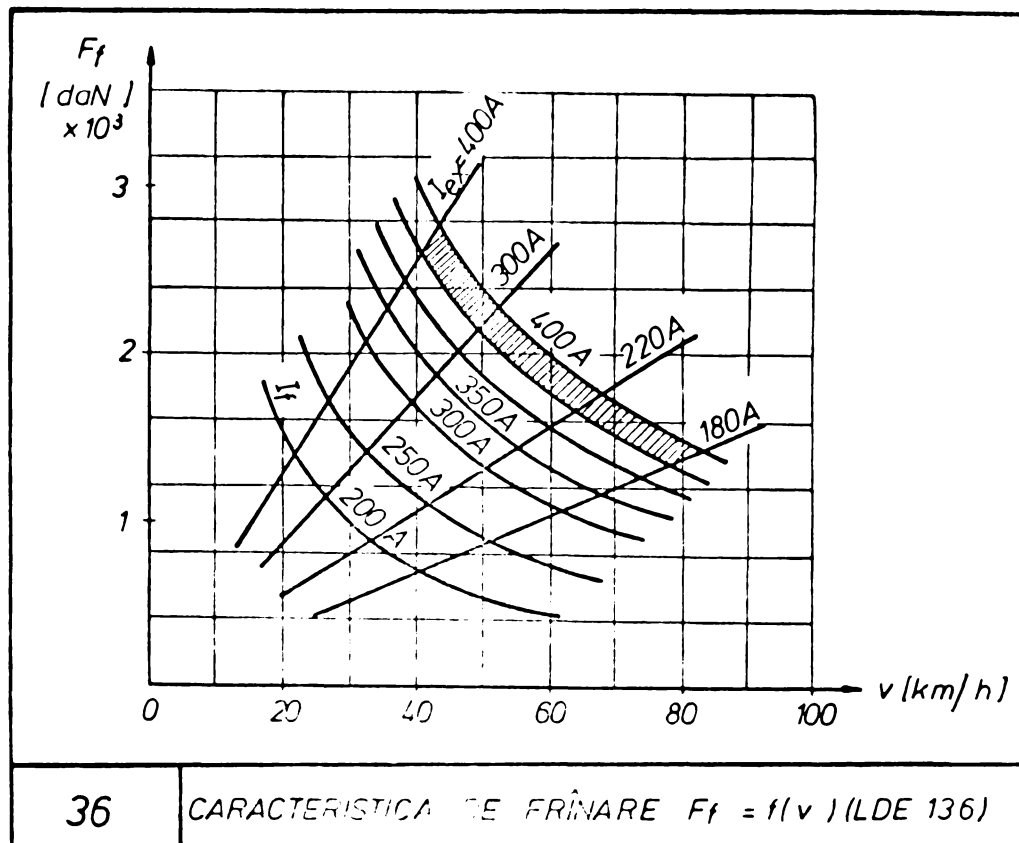


Fig. 6.6.

### 6.3.1.2. Protecția

Pentru protecția la tensiune maximă a motoarelor de tracțiune) s-a prevăzut un sistem simplu cu releu maximal. La depășirea curentului maxim de frânare se întrerupe frînarea electrodinamică prin deconectarea excitației motoarelor de tracțiune.

Domeniul de frânare, limitat de acționarea protecției, este redat în fig.6.7. pentru fiecare treaptă de frânare.

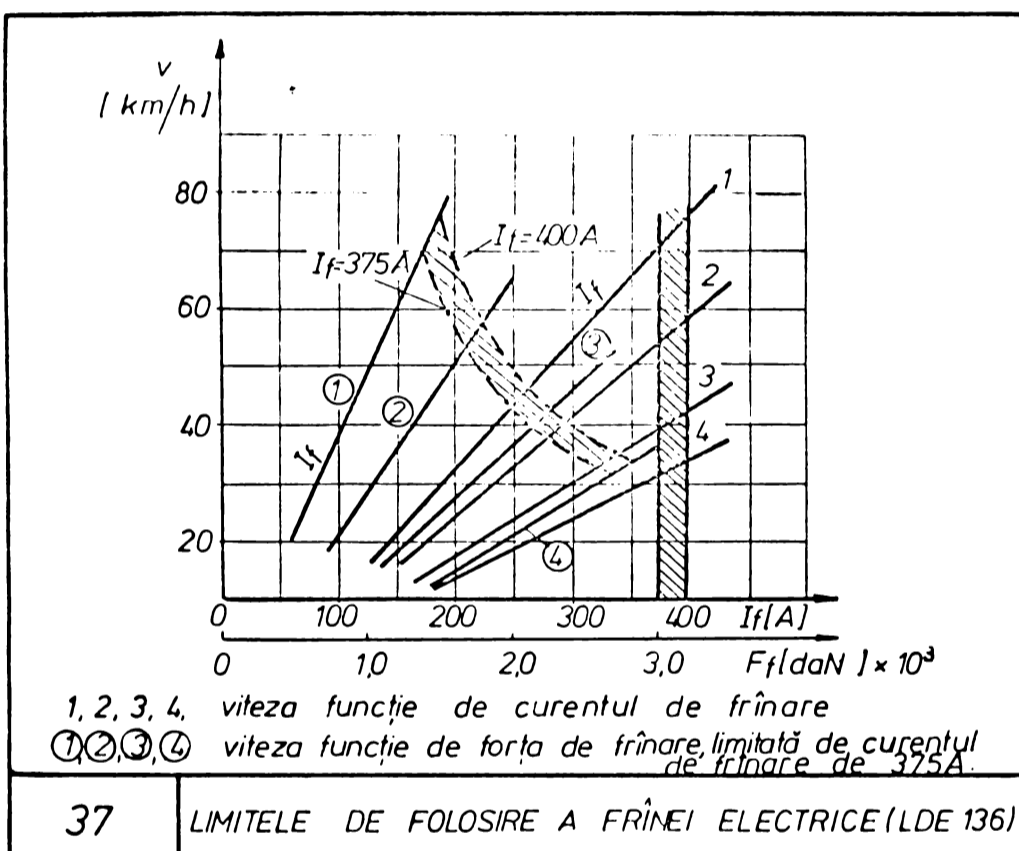


Fig. 6.7.

### 6.3.1.3. Construcția

Realizarea practică a frânei reostatice pe LDE 136, s-a făcut cu minimum de modificări, după cum urmează:

- posturile de conducere: s-au modificat cîte două came de rezervă din controlerile de comandă pentru deconectarea con-

tactoarelor de slăbire cîmp pe treptele de frînare III și IV. Pentru alegerea regimului de funcționare, tracțiune sau frînare, s-a montat pe fiecare controler cîte un comutator (fig.6.8), care comandă contactorul electropneumatic de separare tracțiune-frînare al circuitului de forță.

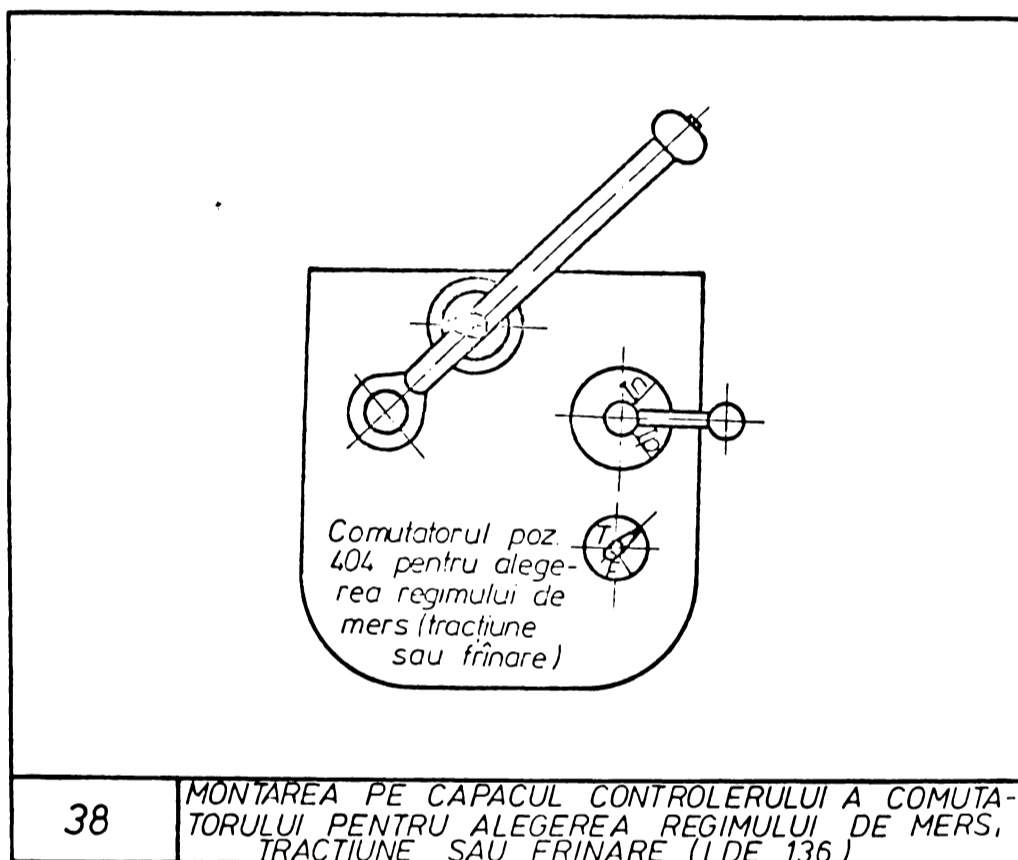


Fig. 6.8.

- blocul de aparate: comutatorul electropneumatic tracțiune-frînare (identic cu inverterul de sens existent pe locomotivă s-a montat sub blocul de aparate paralel cu inverterul conform fig.6.9.

Pentru aceasta a fost necesară mutarea contactorului 26.1 în spatele contactorului 26.2 (fig.6.9)

Contactorul de frînare 400 (vezi fig.6.5), de construcție identică cu contactoarele pentru motoarele de tracțiune existente

././.

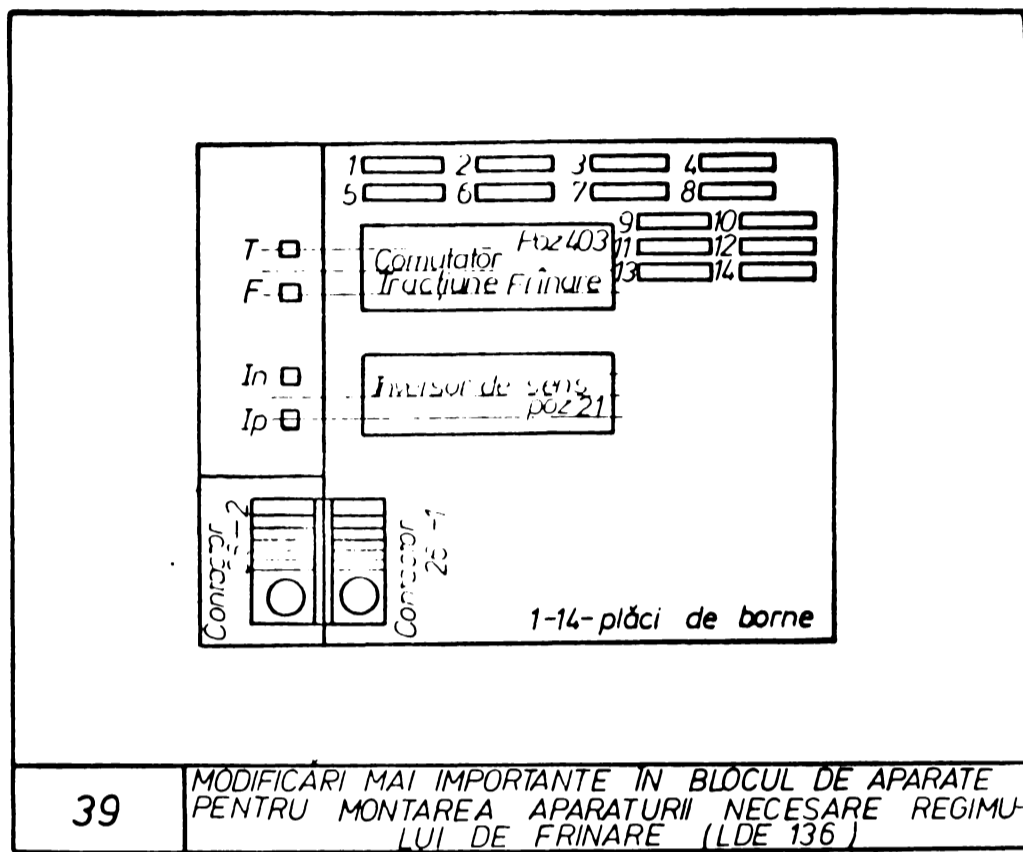


Fig. 6.9.

pe locomotivă, s-a montat pe același suport cu acestea.

Celelalte aparate utilizate în plus, față de regimul de tracțiune, releul 402 și rezistorul său adițional, contactorul 170.3, s-au montat în spații libere existente în blocul de aparate.

- acoperișul: cele nouă elemente de rezistoare (derivate din elementele de rezistor (0,21 Ohm/500 A ale frânei electrodinamice a locomotivei electrice de 5100 kW.) care compun rezistorul de frînare, s-au montat pe acoperișul blocului de aparate, după cum se vede din fig. 6.10.

Ele s-au fixat pe un cadru separat de capac prin izolatori suport, realizându-se în acest fel o dublă izolare a rezistorului de frînare.

././.

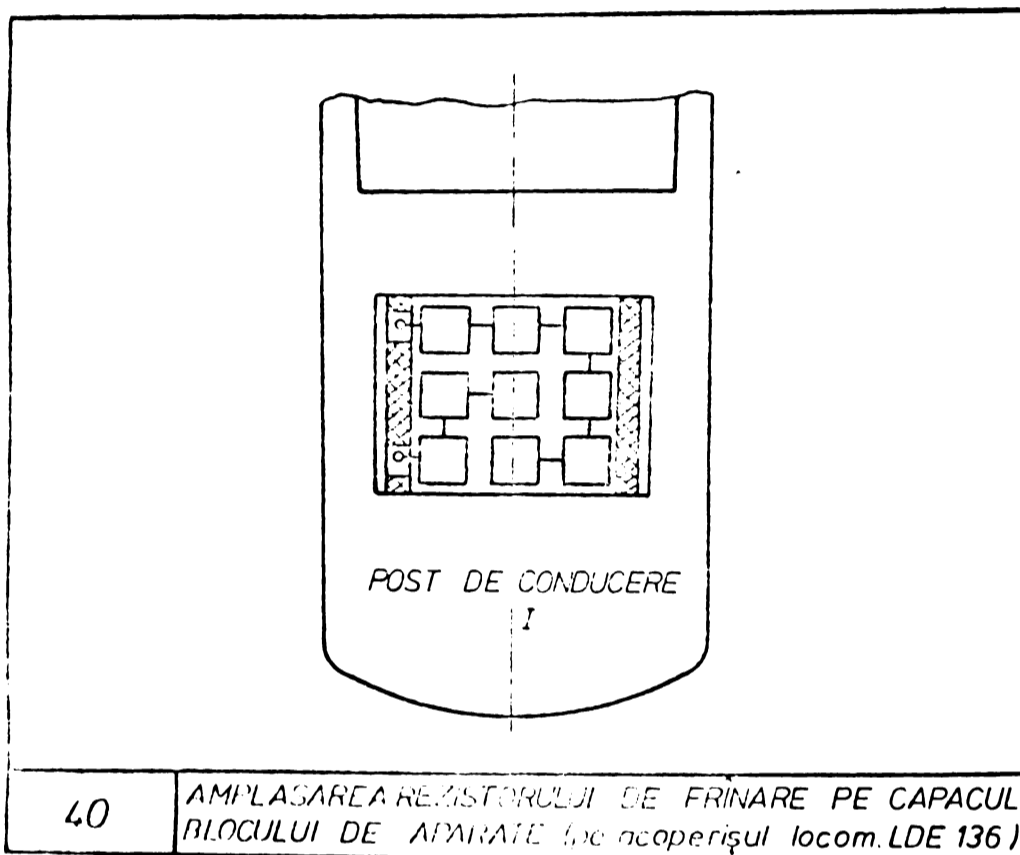


Fig. 6.10

Trecerile de curent s-au făcut prin doi izolatori la care s-au legat prin interiorul locomotivei cele două cabluri care fac legătura cu rotoarele în serie ale celor două motoare de tracțiune.

Construcția elementelor de rezistoare (bandă de Alkrothal  $109 \times 0,5 \text{ mm}^2$ ) este prezentată în fig.6.11.

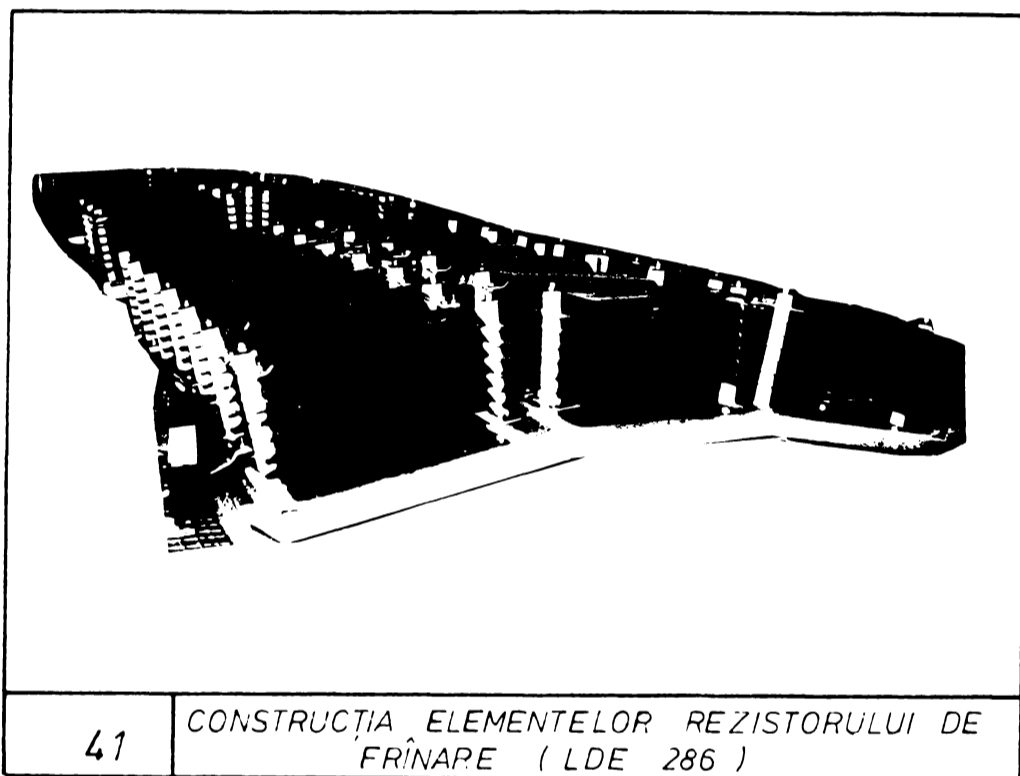


Fig. 6.11.

#### 6.3.1.4. Rezultatele experimentărilor

Frîna a fost experimentală la coborîrea locomotivei izolate pe panta Balota. Rezultatele obținute s-au încadrat în caracteristica de frînare din fig.6.6. Astfel pe panta de 26‰, s-a menținut viteza de coborîre între 40 și 50 km/h, folosind treptele III și IV de frînare. Curentul de frînare măsurat pe treapta IV a fost 350 A, la 40 km/h. Temperatura stabilizată a rezistoarelor de frînare a fost de  $390^{\circ}\text{C}$  la temperatura ambiantă de  $+6^{\circ}\text{C}$ .



Experimentarea a avut ca scop principal verificarea calitativă a comportării transmisiei în regim de frânare și a metodei slăbirii de câmp pentru modificarea forței de frânare. Fiind o realizare pentru prima dată în țară a unei frâne electrodinamice pe o transmisie diesel a fost interesant de verificat în primul rând posibilitatea practică de construcție și folosire a ei.

Rezultatele au confirmat valabilitatea ipotezelor teoretice obținându-se puterea de frânare calculată. De menționat metoda de modificare a forței de tracțiune s-a dovedit eficientă, variația forței de frânare producându-se în mod lent la aplicarea în trepte a curentului de excitație al motoarelor de tracțiune, ceea ce este explicabil, având în vedere inductanțele de înfășurări electrice, ce intervin în lanțul de modificare a fluxului.

Desigur că realizarea acestei frâne a avut mai mult un caracter experimental. Ea este însă de o deosebită valoare teoretică și practică atât pentru uzina constructoare de locomotive (IEPC) cât și pentru exploatarea locomotivelor. Cu această ocazie s-au verificat elementele necesare pentru proiectarea și realizarea unei frâne electrice pe toate grupele de motoare ale locomotivei diesel electrice de <sup>1540kW</sup> (2100 CP) și pentru alte locomotive diesel cu transmisie electrică ce se vor construi în țară, cum ar fi:

- stabilitatea generatorului principal la funcționare în regimul de frânare electrodinamică (regim aproape de scurtcircuit la putere foarte redusă, 1%)
- finetea necesară pentru modificarea forței de frânare.
- capacitatea termică a rezistoarelor de frânare în montaj cu ventilație naturală în mersul locomotivei.

Pe baza datelor obținute la experimentarea acestei frâne, am proiectat și executat o frână de cca. 1000 kW pentru locomotive diesel electrice de <sup>1540kW</sup> (2100 CP) (LDE 236)

### 6.3.2. Frână electrodinamică de cca. 1000 kW.

Executarea unei frâne experimentale pe toate grupele de motoare a reprezentat faza a doua de verificare a frânei electrodinamice reostatice pentru locomotiva diesel de <sup>1540kW</sup> (2100 CP) având ca scop principal, găsirea soluției optime de montaj și durată de funcționare suplimentară și verificarea de durată a rezistoarelor de

**frinare.**

Montarea frânei s-a făcut în 1972-1973 pe LDE 286 cu ocazia reparațiilor la IMMR.

**6.3.2.1. Datele tehnice ale frânei.**

În regimul de frână electrodinamică motoarele de tracțiune funcționează ca generatoare cu excitație separată. Energia cinetică a trenului se disipă după transformare în rezistoarele de frinare care se conectează o sarcină pe motoarele de tracțiune funcționând ca generatoare. Fiecare grupă de motoare debitează pe un rezistor separat.

- rezistorul de frinare pe o grupă de motoare: 2,28 Ohm
- curentul de durată: 350 A.
- curentul maxim: 400 A.
- puterea la obadă a frânei pentru un randament al transmisiei de 0,91: 950 kW.
- performanțe: menține viteza de coborîre a unui tren de 435 tone-inclusiv locomotiva între 30 și 50 km/h, pe o pantă compensată de 24%
- sursa de energie pentru alimentarea excitației motoarelor de tracțiune în regim de frinare: Generatorul principal funcționând la cea mai joasă turație (motorul diesel la mers în gol)
- puterea maximă de excitație: 14 kW.
- sistemul de modificare a forței de frinare: Modificarea fluxului prin acționarea sistemului de slăbire cîmp (metodă originală).
- modificarea forței de frinare: În opt trepte pentru două nivele de excitație separată a generatorului pr. Comanda contactoarelor de slăbire cîmp se rea-

.//.

lizează cu came în controlerul de comandă.

- Protecția:

Releele maximale de tensiune pe potențiometrul (existent) conectat pe rotoarele în serie a două motoare de tracțiune. Tensiunea este proporțională cu curentul de frînare. La prima acționare a protecției (400 A) se micșorează curentul  $I_{JK}$  și ca urmare, la aceeași viteză curentul de frînare scade. Se semnalizează intrarea protecției.

La a doua acționare a protecției (450 A) se întrerupe frînarea electrodinamică prin dezexcitarea generatorului principal.

- Dependența de frână pneumatică:

Pe treapta 5-a de frînare electrodinamică se descarcă automat cilindrii de frână ai locomotivei pentru a proteja bandajele atunci când frînarea trenului este compensată pneumatic. La aplicarea frânei totale de aer (de presiune  $3,5 \text{ daN/cm}^2$ ) frâna electrodinamică iese automat din funcțiune pentru a evita suprafrînarea.

6.3.2.2. Determinarea treptelor de excitație.

În baza experiențelor efectuate cu frâna electrodinamică a LDE 176, a rezultat că elementul de rezistor folosit de la frâna reostatică de  $LL 5100 \text{ kW}$  ( $0,21 \text{ Ohm/500 A}$ ) nu poate fi în-cărcat la-mai mult de  $750 \text{ A}$ . În sistemul de ventilație naturală

././.

prin mișcarea locomotivei (din cauza construcției banda se dilată neuniform și se produc atingeri).

Pentru a realiza forța de frînare maximă în jurul vitezei de 30-35 km/h, la curentul de frînare de 350 A, rezultă ca necesar un curent de excitație de cca. 550 A.

S-a folosit aceeași metodă de modificare a forței de frînare ca la LDE 136, adică, slăbirea cîmpului motoarelor de tracțiune în regim de frînare (cu același grad ca în regim de tracțiune) pentru două nivele de excitație separată a generatorului principal utilizat ca sursă de excitație în regim de frînare (la mersul în gol al motorului diesel).

Cunoscînd curentul de excitație maxim, valorile rezistențelor de slăbire a cîmpului, parametrii existenți ai circuitului de excitație separată ai generatorului principal și valorile rezistențelor înfășurărilor polilor principali ai motoarelor de tracțiune (anexele I și II) s-a ajuns în conformitate cu calculele din anexa III pentru schema de excitație din fig. 6.2. la opt trepte de modificare a curentului de excitație (forței de frînare). Datele principale ale circuitului de excitație sînt prezentate în tabela următoare:

Tabela 7

Treapta	Nivel de excit. JK (A)	RE (mohm)	I <sub>G</sub> (A)	I <sub>e</sub> (A)	Poziția contactoarelor 26		
					26.1	26.2	26.3
I	1,42	18,3	296	120	x	x	x
II	1,42	24,6	285	156	x	x	-
III	1,42	34,2	270	205	x	-	-
IV	1,42	45	256	256	-	-	-
V	3,7	18,3	647	262	x	x	x
VI	3,7	24,6	619	338	x	x	-
VII	3,7	34,2	590	449	x	-	-
VIII	3,7	45	560	560	-	-	-

x închis

- deschis

Variația secvențională a curenților de excitație și motoarelor de tracțiune în regim de frînare și ai generatorului principal (pentru același regim) este prezentată în fig.6.12.

././.

Evident variația reală nu este în trepte, după cum se va vedea din oscilograme și din calcule ulterioare, datorită constantelor electrice și electromecanice ce intervin în lanțul circuitelor ce participă în sistemul de excitație.

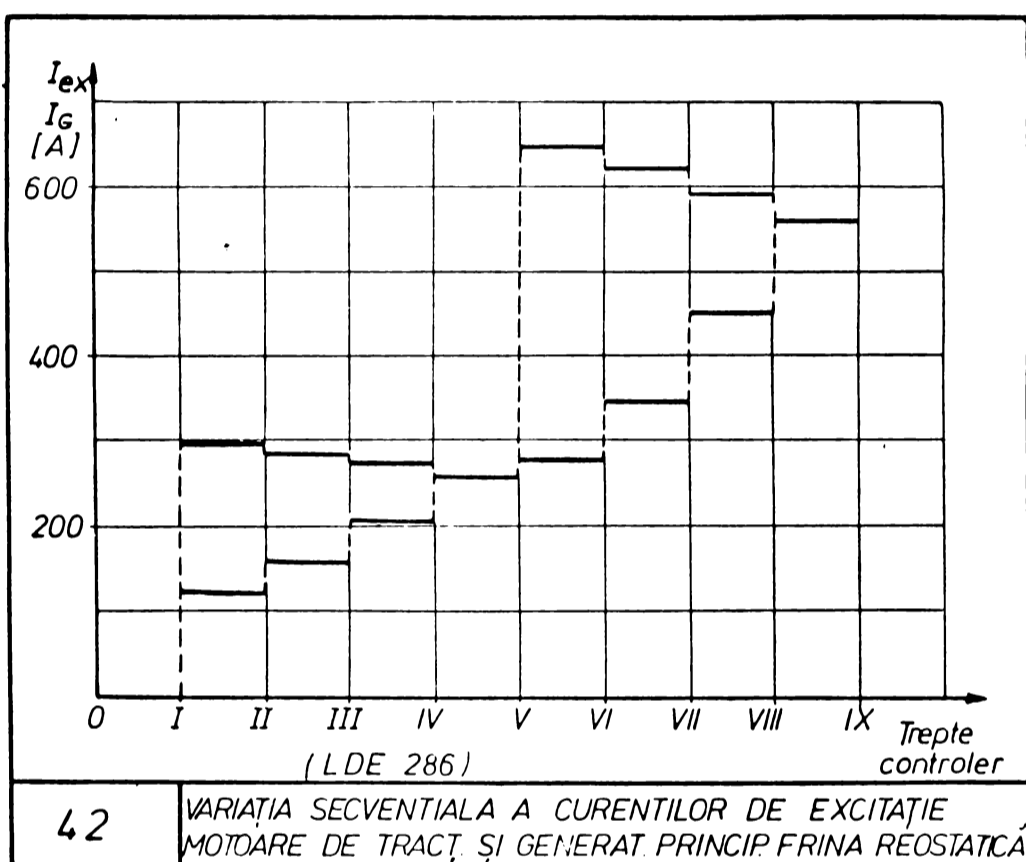


Fig. 6.12.

Pentru calculul curenților de excitație s-a folosit și metoda grafică din fig.6.4., pentru cele două nivele de excitație separată a generatorului principal. Graficul este prezentat în fig.6.17.

În tabela 2 se dau pentru comparație valorile curenților de excitație ai motoarelor de tracțiune pe trepte, determinate analitic, grafic, prin măsurători și prin oscilografieri.

././.

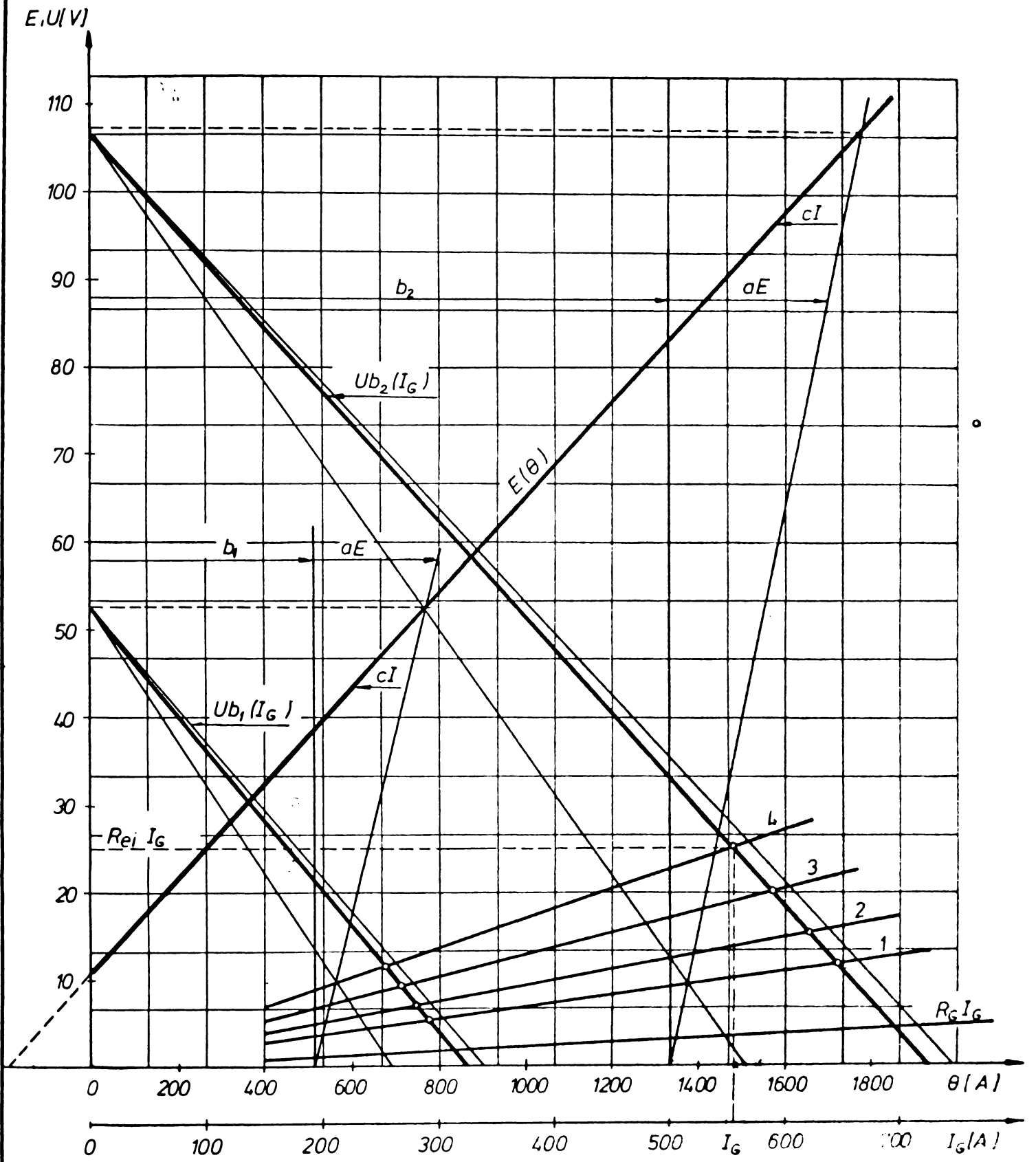


Fig. 6 13

$$\theta = b + aE - cI_G$$

$$U = E - R_G I_G = R_e I_G$$

Din grafic rezultă:

$$I_{G I} = 293 \text{ A}$$

$$I_{G II} = 280 \text{ A}$$

$$I_{G III} = 273 \text{ A}$$

$$I_{G IV} = 253 \text{ A}$$

$$I_{G V} = 645 \text{ A}$$

$$I_{G VI} = 620 \text{ A}$$

$$I_{G VII} = 590 \text{ A}$$

$$I_{G VIII} = 555 \text{ A}$$

$$I_{ex I} = 119 \text{ A}$$

$$I_{ex II} = 154 \text{ A}$$

$$I_{ex III} = 207 \text{ A}$$

$$I_{ex IV} = 253 \text{ A}$$

$$I_{ex V} = 264 \text{ A}$$

$$I_{ex VI} = 342 \text{ A}$$

$$I_{ex VII} = 450 \text{ A}$$

$$I_{ex VIII} = 555 \text{ A}$$

$$I_{ex} = \frac{R_e I_G}{6 R_m} = 123.4$$

Tabela 8

CURENTII DE EXCITATIE AI MOTOARELOR DE TRACTIUNE (A)									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Calculat	120	156	205	256	262	338	449	560	
Grafic	119	153	207	254	264	342	450	555	
Măsurat $n_{MD}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{craștere} \\ \text{scădere} \end{array} \right.$	118	150	190	240	272	348	438	555
		124	155	198	258	275	350	440	
Osc ilografiat	119	150	190	240	272	346	438	555	

$n_{MD}$  = turatia motorului diesel

### 6.3.2.3. Caracteristica de frinare $F_f = f(v)$

Datele de calcul pentru un motor sînt aceleași ca la frîna electrodinamică a LDE 176, doar că s-a mîrit rezistența de frinare de la 0,84 Ohm/motor la 1,14 Ohm/motor, în vederea creșterii puterii.

În conformitate cu calculele din anexa IV., formulele de calcul pentru caracteristica de frinare sînt:

$$F_f = 2,81 \frac{I_f^2}{v} \text{ [daN]} \text{ pentru curent de frinare constant} \quad (6.9)$$

$$F_f = 20,4 \varnothing^2 v \cdot 10^4 \text{ [daN]} \text{ pentru flux constant} \quad (6.10)$$

Caracteristica de frinare  $F_f = f(v)$  este prezentată în fig. 6.14.

Obs.: S-a calculat cu valoarea medie de 55°C, considerînd că frîna este folosită la trenuri de călători.

După cum rezultă din caracteristica de frinare, pentru curentul maxim de frinare de 400 A. se obține forța maximă de frinare de  $13 \cdot 10^3$  daN la cca. 35 km/h. Pentru curentul de durată 350 A, se obține forța maximă de  $11,5 \cdot 10^3$  daN la cca. 30 km/h, ceea ce situează această frînă la nivelul celor construite de alte firme (care au în general rezistoarele de frinare montate în blocuri ventilate). Pentru comparație se dă tabela 9.

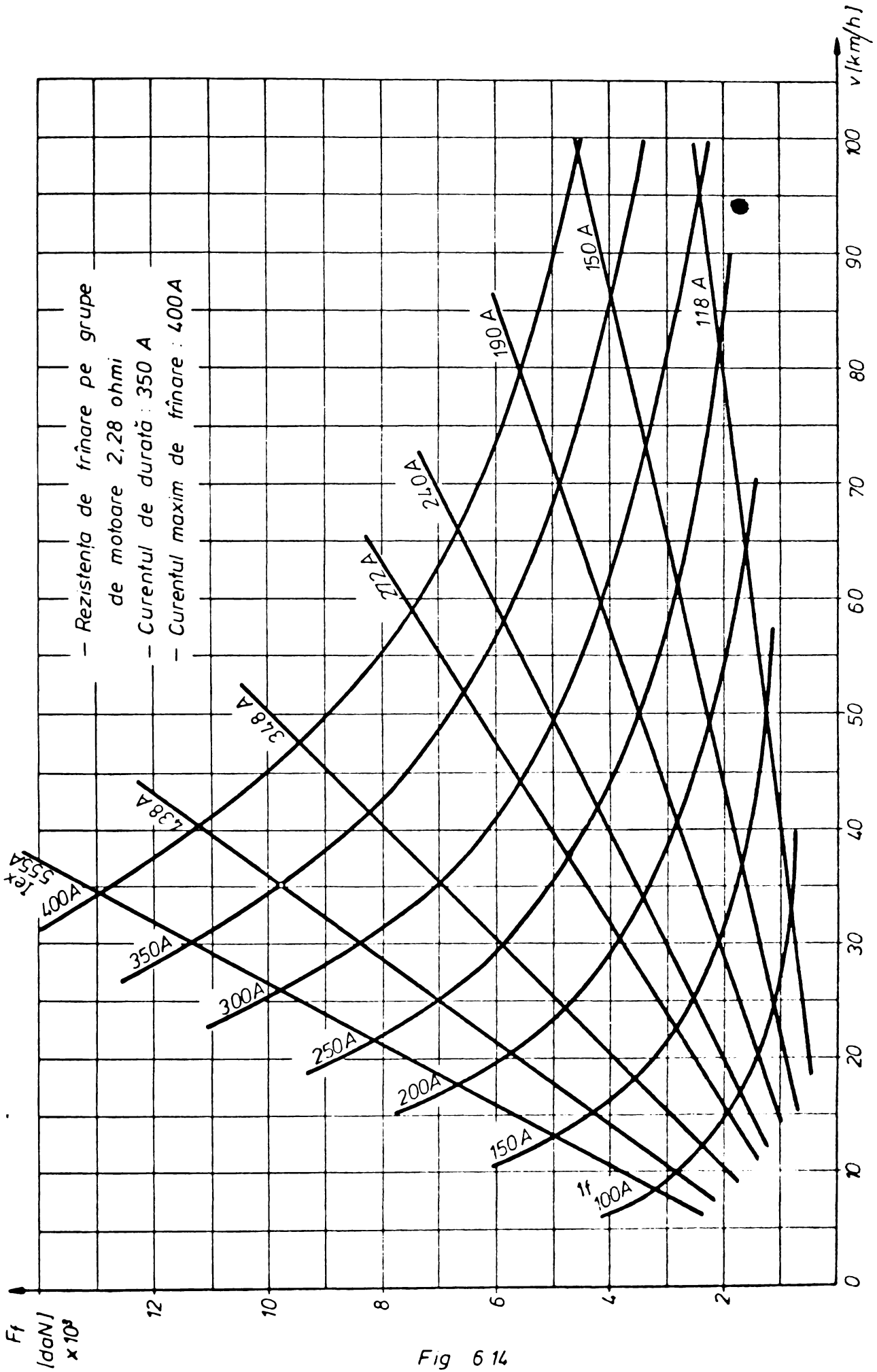


Fig 614

44

CARACTERISTICA DE FRÎNARE  $F_f = f(v)$  (LDE 286) (cu valorile măsurate ale curentilor de excitație)



Tabela 9

LOCOMOTIVA/TARA	Puterea de frinare (kw)	Forța de frinare max. (daN) $\times 10^3$	Viteza la $F_f$ max. (km/h)	Obs.
LDE 1750 CP/ACEC, Belgia	1290 kW	1450	14,4	36
Bm4/4/Elveția		1100	12	33
Century 424/SUA		2000	19	39
CC 2400/Alsthom, Franța		1500	17	33
Kestrel 4000 CP/Brush, Anglia	2940 kW	2160	14,5	50
LDE 2100 CP/Electropute-re România	1540 kW	950	11,5	30
				LDE 286 modificată pt. montare frână

#### 6.3.2.4. Construcția

Construcția frinei la LDE 286 a avut la bază modul de realizare a frinei pe o singură grupă de motoare de tracțiune. Diferențe au apărut la blocul de aparate, unde datorită faptului că locomotiva are trei trepte de slăbire cîmp a trebuit să se schimbe amplasarea contactorului de slăbire cîmp 26.1, la postul de conducere unde s-au montat ampermetre cu dublu sens și la acoperiș unde s-au montat trei grupe de rezistoare de frinare.

Modificările efectuate pentru montarea frinei la LDE 286 sînt prezentate în fotografiile din anexa V.

De menționat că, prima execuție a rezistoarelor de frinare, cu element constructiv identic cu cel de la LDE 136 și cu fixarea cadrului grupului de rezistențe în trei puncte, nu a dat rezultate bune. Din cauza vibrațiilor mulți elemente au prezentat benzi lipite și topite desi temperatura de regim nu a atins pe departe limita de temperatură a benzii.

Deoarece ansamblul frinei electrodinamice s-a comportat bine în exploatare, de comun acord cu MTTc.-DTV, s-a convenit reconstruirea rezistenței de frinare în altă variantă (variantă cu element ondulat de tipul rezistenței de slăbire cîmp). Această variantă s-a montat în 1973 cînd LDE 286 a fost adusă la IMMR pentru reparație generală.

Rezistorul de frinare, montat pe un cadru consolidat mai rigid pe acoperiș, este prezentat în fig. 6.15.

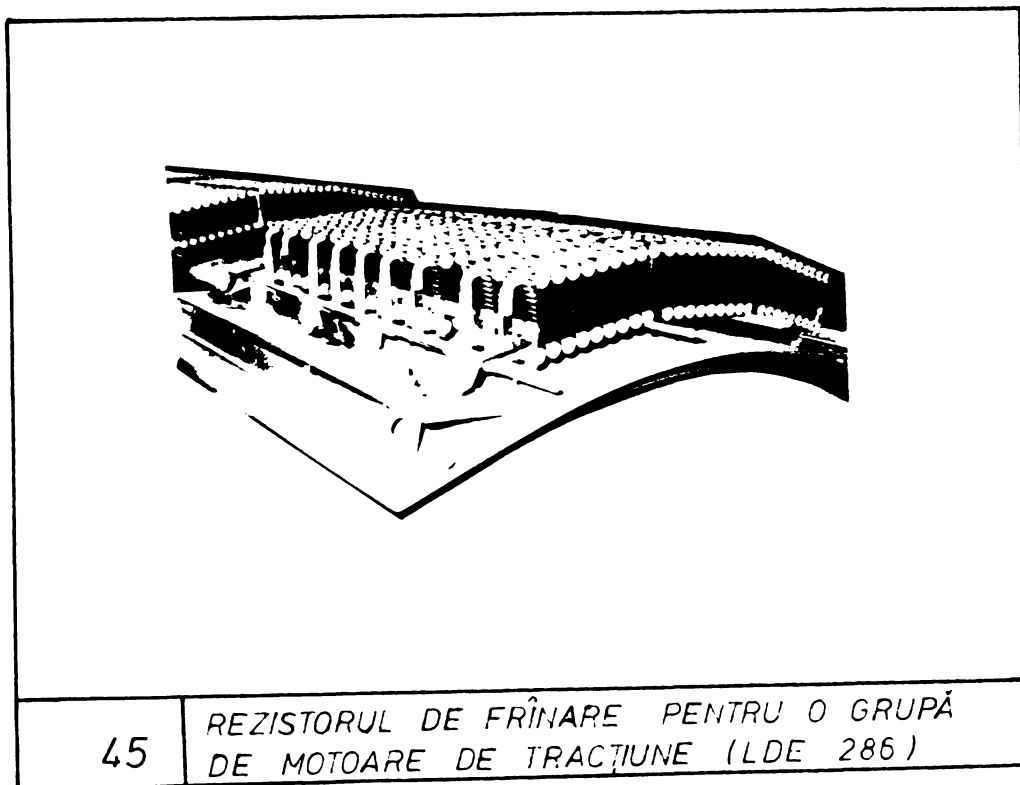


Fig. 6.15.

#### 6.3.2.5. Rezultatele experimentărilor

În data de 24 oct.1973, s-a făcut proba de predare a frânei locomotivei 286 pe secția Craiova - Tr.Severin cu un tren de persoane. Rezultatul probei este prezentat în procesul verbal din anexa VI.

S-au oscilografiat regimul electric și termic al rezistoarelor de frinare, la coborârea pantei Balota. Oscilograma este prezentată în fig. 6.16.

După cum reiese din oscilogramă, pentru  $I_{ex} = 420$  A. (treapta VII de frinare) la viteza de aprox.40 km/h rezultă un

././.

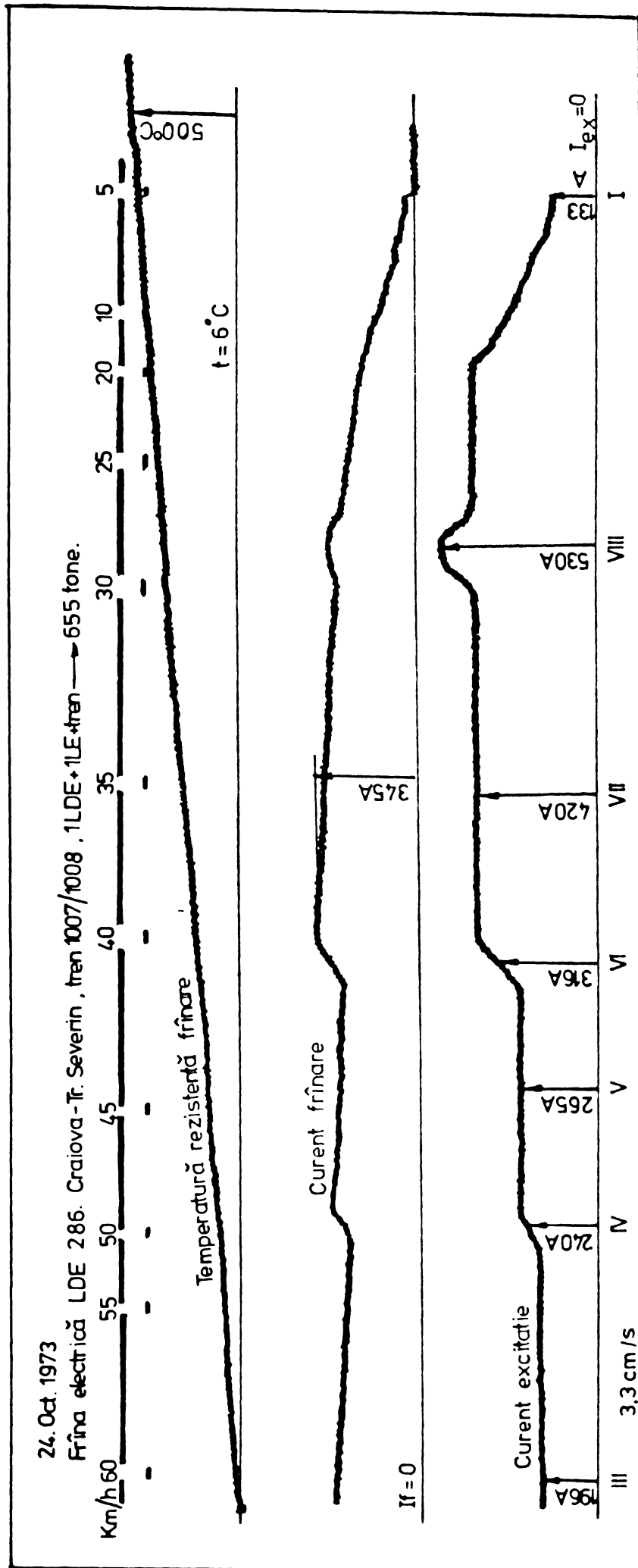


Fig. 6.16

curent de 345 A, ceea ce verifică cu o eroare mică, calculele prezentate în caracteristica de frînare din fig.6.14. Diferențele provin din încălzirile reale ale mașinilor de tracțiune față de temperatura medie de 55°C la cât s-au făcut calculele.

La coborîrea pantei Balota, temperatura maximă înregistrată (de scurtă durată) a fost 500°C. (Temperatura maximă de regim a benzii de Alkrothal este 1050°C).

De remarcat că trenul a coborît panta Balota acționându-se numai frîna electrodinamică, cu o depresiune permanentă de 0,7 daN/cm<sup>2</sup> în conductaj de frînă. Mersul a fost absolut lin, fără șocuri, manevrarea frînei făcându-se cu ușurință pentru păstrarea constantă a vitezei prescrise de coborîre.

Pe restul secției de renorcare, frîna electrodinamică a fost folosită ca frînă de încetinire la intrarea în stație. De la viteza maximă a trenului s-a frînat electric pînă la 30-40 km/h și apoi pneumatic, ceea ce reprezintă un mod foarte economic de frînare pneumatică mai ales la trenurile de persoane cu opriri dese în stații.

În momentul de față LDE 286 este în dotarea depoului de locomotive Craiova, care o folosește pe linii secundare la trenuri de persoane. Frîna este folosită ca frînă de încetinire la intrarea în stații.

La revizia efectuată la începutul lunii oct.1974, frîna electrodinamică a rezultat a fi în bune condițiuni, atât ca comandă cât și ca stare a rezistențelor de frînare. Cu această ocazie s-au oscilografiat curenții de excitație  $I_{JK}$  și  $I_{ex}$  (mot. de tracțiune). Oscilograma este prezentată în fig.7.10.

#### 6.3.2.6. Greutatea echipamentului de frînare electrodinamică.

Greutatea suplimentară introdusă pe locomotivă este aprox.

- Rezistorul de frînare:	675 kg.
- Comutator tracțiune-frînare:	120 kg.
- Contactor pentru frînare:	34 kg.
- Aparatură mîrunt, cabluri și alte materiale de montaj:	100 kg.
	<hr/>
	931 kg.

Greutate : cea. 1000 kg.

La puterea obținută de 950 kW. revine 1,05 kg/kW.

In comparație cu greutatea frânei electrodinamice reostatice de la LE 5100 kW., socotind numai greutatea blocului de frinare, pentru care rezultă:

$$\frac{1565 \text{ kg.}}{1150 \text{ kW.}} = 1,26 \text{ kg/kW.},$$

reiese o reducere cu 26% a greutății montate suplimentar.

#### 6.3.2.7. Efecte economice posibil a se realiza.

Montarea frânei electrodinamice la LDE 2100 CP. pe construcția actuală reprezintă pentru IEPC o creștere a producției globale la locomotive la o manoperă insensibil crescută.

Economiile și efectul calitativ se realizează la beneficiar [1] prin reducerea numărului de saboți și micșorarea uzurii bandajelor locomotivelor.

După datele furnizate de ISCT [4], pe o secție de 110 km. rezultă o economie <sup>de saboți</sup> de cca. 41 tone/tren an, prin folosirea frânei electrodinamice de 2400 kW. a LE 5100 kW., la un tren de 1600 tone.

#### 6.4. CONCLUZII

Cercetările, lucrările de proiectare, montarea experimentală pe LDE 136 și LDE 286, pe care le-am efectuat între anii 1969 - 1973, au demonstrat că este posibil a se monta o frână electrodinamică reostatică pe construcția actuală a LDE 1540 kW. (2100 CP), (cu destulă ușurință la reparatia locomotivelor), cu minimum de modificări. Frâna are performanțe comparabile cu frâna de puteri similare construite de alte firme (la construcție neventilată în bloc) și are greutate redusă.

In continuare, se vor studia regimurile tranzitorii ale transmisiei electrice la modificarea forței de frinare prin metoda slăbirii câmpului.

Studiul teoretic, bazat pe teoria mașinilor electrice și metode ale sistemelor automate, urmărește prezentarea rezolvării pe această cale a unei aplicații practice complexe și verificarea rezultatelor obținute cu rezultatele experimentale.

7. REGIMUL TRANZITORIU AL FRINARII ELECTRICE LA MODIFICAREA SECVENTIALA A CURENTULUI DE EXCITATIE PRIN METODA SLABIRII DE CIMP IN TREPTE.

7.1. Ecuatiile regimului tranzitoriu

Reluând schema regimului de frînare al mașinilor de tracțiune pe fig.7.1, se observă că generatorul principal, cu funcționarea de sursă de excitație a motoarelor de tracțiune în regim de frînare, este o mașină amplificatoare de putere, la care cîmpul inductor este produs - pe lîngă înfășurarea de comandă - de înfășurarea derivație care asigură o reacție pozitivă de tensiune și de înfășurarea serie parcursă de curentul de sarcină, care asigură o reacție negativă de curent. (Este, aproximativ, o combinație de regulex și rototrol - cu reacție negativă de curent).

În producerea fluxului de excitație contribuția principală o au înfășurările separată și serie în timp ce înfășurarea de excitație derivație contribuie cu o solenație redusă, în acest regim generatorul principal funcționînd la turația minimă.

Înfășurările de excitație sînt dispuse pe aceeași piesă polară și între ele apare un cuplaj magnetic mutual caracterizat prin inductivitățile mutuale respective. Întrucît înfășurările de excitație sînt strîns cuplate pe polul principal, se pot neglija dispersiile magnetice dintre ele și în acest caz se pot scrie relațiile cunoscute între inductivitățile proprii și cele mutuale:

$$\frac{L_{KK}}{N_K^2} = \frac{L_{Kj}}{N_K N_j} = \frac{L_{jj}}{N_j^2} \quad (7.1)$$

Pentru stabilirea ecuațiilor caracteristice ale regimului tranzitoriu sînt posibile următoarele ipoteze simplificatoare:

- pentru acest regim de funcționare, generatorul principal funcționează complet nesaturat (turație minimă, solenație totală redusă) ceea ce permite scrierea unei relații lineare între t.e.m.

././.

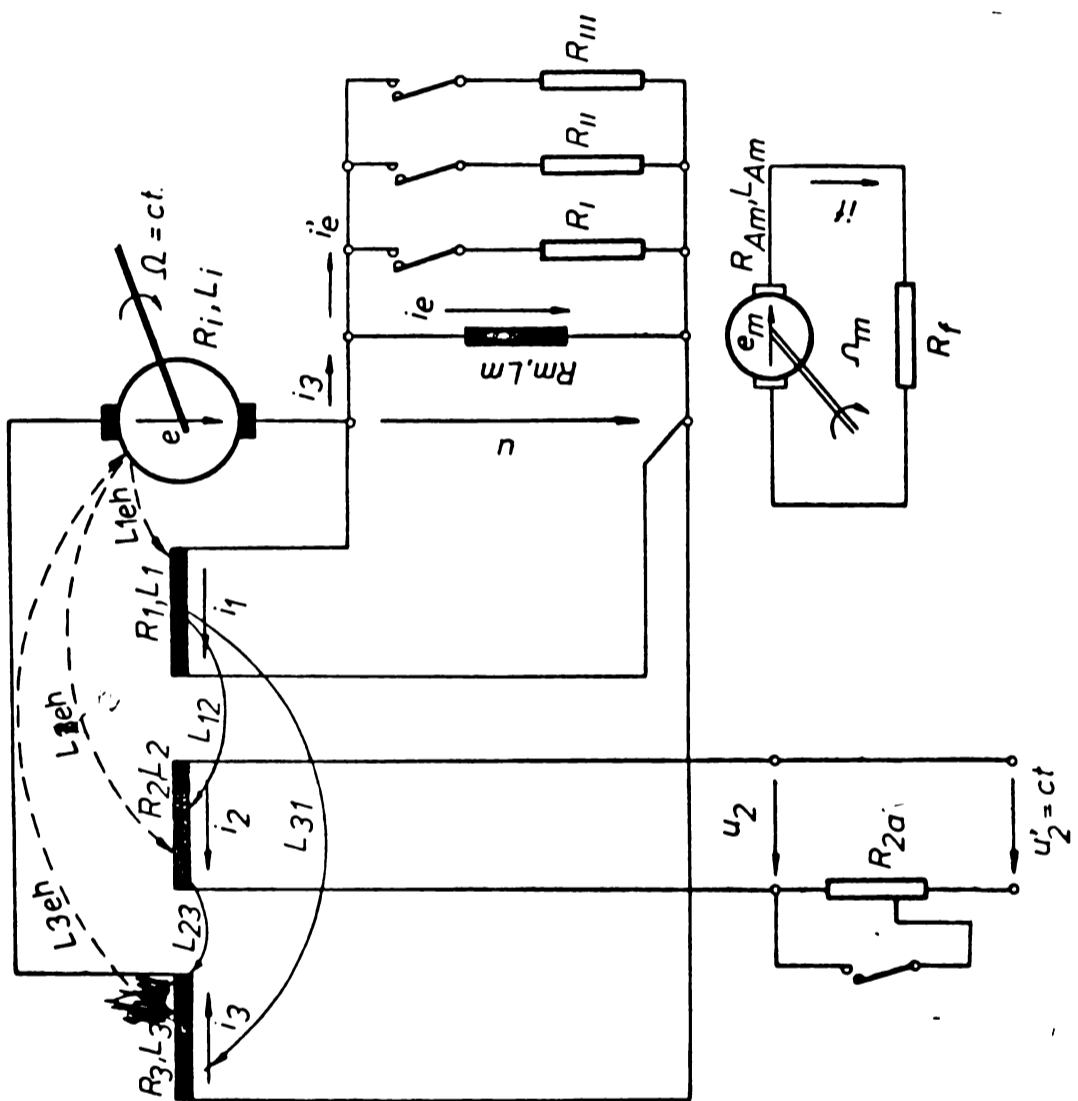


Fig.7.1

indusă și solenația de excitație rezultantă,

- se neglijează căderile de tensiune produse de curentul de reacție  $i_1$  în circuitul rotorului,

- viteza de antrenare a generatorului principal este constantă (corespunde turației de mers în gol a motorului diesel),

- se neglijează reacția indusului și deci a cuplajelor între stator și rotor,

- se consideră în primă aproximație funcționarea motorului de tracțiune (în regim de frînare) pe porțiunea liniară a caracteristicii de magnetizare,

- se neglijează curentul de excitație derivativ în componența curentului de sarcină al generatorului, dată fiind valoarea mare a rezistenței înfășurării derivativ față de valoarea rezistenței de sarcină, adică  $i_3 = i_e + i'_e$ .

Adoptând pentru mașinile electrice asocierea sensurilor pozitive corespunzătoare sursei, cu notațiile schemei din fig. 7.1 și cu simplificările de mai sus, pentru regimul tranzitoriu electromagnetic se pot scrie următoarele ecuații funcționale:

$$u_2 = u'_2 - R_{2aj} i_2 \quad (7.2)$$

$$-u_2 + L_{21} \frac{di_1}{dt} + (R_2 + R_{2aj}) i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} - L_{32} \frac{di_3}{dt} = 0 \quad (7.3)$$

$$R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + L_{12} \frac{di_2}{dt} - L_{13} \frac{di_3}{dt} - R_m i_e - L_m \frac{di_e}{dt} = 0 \quad (7.4)$$

$$R'_e i_3 - (R_m + R'_e) i_e - L_m \frac{di_e}{dt} = 0 \quad (7.5)$$

$$e - R_m i_e - L_m \frac{di_e}{dt} + L_{31} \frac{di_1}{dt} + L_{32} \frac{di_2}{dt} - (R_i + R_3) i_3 - (L_i + L_3) \frac{di_3}{dt} = 0 \quad (7.6)$$

$$e = m (N_1 i_1 + N_2 i_2 - N_3 i_3) + E_r \quad (7.7)$$

$$k \Omega_m \psi_m - (R_{Am} + R'_f) i_f - L_{Am} \frac{di_f}{dt} = 0 \quad (7.8)$$



$$\Psi_m = c i_e \quad (7.9)$$

în care:  $\frac{1}{R'_e} = \frac{1}{R_I} + \frac{1}{R_{II}} + \frac{1}{R_{III}}$ ,  $R'_e$  fiind rezistența echivalentă de scurtare a înfășurărilor principale ai motoarelor de tracțiune.

$m$  - panta porțiunii liniare a caracteristicii de magnetizare a generatorului principal, corespunzătoare solenatiei totale în sarcină.

$E_r$  - t.e.m. indusă de fluxul remanent

- inductivitățile, rezistențele și curenții au semnificația și asocierea conform fig. 7.1. S-au notat prin  $R_n$ ,  $L_n$  rezistența respectiv inductivitatea proprie ale înfășurării  $n$  ( $n = 1, 2, 3$ ) iar prin  $L_{mn}$  inductivitatea mutuală a înfășurărilor  $m, n$  ( $m, n = 1, 2, 3$ , în combinații astfel ca  $m \neq n$ )

## 7.2. Studiul sistemului.

Considerând elementele schemei din fig.7.1. ca fiind parte dintr-un sistem automat realizat fizic (ceea ce corespunde situației pentru metoda prezentată în lucrarea de față), se vor stabili performanțele acestuia, folosind metode ale teoriei sistemelor automate, cu scopul de a verifica pe această cale dacă condițiile de proiectare pentru o aplicație practică pot fi realizate cu soluția de principiu adoptată.

### 7.2.1. Determinarea răspunsului în domeniul timp.

Mărimea de intrare în sistem este tensiunea  $u_2$  aplicată înfășurării de excitație separată a generatorului principal iar mărimile de ieșire sînt curenții  $i_3$ ,  $i_e$  și  $i_f$ , considerîndu-se constante vitezele de rotație  $\Omega_m$ , a motorului de tracțiune respectiv  $\Omega$  a generatorului principal.

..

Pentru a se evidenția variația în timp a mărimilor de ieșire, care sînt curenții mașinilor electrice ale schemei în regimul de frînare electrodinamică, se vor determina soluțiile  $i_3(t)$ ,  $i_e(t)$  și  $i_f(t)$  ale sistemului de ecuații (7.2 + 7.9) prin două metode:

- metoda de integrare numerică Runge Kutta
- metoda analitică prin calculul matricei de tranziție  $\Phi(t)$

Metoda analitică se va prezenta la acest punct numai sub forma generală, aplicația ei literală necesitînd în acest caz foarte mult spațiu.

#### 7.2.1.1. Integrarea sistemului de ecuații (7.2 + 7.9) prin metoda Runge Kutta.

Pentru aplicarea metodei Runge Kutta, ecuațiile sistemului se transcriu sub forma matriceal - vectorială,

$$\dot{\bar{X}} = A\bar{X} + \bar{b}u \quad (7.10)$$

unde: A - matricea sistemului  
 $\bar{b}$  - vectorul termenului liber

Făcînd notațiile

$$X_1=i_1; X_2=i_2; X_3=i_3; X_4=i_e; X_5=i_f; U=u_2$$

$$A = \frac{R_2 + R_{2aj}}{L_{21}}; B = \frac{R'_e}{L_{11}}; D = \frac{R_m + R'_e}{L_m}; C = \frac{c \Omega_m}{L_{Am}}$$

sistemul de ecuații (7.2 + 7.9) se scrie sub forma:

$$\dot{X}_1 = -AX_2 - \frac{L_2}{L_{21}} \dot{X}_2 + \frac{L_{32}}{L_{21}} \dot{X}_3 + \frac{1}{L_{21}} U$$

$$\dot{X}_2 = -\frac{R_1}{L_{12}} X_1 - \frac{L_1}{L_{12}} \dot{X}_1 + \frac{L_{13}}{L_{12}} \dot{X}_3 + \frac{R_m}{L_{12}} X_4 + \frac{L_m}{L_{12}} \dot{X}_4$$

..

$$\left. \begin{aligned}
 \dot{X}_3 &= \frac{mN_1}{L_A} X_1 + \frac{L_{31}}{L_A} \dot{X}_1 + \frac{mN_2}{L_A} X_2 + \frac{L_{32}}{L_A} \dot{X}_2 - \frac{mN_3 + R_A}{L_A} X_3 - \frac{R_{\Phi}}{L_A} X_4 - \\
 &\quad - \frac{L_m}{L_A} \dot{X}_4 + \frac{1}{L_A} E_r \\
 \dot{X}_4 &= BX_3 - DX_4 \\
 \dot{X}_5 &= CX_4 - \frac{R_{Am} + R'_F}{L_{Am}} X_5
 \end{aligned} \right\} \quad (7.11)$$

Prin operații matematice simple și notînd cu:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & \frac{L_2}{L_{21}} & -\frac{L_{32}}{L_{21}} \\ \frac{L_1}{L_{12}} & 1 & -\frac{L_{13}}{L_{12}} \\ \frac{L_{31}}{L_A} & -\frac{L_{32}}{L_A} & 1 \end{vmatrix}; \Delta_1 = \begin{vmatrix} E & \frac{L_2}{L_{21}} & -\frac{L_{32}}{L_{21}} \\ F & 1 & -\frac{L_{13}}{L_{12}} \\ G & -\frac{L_{32}}{L_A} & 1 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & E & -\frac{L_{32}}{L_{21}} \\ \frac{L_1}{L_{12}} & F & -\frac{L_{13}}{L_{12}} \\ -\frac{L_{31}}{L_A} & G & 1 \end{vmatrix}; \Delta_3 = \begin{vmatrix} 1 & \frac{L_2}{L_{21}} & E \\ \frac{L_1}{L_{12}} & 1 & F \\ -\frac{L_{31}}{L_A} & -\frac{L_{32}}{L_A} & G \end{vmatrix}$$

... .

unde:

$$E = \frac{U}{L_{21}} - AX_2$$

$$F = - \frac{R_1}{L_{12}} X_1 + \frac{L_m}{L_{12}} BX_3 + \left( \frac{R_m}{L_{12}} - D \frac{L_m}{L_{12}} \right) X_4$$

$$G = \frac{mN_1}{L_A} X_1 + \frac{mN_2}{L_A} X_2 - \left( \frac{mN_3 + R_A}{L_A} + \frac{L_m}{L_A} B \right) X_3 -$$

$$- \left( \frac{R_m}{L_A} - \frac{L_m}{L_A} D \right) X_4 + \frac{E_F}{L_A}$$

sistemul (7.11) devine:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{X}_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} \\ \dot{X}_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} \\ \dot{X}_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} \\ \dot{X}_4 = BX_3 - DX_4 \\ \dot{X}_5 = CX_4 - \frac{R_{Am} + R'_F}{L_{Am}} X_5 \end{array} \right. \quad (7.12)$$

Coeficienții E, B, C și D cuprind parametrii prin care se stabilesc secvențele  $R_{2aj}$ ,  $R'_e$  și  $\Omega_m$  pentru modificarea forței de frinare.

Sub forma (7.12) sistemul poate fi rezolvat pe un calculator numeric care, printr-un program corespunzător, poate da soluție grafică a mărimilor de ieșire  $i_3(t)$ ,  $i_e(t)$ ,  $i_f(t)$ .

././.

Din rezolvarea sistemului pe calculator, soluțiile fiind obținute sub formă grafică, pe acestea pot fi apreciate performanțele sistemului cu ajutorul mărimilor caracteristice, care se referă pe de o parte la aspectul răspunsului sistemului la semnalele de intrare, iar pe de altă parte la unele mărimi constructive ale sistemului de care depind performanțele acestuia.

În acest fel se pot aprecia:

- ansamblul valorilor pe care semnalele de ieșire le pot lua în regim staționar,
- plaja de toleranță în care se încadrează mărimile de ieșire și care în mod obișnuit este  $\pm (2\% + 5\%)$  față de valoarea staționară a semnalului de ieșire,
- abaterea de la valoarea staționară, care este diferența dintre valoarea staționară și valoarea instantanee a semnalului de ieșire,
- suprareglarea, care este diferența dintre valoarea maximă a semnalului de ieșire și valoarea lui staționară,
- amortizarea, care este diminuarea în timp a componentei tranzitorii a răspunsului sistemului, etc.

Sistemul de ecuații (7.2 + 7.9) poate fi rezolvat prin metoda de mai sus și pentru alte aplicații în care se pot considera alte mărimi ca mărimi de intrare și ieșire. În acest fel, metoda se poate generaliza pentru orice combinație aplicativă a elementelor schemei din fig.7.1.

#### 7.2.1.2. Determinarea analitică a soluțiilor sistemului de ecuații (7.10)

Metoda analitică de determinare a soluțiilor unui sistem de forma matriceal-vectorială (7.10), are la bază determinarea matricii de tranziție  $\Phi(t)$  a sistemului.

De asemenea, studiul matricii  $A$  permite analizarea stabilității sistemului prin determinarea valorilor proprii ale acestuia. În cazul în care toate valorile proprii ale matricii  $A$  a sistemului sînt negative, sistemul este stabil.

Calculul valorilor proprii ale matricii  $A$  și determinarea coeficienților matricii de tranziție  $\Phi(t)$  se pot face ușor cu ajutorul calculatorului numeric folosind o subrutină a acestuia.

Calculul matricei de tranziție  $\Phi(t)$  permite scrierea soluției analitice a sistemului, sub forma:

$$x(t) = \Phi(t) x_0 + \int_{t_0}^t \Phi(t-\tau) u(\tau) d\tau \quad (7.13)$$

în care:

$\Phi(t)$  = matricea de tranziție  
 $x_0$  = condițiile initiale  
 $u(t)$  = vectorul termenului liber

7.3. Aplicația calculului regimului tranzitoriu pentru elementele transmisiei electrice a LDE 1540 kW. (2100 CP).

După cum s-a specificat la pct.7.2., prin studiul teoretic s-a urmărit rezolvarea regimului tranzitoriu electromagnetic al frînării electrodinamice al unei aplicații cu mașini electrice de curent continuu.

Cu metodele expuse la pct.7.2.1. și pct.7.2.2., se va face în continuare aplicația la cazul practic al mașinilor electrice ce formează transmisia electrică a LDE 1540 kW. (2100 CP), pentru care autorul a realizat frâna electrodinamică de 1000 kW.

7.3.1. Determinarea inductivităților mașinilor electrice.

Intrucât, datele tehnice de proiectare ale mașinilor electrice considerate nu cuprind valorile inductivităților, pentru determinarea acestora s-a folosit metoda experimentală cunoscută de oscilografieră a curentului ce se stabilește într-o înfășurare când aceasta este alimentată cu o treaptă de tensiune (celelalte înfășurări fiind deschise). Din oscilogramă se determină constanta de timp a înfășurării respective ca fiind timpul necesar atingerii a 63,2% din valoarea staționară.

După determinarea constantelor de timp s-au calculat inductivitățile proprii ale înfășurărilor,

$$L_n = T_n R_n \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (7.14)$$

și cu relațiile (7.1.) inductivitățile mutuale.

Din oscilografiile executate pentru mașinile electrice ale LDE 1540 kW. (2100 CP) au rezultat:

a) generatorul principal:

- înfășurarea de excitație separată (JK):  $T_2 = 1,0$  s.
- înfășurarea de excitație derivație (CD):  $T_1 = 0,575$  s.
- rotorul + înfășurările polilor auxiliari compensație și excitație serie (AB+GH+EF):  $T_A = 0,026$  s.

Oscilogramele sînt prezentate în fig.7.2, fig.7.3 și fig. 7.4. Pe oscilograme s-au trecut și valorile calculate ale constantelor de timp pentru înfășurările separată și derivație care, în timpul funcționării sînt permanent conectate în serie cu rezistoare.

b) motorul de tracțiune:

- înfășurarea de excitație (EF):  $T_m = 0,0936$  s.
- rotorul + înfășurarea polilor auxiliari (AH):  $T_{Am} = 0,001$  s.

Oscilogramele sînt prezentate în fig.7.5 și fig.7.6. Pe oscilograma din fig.7.5 s-a calculat constanta de timp a rotorului înseriat cu rezistența de frînare.

7.3.2. Rezolvarea pe calculator numeric (Metoda Runge Kutta).

În conformitate cu datele prezentate în anexele I + IV pentru mașinile electrice și pentru rezistoare și cu precizările de la pct. 7.3.1, rezultă datele din tabela 10 cu care în continuare se vor transcrie termenii sistemului (7.12) pentru programarea pe calculator.

Rezultă astfel:

$$E = -AX_2 + 6,19 \cdot 10^{-2}U$$

$$F = -20,12X_1 + 2,6 \cdot 10^{-4}BX_3 + (2,78 \cdot 10^{-3} - 2,6 \cdot 10^{-4}D)X_4$$

$$G = 5,5 \cdot 10^5 X_1 + 1,237 \cdot 10^5 X_2 - (726,25 + 26,25B)X_3 + \\ + (26,25D - 231,25)X_4 + 6,37 \cdot 10^4$$

$$\Delta = -0,0342$$

$$\Delta_1 = 0,07E - 0,028F - 3,8 \cdot 10^{-5}G$$

Înregistrări efectuate cu  
osciloscopul TEKTRONIX  
tip 434

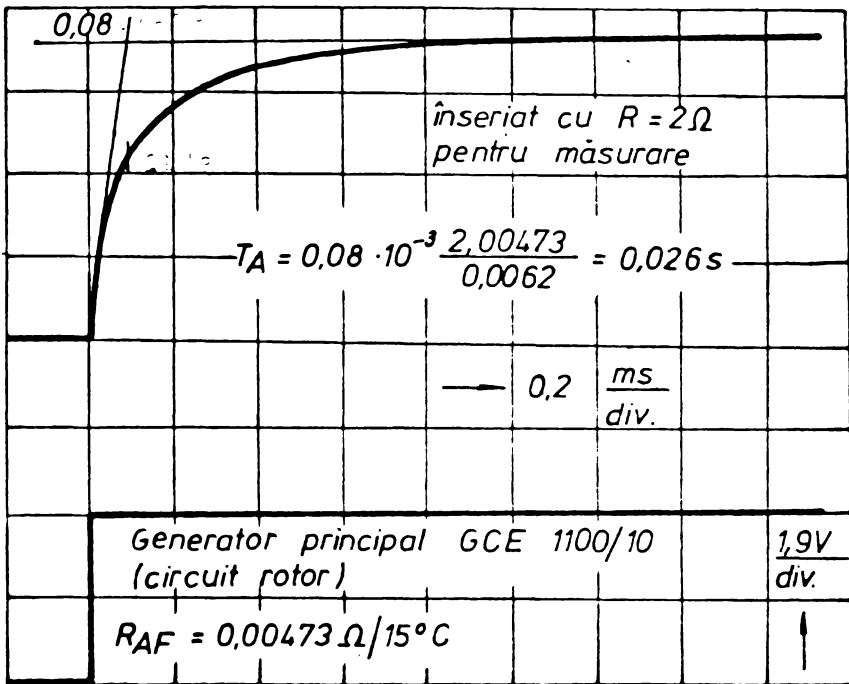


Fig. 7.2

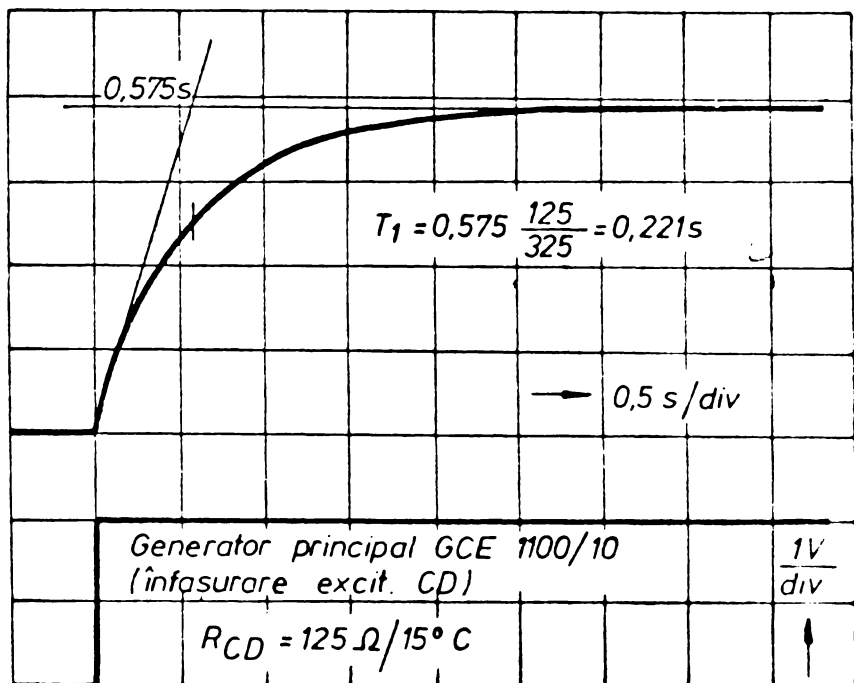


Fig. 7.3

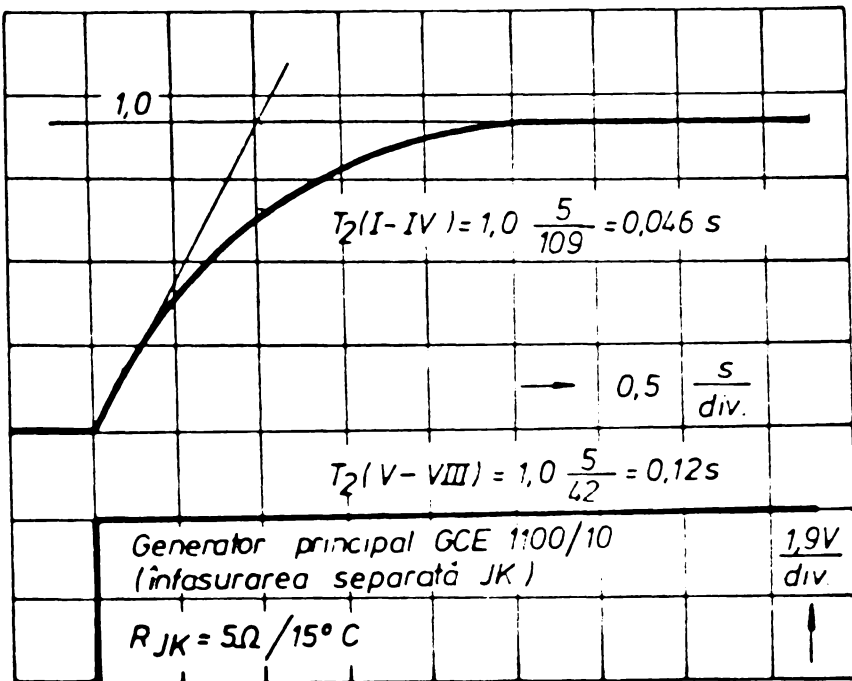


Fig. 7.4

DETERMINAREA CONSTANTELOR DE  
TIMP PENTRU GENERATOR  
PRINCIPAL GCE 1100/10



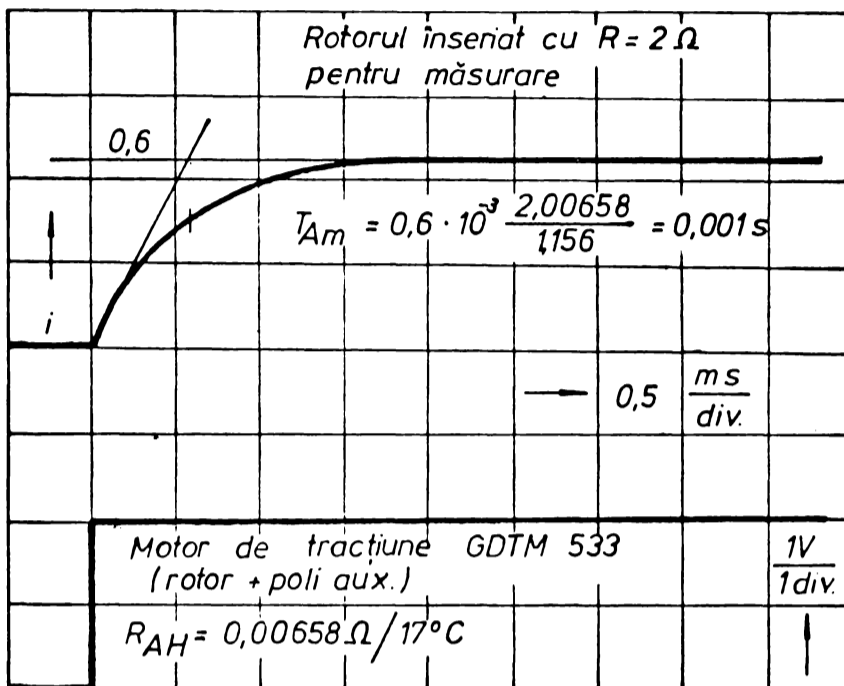


Fig. 7.5

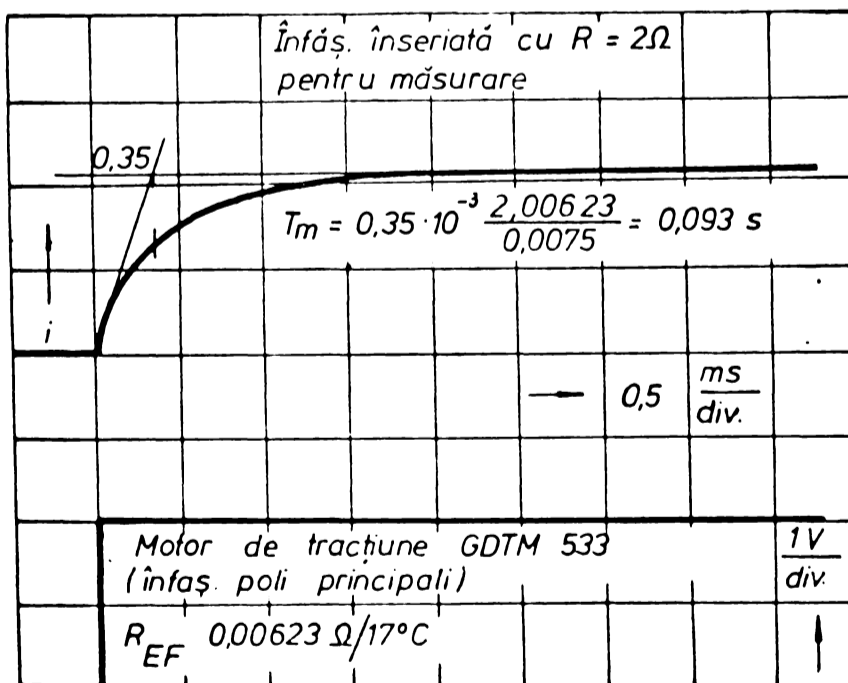


Fig. 7.6

Datele de calcul pentru regimul tranzitoriu al frînării electrodinamice  
la LDE 1540 kV. (2100 CP)

Trecapta	$U_2$	$R_e$	$\frac{L_1}{R_1}$	$\frac{L_2}{R_2 + R_{2aj}}$	$\frac{L_A}{R_A}$	$L_{12} = \frac{N_1}{N_2}$	$L_1$	$L_2$	$L_{13} = \frac{N_3}{N_1}$	$L_1$	$L_2$	$L_3 = \frac{N_3}{N_2}$	$\frac{L_M}{R_M}$	$\frac{L_{AM}}{R_{AM} + R_f}$	$R_{2aj} + R_2$	$R_M$
V	$\Omega$	$\Omega$	H/ $\Omega$	H/ $\Omega$	H/ $\Omega$	H	H	H	H	H	H	H	H/ $\Omega$	H/ $\Omega$	$\Omega$	$\Omega$
I	170	0,0103	$\frac{71,8}{325}$	$\frac{5}{109}$	$\frac{0,00016}{0,0062}$	22,2	0,089	0,027	$\frac{0,0007}{0,0075}$	$\frac{0,0011}{1,156}$	109	0,045				
II	170	0,0184	$\frac{71,8}{325}$	$\frac{5}{109}$	$\frac{0,00016}{0,0062}$	22,2	0,089	0,027	$\frac{0,0007}{0,0075}$	$\frac{0,0011}{1,156}$	109	0,045				
III	170	0,048	$\frac{71,8}{325}$	$\frac{2}{109}$	$\frac{0,00016}{0,0062}$	22,2	0,089	0,027	$\frac{0,0007}{0,0075}$	$\frac{0,0011}{1,156}$	109	0,045				
IV	170		$\frac{71,8}{325}$	$\frac{5}{109}$	$\frac{0,00016}{0,0062}$	22,2	0,089	0,027	$\frac{0,0007}{0,0075}$	$\frac{0,0011}{1,156}$	109	0,045				
V	170	0,0103	$\frac{71,8}{325}$	$\frac{5}{42}$	$\frac{0,00016}{0,0062}$	22,2	0,089	0,027	$\frac{0,0007}{0,0075}$	$\frac{0,0011}{1,156}$	42	0,045				
VI	170	0,0184	$\frac{71,8}{325}$	$\frac{5}{42}$	$\frac{0,00016}{0,0062}$	22,2	0,089	0,027	$\frac{0,0007}{0,0075}$	$\frac{0,0011}{1,156}$	42	0,045				
VII	170	0,048	$\frac{71,8}{325}$	$\frac{5}{42}$	$\frac{0,00016}{0,0062}$	22,2	0,089	0,027	$\frac{0,0007}{0,0075}$	$\frac{0,0011}{1,156}$	42	0,045				
VIII	170		$\frac{71,8}{325}$	$\frac{5}{42}$	$\frac{0,00016}{0,0062}$	22,2	0,089	0,027	$\frac{0,0007}{0,0075}$	$\frac{0,0011}{1,156}$	42	0,045				

$E_r = 10,2 \text{ V.}$  ;  $E = 0,055 \frac{\text{V}}{\text{A}}$  ;  $n_1 = 1600 \text{ sp/p}$ ;  $N_2 = 260 \text{ sp/p}$ ;  $N_3 = 2 \text{ sp/p}$ ;  $k_c = 0,00955 \frac{\text{Vb}}{\text{A}}$

$$\Delta_2 = 0,071F - 1,376E - 1,905 \cdot 10^{-3}G$$

$$\Delta_3 = -0,376G - 3,687F - 193E$$

$$\frac{R_{Am} + R'_f}{L_{Am}} = 1,05 \cdot 10^3$$

Rezolvarea sistemului (7.12) s-a făcut pe calculatorul numeric WANG 2200 al Universității din Craiova, care oferă prin tastatură limbajul universal BASIC.

Determinarea răspunsului în domeniul timp a variabilelor  $x_3, x_4, x_5$ , care reprezintă curenții  $i_3, i_e$  și  $i_f$  din sistemul de ecuații (7.2 + 7.9), s-a făcut conform programului

"LOCO 5 FRINARE LDE 2100 CP/METODA R.K/"

S-au determinat și trasat grafic de către calculator soluțiile sistemului pentru treapta VII-a de frînare, treaptă pentru care s-a oscilografiat regimul stabilizat de frînare la 40 km/h.

Deoarece viteza de calcul a calculatorului WANG 2200 este mică (în acest caz 200 pași/6 ore) nu s-au determinat curenții pentru toate treptele de frînare. De altfel, informațiile obținute pentru o treaptă fiind valabile pentru toate celelalte și concluziile pot rezulta din analiza răspunsului pentru o singură treaptă.

Pentru treapta VII-a de frînare și viteza locomotivei de 40 km/h ( $\Omega_m = 96,18 \text{ rad/s}$ ) coeficienții de secvență au valorile:

$$A = 2,603$$

$$B = 34,2857$$

$$C = 825,016$$

$$D = 45$$

Soluțiile grafice sînt prezentate în fig. 7.7.

```
10REM LOCOS FRINARE LDE 2100CP /METODA R. K. /
15DIM S1(251)
20DIM O(30), O1(30), O2(30)
22DIM S2(201), S3(201)
25DIM X(201), Y(201)
26DIM B8$30
27DIM M(20), L(10), K(4, 10)
30MAT READ O1
35READ A8$, B8$, C8$
40DATA 0, 200, 100, 1000
45DATA 200, 700, 100, 1000
50DATA 0, 200, 10, 100
55DATA 50, 200, 50, 2
60DATA 200, 700, 100, 2
65DATA 5, 690, 1
70DATA 100, 600, 1
75DATA 190, 205, 1, 1
80DATA "I3, I4, I5/AMPERI/", " ", "PASUL"
150GOSUB 42
155GOSUB 40
500DIM M(20), L(10), K(4, 10)
510N=5
520A=2. 603
530B=34. 2857
540D=45
550C=835. 016
560U5=158
570D1=0. 0001
575K4=1:K5=0:K6=1:S1(1)=619:S2(1)=338:S3(1)=268. 62:X(1)=1
1070M(1)=0. 0468:M(2)=3. 71:M(3)=619:M(4)=338:M(5)=268. 62
1075GOTO 1160
1120 L(1)=594. 638*M(1)+(2. 046*A+137. 44)*M(2)-( 807+2. 89E-02*B)*M
(3)+(2. 89E-02*D-. 31)*M(4)+70. 77-. 126*U5
1125 L(2)=3. 06*1E+4*M(1)+( 689*1E+4-40. 23*A)*M(2)-(40. 45+1. 46*B
*M(3)+(1. 46*D-15. 67)*M(4)+3548+2. 49*U5
1130 L(3)=60. 445*1E+5*M(1)+(13. 6E+5-5643. 2*A)*M(2)-(7984. 5+286. 5
3*B)*M(3)+(288. 53*D-3091. 8)*M(4)+70. 03*1E+4+349. 32*U5
1135 L(4)=B*M(3)-D*M(4)
1140 L(5)=C*M(4)-1. 05E+3*M(5)
1145L(6)=2. 01E02*M(5)-1. 1E03*M(6)+8. 4E02*M(7)
1146L(7)=3. 1E02*M(6)-1. 55E03*M(7)+7. 75E02*W7
1150RETURN
1160 REM
1165FOR I=1TO N
1170M(N+I)=M(I)
1175NEXT I
1180GOSUB 1120
1185FOR I=1TO N
1190K(1, I)=L(I)
1195NEXT I
1200D2=D1/2
1205T4=T4+D2
1210FOR J=1TO 3
1215T4=T4+INT(J/3)+D2
1220FOR I=1TO N
1225M(I)=M(N+I)+D2*K(J, I)*INT(J/3+1)
1230NEXT I
1235GOSUB 1120
1240FOR I=1TO N
1245K(J+1, I)=L(I)
1250NEXT I
1255NEXT J
1260FOR I=1TO N
1265M(I)=M(N+I)+D1/6*(K(1, I)+2*K(2, I)+2*K(3, I)+1+4. I)
1270NEXT I
1276PRINT K4, K6, M(3), M(4):K5=K5+1
1277IF K5<30THEN 1290
1280K5=K5+1:S1(K5)=M(3):S2(K5)=M(4):S3(K5)=M(5):X(K5)=M(6):Y(K5)=M(7)
1281K5=0
1285IF K4=6000THEN 1300
1290K4=K4+1:GOTO 1075
```

```

1280K5=0
1281K5=0
1285IF K4=6000THEN 1300
1290K4=K4+1:GOTO 1075
1300STOP

```

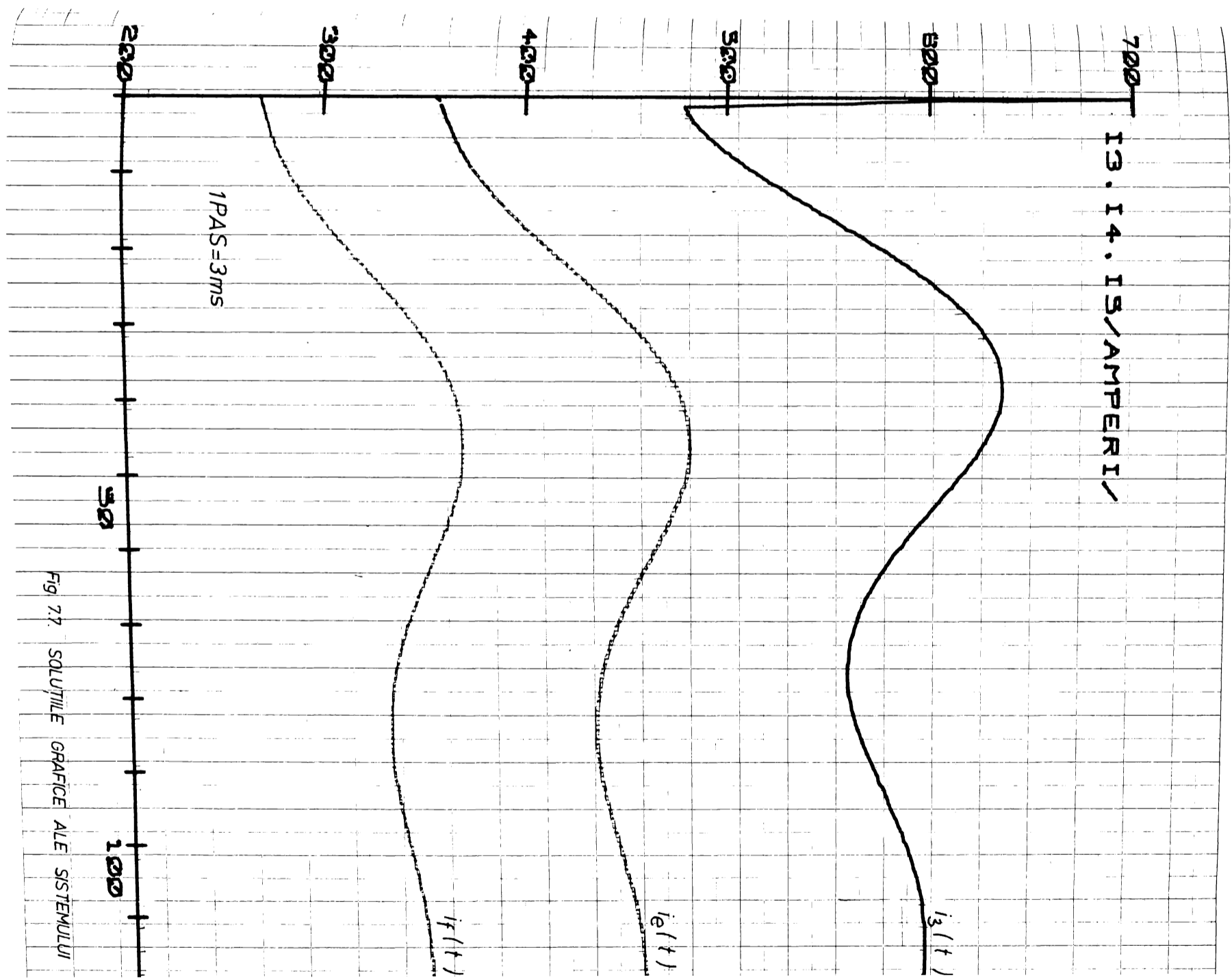


Fig. 7.7. SOLUTILE GRAFICE ALE SISTEMULUI

### 7.3.3. Performanțele sistemului.

Din analiza soluțiilor grafice ale sistemului prezentate în fig.7.7. se determină unele mărimi caracteristice ale performanțelor sistemului și anume:

- valoarea staționară  $e_s$  ca fiind valoarea la care tinde semnalul de ieșire când  $t \rightarrow \infty$
- suprareglarea  $\sigma$  egală cu diferența dintre valoarea maximă a semnalului de ieșire și valoarea ei staționară
- amortizarea caracterizată prin coeficientul de amortizare

$$\xi = \frac{\frac{\pi}{2} \ln(e_1/e_2)}{1 + \left[\frac{\pi}{2} \ln(e_1/e_2)\right]^2} \quad (7.15.)$$

unde  $e_1, e_2$  sînt valorile instantanee a două maxime succesive.

- timp de prima și a doua stabilire  $ts_1, ts_2$  definiți ca intervale de timp de la aplicarea semnalului de intrare pînă la momentele în care semnalul de ieșire ajunge primă și a doua oară la valoarea staționară  $e_s$ .

- timp de încălzire final  $tif$ , egal cu intervalul de timp de la aplicarea semnalului de intrare pînă în momentul în care semnalul de ieșire intră în plaja de toleranță (2%) fără a o părăsi.

7.3.3.1. Determinarea mărimilor caracteristice pentru  $I_3 = i_3(t)$  (curentul de sarcină al generatorului principal)

- Valoarea staționară  
 $e_s = 592,8 \text{ A.}$
- suprareglarea  
 $\sigma = 47,6 \text{ A.}$
- coeficientul de amortizare  
 $\xi = 0,344$
- timpii de prima și a doua stabilire  
 $ts_1 = 65,61 \text{ ms}$   
 $ts_2 = 176,25 \text{ ms}$
- timp de încălzire final  
 $tif = 499 \text{ ms}$

7.3.3.2. Determinarea mărimilor caracteristice pentru  $I_4 = i_e(t)$  (curentul de excitație al motoarelor de tracțiune în regim de frînare electrodinamică).

- Valoarea staționară  
 $e_s = 454,7 \text{ A}$
- Suprareglarea  
 $\sigma = 28,6 \text{ A}$
- Coeficientul de amortizare  
 $\xi = 0,348$
- Timpii de prima și a doua stabilire  
 $ts_1 = 90 \text{ ms}$   
 $ts_2 = 195 \text{ ms}$
- Timp de încadrare finală  
 $t_{if} = 540 \text{ ms}$

7.3.3.3. Determinarea mărimilor caracteristice pentru  $I_5 = i_f(t)$  (curentul de frînare al motorului de tracțiune)

- Valoarea staționară  
 $e_s = 347,6 \text{ A}$
- Suprareglarea  
 $\sigma = 21,4 \text{ A}$
- Coeficientul de amortizare  
 $\xi = 0,359$
- Timpii de prima și a doua stabilire  
 $ts_1 = 90,18 \text{ ms}$   
 $ts_2 = 195 \text{ ms}$
- Timp de încadrare finală  
 $t_{if} = 516 \text{ ms}$

7.3.4. Determinarea soluțiilor analitice ale sistemului.

Folosind subprogramul,

"RASPUNSUL LIBER AL SISTEMELOR LINIARE"

al calculatorului numeric WANG 2200, s-au determinat valorile proprii  $\lambda_i$  ( $i=1+5$ ) ale matricei A și coeficienții matricei de tranziție  $\Phi(t)$ .

S-au obținut:

././.

**RASPUNSUL LIBER AL SISTEMELOR LINIARE**  
**MATRICEA SISTEMULUI**

594.638	142.765	-1.797	0.990	0.000
-###.###	-###.###	-90.500	50.030	0.000
-###.###	-###.###	-###.###	-###.###	0.000
0.000	0.000	34.285	-45.000	0.000
0.000	0.000	0.000	481.000	-###.###

**COEFICIENTII POLINOMULUI MINIMAL**

**C()** = 1

**C()** = 11592.032

**C()** = 11549711.91984

**C()** = 516171643.3793

**C()** = 12417833756.23

**C()** = 288959331748.2

**VALORILE PROPRII ALE MATRICEI =A=**

-35.51524004434 0

-5.082652527405 26.690842833

-5.082652527405 -26.690842833

-1050.000000655 0

-10496.35145425 0



ELEMENTELE MATRICEI DE TRANSITIE CALCULATE PRIN METODA INTEGRALII

COEF. MATR. AL TERM. EXP(-35.51524004434 \*T)

3. 6409496E-01-8. 9074590E-02 4. 1297809E-04-1. 1330903E-03 0. 0000000E+00  
-1. 1781290E+00 2. 8821480E-01-1. 3362541E-03 3. 6662810E-03 0. 0000000E+00  
-3. 4372900E+01 8. 4095000E+00-3. 8990449E-02 1. 0696100E-01 0. 0000000E+00  
-1. 2425043E+02 3. 0399883E+01-1. 4094459E-01 3. 8667963E-01 0. 0000000E+00  
-5. 8911146E+01 1. 4413566E+01-6. 6826385E-02 1. 8333727E-01 3. 8870096E-07

COEF. MATR. AL TERM. EXP(-5.082652527405 \*T)\*COS( 26.690842833 \*T)

3. 4581534E-01 5. 0725829E-02-2. 8894341E-04 6. 1232356E-04 0. 0000000E+00  
2. 0467552E+00 6. 7965641E-01-3. 6456163E-03 5. 6183523E-04 0. 0000000E+00  
3. 0444322E+02 5. 9597037E+01-3. 3058355E-01 4. 1848053E-01 0. 0000000E+00  
6. 1182871E+01-1. 5409243E+01 7. 3260983E-02 3. 0511191E-01 0. 0000000E+00  
2. 4625414E+01-8. 2589774E+00 3. 9979118E-02 1. 3940395E-01-1. 9346585E-07

COEF. MATR. AL TERM. EXP(-5.082652527405 \*T)\*SIN( 26.690842833 \*T)

-4. 9021424E-01-1. 9113308E-01 1. 0177672E-03 9. 4219410E-05 0. 0000000E+00  
4. 1071400E-01-1. 0753790E-01 5. 1269416E-04 2. 0812850E-03 0. 0000000E+00  
-3. 0114690E+02-1. 2795625E+02 6. 7899604E-01 1. 4294140E-01 0. 0000000E+00  
-2. 9957045E+02-9. 9600472E+01 5. 3421557E-01-8. 1243860E-02 0. 0000000E+00  
-1. 3852833E+02-4. 5637473E+01 2. 4489077E-01-4. 0959305E-02-1. 9808218E-07

COEF. MATR. AL TERM. EXP(-5.082652527405 \*T)\*COS(-26.690842833 \*T)

3. 4581534E-01 5. 0725829E-02-2. 8894341E-04 6. 1232356E-04 0. 0000000E+00  
2. 0467552E+00 6. 7965641E-01-3. 6456163E-03 5. 6183523E-04 0. 0000000E+00  
3. 0444322E+02 5. 9597037E+01-3. 3058355E-01 4. 1848053E-01 0. 0000000E+00  
6. 1182871E+01-1. 5409243E+01 7. 3260983E-02 3. 0511191E-01 0. 0000000E+00  
2. 4625414E+01-8. 2589774E+00 3. 9979118E-02 1. 3940395E-01-1. 9346585E-07

COEF. MATR. AL TERM. EXP(-5.082652527405 \*T)\*SIN(-26.690842833 \*T)

4. 9021424E-01 1. 9113308E-01-1. 0177672E-03-9. 4219410E-05 0. 0000000E+00  
-4. 1071400E-01 1. 0753790E-01-5. 1269416E-04-2. 0812850E-03 0. 0000000E+00  
3. 0114690E+02 1. 2795625E+02-6. 7899604E-01-1. 4294140E-01 0. 0000000E+00  
2. 9957045E+02 9. 9600472E+01-5. 3421557E-01 8. 1243860E-02 0. 0000000E+00  
1. 3852833E+02 4. 5637473E+01-2. 4489077E-01 4. 0959305E-02-1. 9808218E-07

COEF. MATR. AL TERM. EXP(-1050.0000000655 \*T)

7. 0000000E-10 1. 0000000E-11-1. 1710000E-13-1. 0000000E-13 0. 0000000E+00  
5. 0000000E-09 0. 0000000E+00-3. 7100000E-12 4. 0000000E-12 0. 0000000E+00

0. 0000000E-06 3. 0000000E-07 0. 0000000E-08 1. 0000000E-09 0. 0000000E+00

-1. 5000000E-08-3. 1000000E-09 2. 0120000E-11 5. 2300000E-10 0. 00000  
00E+00

9. 7562840E+00 2. 1257034E+00-1. 3415845E-02-4. 6198750E-01 9. 99999  
99E-01

COEF. MATR. AL TERM. EXP(-10496.35145425 \*T)

-5. 5725627E-02-1. 2377075E-02 1. 6490873E-04-9. 1556772E-05 0. 00000  
00E+00

-2. 9153834E+00-6. 4752828E-01 8. 6274881E-03-4. 7899522E-03 0. 00000  
00E+00

-5. 7151375E+02-1. 2760376E+02 1. 7001573E+00-9. 4392162E-01 0. 00000  
00E+00

1. 8846946E+00 4. 1860466E-01-5. 5773730E-03 3. 0965386E-03 0. 00000  
00E+00

-9. 5967012E-02-2. 1314985E-02 2. 8399498E-04-1. 5767305E-04-6. 67489  
80E-14

DETERM. DE ORD. 2 : 133368458522. 2

DETERM. DE ORD. 3 : 6. 71757170E+19

DETERM. DE ORD. 4 : 3. 89114900E+29

DETERM. DE ORD. 5 1. 12438381E+41

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= -35,51 \\ \lambda_2 &= -5,08 \\ \lambda_3 &= -5,08 \\ \lambda_4 &= -1050 \\ \lambda_5 &= -10496,35\end{aligned}$$

Valorile  $\lambda_1, \dots, \lambda_5$  fiind toate negative, confirmă stabilitatea sistemului studiat.

Elementele matricii de tranziție au fost calculate și cuprinse în răspunsul dat de calculator. Cu ajutorul acestora s-a determinat matricea de tranziție  $\Phi(t)$ :

$$\Phi(t) = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} \end{bmatrix} \quad (7.16.)$$

unde:

$$a_{11} = 0,36 \cdot e^{-35,5 t} + 2 \cdot 0,34 \cdot e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t + 7 \cdot 10^{-10} \cdot e^{-1050 t} - 5,57 \cdot 10^{-2} \cdot e^{-10496,35 t}$$

$$a_{21} = -1,18 \cdot e^{-35,5 t} + 2 \cdot 2,04 \cdot e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t + 5 \cdot 10^{-9} \cdot e^{-1050 t} - 2,91 \cdot e^{-10496,35 t}$$

$$a_{31} = -34,4 \cdot e^{-35,5 t} + 2 \cdot 304,4 \cdot e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t + 2 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-1050 t} - 574 \cdot e^{-10496,35 t}$$

$$a_{41} = -124,2 \cdot e^{-35,5 t} + 2 \cdot 61,2 \cdot e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t - 1,5 \cdot 10^{-8} \cdot e^{-1050 t} + 1,88 \cdot e^{-10496,35 t}$$

$$a_{51} = -58,9 \cdot e^{-35,5 t} + 2 \cdot 24,6 \cdot e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t + 9,75 \cdot e^{-1050 t} - 9,59 \cdot 10^{-2} \cdot e^{-10496,35 t}$$

$$a_{12} = -8,9 \cdot 10^{-2} \cdot e^{-35,5 t} + 2 \cdot 5,07 \cdot 10^{-2} \cdot e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t + 10^{-11} \cdot e^{-1050 t} - 1,23 \cdot 10^{-2} \cdot e^{-10496,35 t}$$

...//.

$$a_{22} = 0,28.e^{-35,5 t} + 2.0,68.e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t - 0,64.e^{-10496,35 t}$$

$$a_{32} = 8,41.e^{-35,5 t} + 2.59,6.e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t + 3.10^{-7}.e^{-1050 t} - 127,6.e^{-10496,35 t}$$

$$a_{42} = 30,4.e^{-35,5 t} - 2.15,4.e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t - 3,1.10^{-9}.e^{-1050 t} + 0,42.e^{-10496,35 t}$$

$$a_{52} = 14,4.e^{-35,5 t} - 2.3,26.e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t + 2,12.e^{-1050 t} - 2,13.10^{-2}.e^{-10496,35 t}$$

$$a_{13} = 4,13.10^{-4}.e^{-35,5 t} - 2.2,89.10^{-4}.e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t - 1,17.10^{-13}.e^{-1050 t} + 1,65.10^{-4}.e^{-10496 t}$$

$$a_{23} = -1,33.10^{-3}.e^{-35,5 t} - 2.3,64.10^{-3}.e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t - 3,71.10^{-12}.e^{-1050 t} + 8,62.10^{-3}.e^{-10496,35 t}$$

$$a_{33} = -3,9.10^{-2}.e^{-35,5 t} - 2.0,33.e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t - 2,33.10^{-9}.e^{-1050 t} + 1,7.e^{-10496,35 t}$$

$$a_{43} = -0,14.e^{-35,5 t} + 2.7,32.10^{-2}.e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t + 2,01.10^{-11}.e^{-1050 t} - 5,57.10^{-3}.e^{-10496,35 t}$$

$$a_{53} = -6,68.10^{-2}.e^{-35,5 t} + 2.3,99.10^{-2}.e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t - 1,34.10^{-2}.e^{-1050 t} + 2,84.10^{-4}.e^{-10496,35 t}$$

$$a_{14} = -1,13.10^{-3}.e^{-35,5 t} + 2.6,12.10^{-4}.e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t - 10^{-13}.e^{-1050 t} - 9,15.10^{-5}.e^{-10496,35 t}$$

$$a_{24} = 3,66.10^{-3}.e^{-35,5 t} + 2.5,61.10^{-4}.e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t + 4.10^{-12}.e^{-1050 t} - 4,79.10^{-3}.e^{-10496,35 t}$$

././.

$$a_{34} = 0,1 \cdot e^{-35,5 t} + 2 \cdot 0,42 \cdot e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t + 10^{-9} \cdot e^{-1050 t} - 0,94 \cdot e^{-10496,35 t}$$

$$a_{44} = 0,39 \cdot e^{-35,5 t} + 2 \cdot 0,3 \cdot e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t + 5,23 \cdot 10^{-10} \cdot e^{-1050 t} + 3,09 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-10496,35 t}$$

$$a_{54} = 0,18 \cdot e^{-35,5 t} + 2 \cdot 0,14 \cdot e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t - 0,46 \cdot e^{-1050 t} - 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot e^{-10496,35 t}$$

$$a_{15} = 0$$

$$a_{25} = 0$$

$$a_{35} = 0$$

$$a_{45} = 0$$

$$a_{55} = 3,88 \cdot 10^{-7} \cdot e^{-35,5 t} - 2 \cdot 1,93 \cdot 10^{-7} \cdot e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t + e^{-1050 t} - 6,67 \cdot 10^{-14} \cdot e^{-10496,35 t}$$

Folosind relatia (7.13) se obtin expresiile analitice ale lui  $x_3(t)$ ,  $x_4(t)$ ,  $x_5(t)$  respectiv  $i_3(t)$ ,  $i_e(t)$  si  $i_f(t)$ :

$$\begin{aligned} i_3(t) = & 39,27 \cdot e^{-35,5 t} + 346,10 \cdot e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t + \\ & + 0,10 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-1050 t} + 234,37 \cdot e^{-10496,35 t} + \\ & + 42,86(1 - e^{-35,5 t}) - 0,4 \cdot 10^{-6}(1 - e^{-1050 t}) + \\ & + 232,43(1 - e^{-10496,35 t}) + 321,45 \left[ 1 - e^{-5,08 t} (\cos 26,69 t - \right. \\ & \left. - 5,25 \cdot \sin 26,69 t) \right] \end{aligned} \quad (7.17)$$

$$\begin{aligned} i_e(t) = & 151,75 \cdot e^{-35,5 t} + 187,67 \cdot e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t - \\ & + 0,17 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-1050 t} - 0,84 \cdot e^{-10496,35 t} + 25,56(1 - e^{-35,5 t}) - \\ & - 0,3 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-1050 t} - 186,42 (1 - e^{-10496,35 t}) + 238,47 \left[ 1 - \right. \\ & \left. - e^{-5,08 t} (\cos 26,69 t - 5,25 \cdot \sin 26,69 t) \right] \end{aligned} \quad (7.18)$$

$$\begin{aligned} i_f(t) = & 70,16 \cdot e^{-35,5 t} + 85,05 \cdot e^{-5,08 t} \cdot \cos 26,69 t + \\ & + 113,16 \cdot e^{-1050 t} - 3,93 \cdot 10^{-2} \cdot e^{-10496,35 t} + \\ & + 32,14(1 - e^{-35,5 t}) + 122,45 (1 - e^{-1050 t}) + \\ & + 4,72 \cdot 10^{-2}(1 - e^{-10496,35 t}) + 201,42 (1 - e^{-5,08 t}) \\ & (\cos 26,69 t - 5,25 \cdot \sin 26,69 t) \end{aligned} \quad (7.19)$$

#### 7.4. Compararea rezultatelor obținute teoretic cu cele experimentale.

Pentru compararea rezultatelor obținute prin studiul teoretic al regimului tranzitoriu, cu cele obținute prin oscilografieri ale regimului de frânare electrodinamică pe LDE 286 în timpul probelor de parcurs, se vor avea în vedere soluțiile grafice din fig.7.7, ecuațiile (7.17); (7.18) și (7.19) - pentru  $t = \infty$  - și oscilogramele,

- curentul motorului de tracțiune în regim de tracțiune - fig.7.8,

- curentul de frânare pentru treapta VII-a de frânare și viteza de 40 km/h - proces tranzitoriu și regim stabilizat - fig.7.9,

- curentul de excitație separată a generatorului principal ( $I_{JK}$ ) și curentul de excitație al motoarelor de tracțiune, pentru programul secvențial de modificare - fig.7.10,

- curentul de frânare la conectarea frânei electrice, obținut prin comanda curentului de excitație separată a generatorului principal ( $I_{JK}$ ) cu ajutorul unui regulator electronic (executat de ICPE-București, pentru o temă de cercetare privind înlocuirea servoregulatorului de câmp al locomotivei și experimentat pe LDE 286) - fig.7.11 și fig.7.12.

Se precizează că deși comparația se face numai cu rezultate teoretice ale calculului pentru o singură treaptă de frânare (VII), concluziile pot fi extinse pentru toate treptele. Precizarea este valabilă deoarece întreg domeniul de variație a curentului de excitație al motoarelor de tracțiune a fost verificat experimental.

Comparația se prezintă în tabela 11.

Tabela 11

Mărimea	R e z u l t a t		Concluzia
	Teoretic	Experimental	
o.	1.	2.	3.
Saltul de curent de excitație $i_e$ tr.VI - tr.VII.	Curba $I_e(t)$ fig.7.7. $I_e = 454,7 - 354 =$ $= 100 \text{ A.}$	Oscilograma(7.8) $I_I = 165 \text{ A}$ $I_{II} = 200 \text{ A}$ $I_{III} = 165 \text{ A}$ I,II,III =trepte slăbire cîmp	Saltul de curent în înfășurarea de excitație este mai mic în regim de frînare decît în regim de tracțiune. Concluzia este valabilă pentru toate treptele.
Curenții mașinilor electrice	Curbele (7.7) $I_3 = 592,8 \text{ A.}$ $I_e = 454,7 \text{ A}$ $I_{fVII} = 347,6 \text{ A}$ la 40 km/h Ecuațiile (7.17)+ (7.19)pt.t = $I_3 = 596,74 \text{ A.}$ $I_e = 450,45 \text{ A.}$ $I_{fVII} = 356,05 \text{ A.}$ la 40 km/h.	Oscilograma(7.10) $I_e = 438 \text{ A.}$  Oscilograma(7.9) $I_e = 420 \text{ A.}$ $I_{fVII} = 345 \text{ A.}$ la 40 km/h.	Rezultatele sînt foarte apropiate. Diferențele provin din temperatura reală a mașinilor electrice în timpul probelor și temperatura pentru rezistențele de calcul.
Timpii de stabilizare	Curbele (7.7) curent $i_e: 0,54 \text{ s.}$ curent $i_f: 0,516 \text{ s.}$	Oscilograma(7.9) curent $i_e: 0,575 \text{ s}$ curent $i_f: 0,55 \text{ s}$  Oscilograma(7.10) curent $i_e: 0,57 \text{ s}$	Se poate considera identitate.

Oscilogramele (7.11) și (7.12) se pot compara între ele în ceea ce privește calitatea răspunsului în curent de frînare. Se observă că practic nu există diferențe între cele două metode de modificare a curentului de excitație al motoarelor de tracțiune, fapt care vine în sprijinul metodei studiate în lucrare.

\*

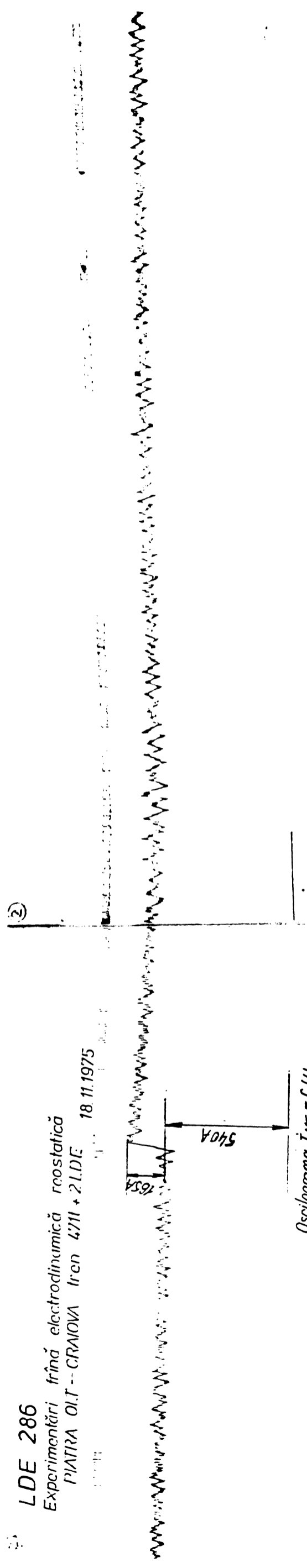
\*

\*

LDE 286

Experimentări frână electrodinamică roostatică  
PIATRA OLT -- CRAIOVA Iren 4711 + 2LDE

18.11.1975



Oscilograma  $I_{mr} = f(t)$   
la conectarea treptei  
de șuntare III



# REGIM DE TRACTIUNE

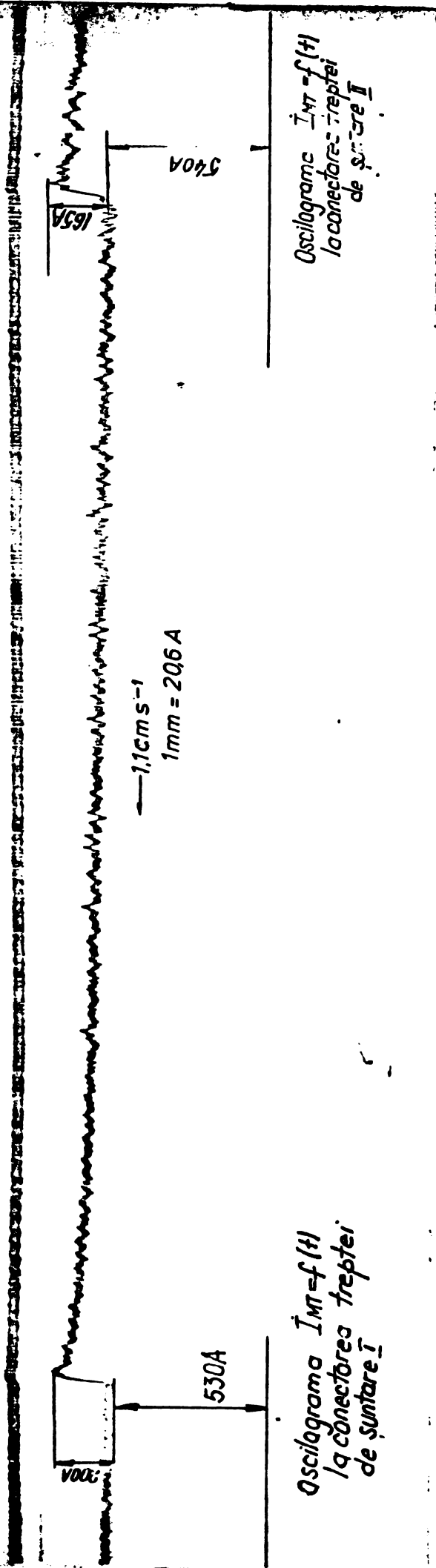


Fig. 7.6

INSTITUTUL DE RECHERȘI  
TIMȘOARA  
BIBLIOTECA CENTRALĂ

LE 285

Electronica și electrodinamică teoretică  
Căminul de studii BALTIC Nr. 1007/079, 655 t

24.10.1973

5  
22 A

Regim staționar de mentinere la  $v = 100 \text{ km/h}$  la VII,  $I_{ex} = 420 \text{ A}$ ,  $I_f = 345 \text{ A}$

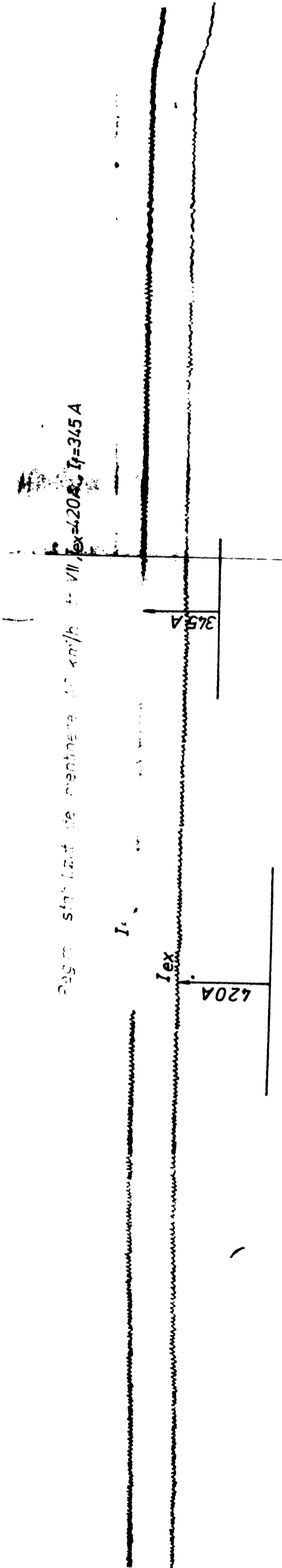


Fig.7.9

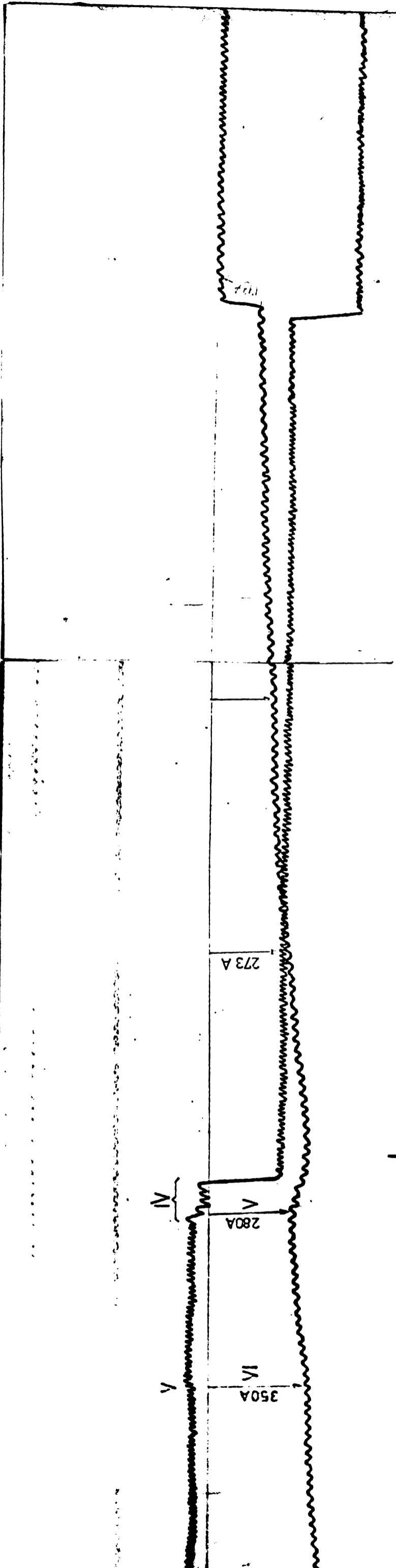
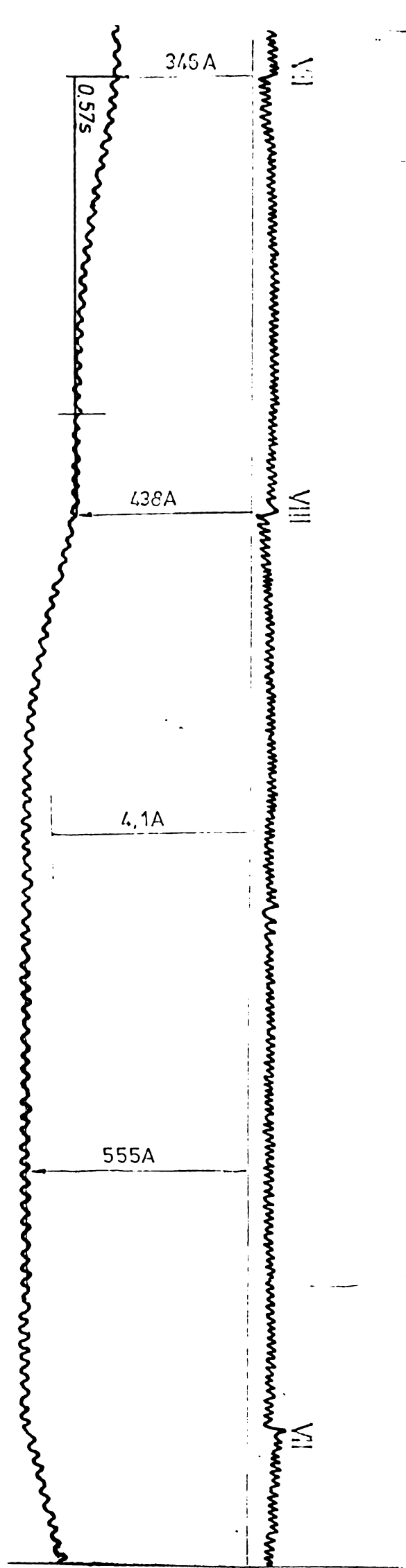
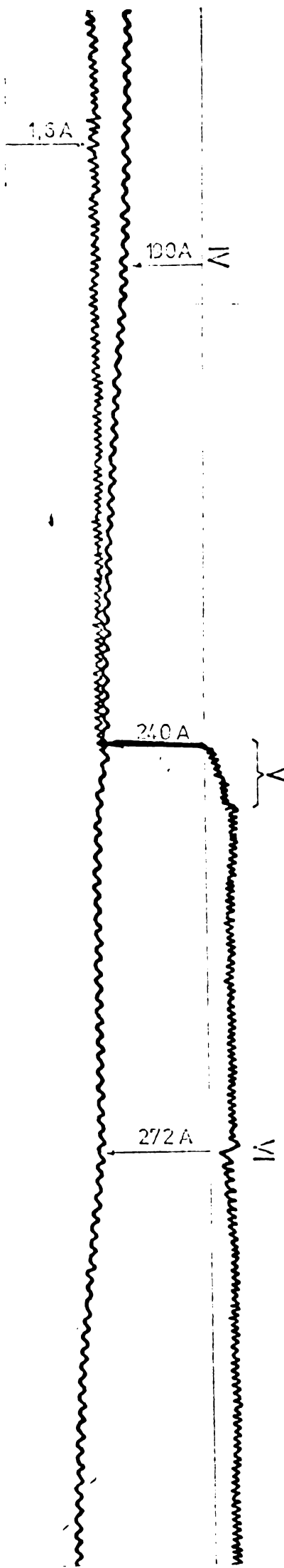


Fig. 7.10

52



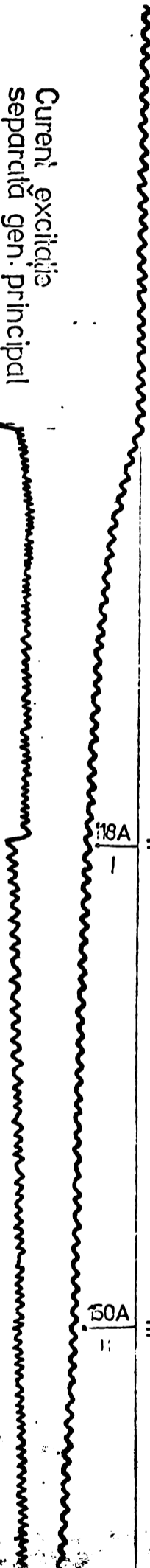
LDE 286 Depou Craiova 9.oct.1974

10 cm/s

Oscilograma curenților de excitație

Curent excitație  
motoare de tracțiune

$I_{ex} = 0$  ; 1mm = 15,1A



Curenti excitație  
separata gen. principal

$I_{jk} = 0$  ; 1mm = 0,111A

Fig. 7.10

③

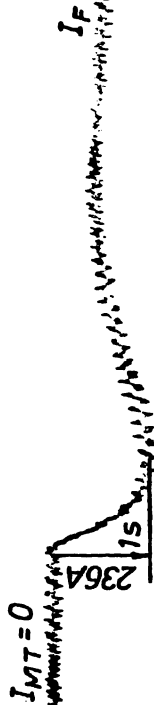
### FRÎNARE STAȚIA PLAIUL FOII

Modificarea torței de frînare  
prin generator electronic ICP (modificare excitație separată generator principal )

$I_{ex}=0$

Conectare frînare electrică  
la viteză inițială de 68 km/h

— 1,1 cm s<sup>-1</sup>  
1mm = 20,6A



LDE 286  
Experimentări frână electrodinamică reostatică  
PIATRA OLT - CRAIOVA tren 471t + 2 LDE  
18. 11. 1975

310A



Fig. 7.11

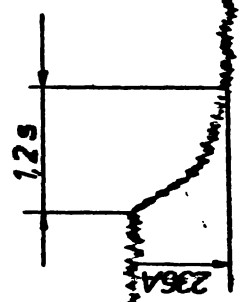
**FRÎNARE STAȚIE CÎRC**

Modificarea forței de frinare prin metoda slăbirii de cîmp

Viteza inițială = 78 km/h

$I_{ex} = 0$

1,1 cm s<sup>-1</sup>  
1 mm = 20,6 A



$I_{MT} = 0$   
Oscilogramele  $I_{MT} = f(t)$   
 $I_f = f(t)$   
 $I_{ex} = f(t)$

la comutarea din regim de tracțiune în regim de frinare

Conectare prima la viteză

**TRACȚIUNE**



LDE 286

Experimentări în câmp electrodinamic reostatic

PIATRA OLT - CRAIOVA

tren 4711 + 2 LDE

18.11.1975

apă de excitație  
76 km/h

Fig. 7.12

## 8. CONCLUZII FINALE

Ampla dezvoltare a construcției de locomotive diesel electrice din țara noastră a condus la specializarea întreprinderilor de profil atât din punct de vedere al fabricației cât și al organizării tehnice.

Activitatea de asigurare a bazei tehnico-materiale pentru fabricarea locomotivelor la întreprinderea "Electroputere" Craiova, este însoțită din ce în ce mai mult de o intensă muncă de cercetare științifică, orientată atât către aspectele teoretice cât și către cercetările experimentale.

Autorul acestei lucrări, inginer proiectant principal la Atelierul de Cercetare Proiectare Locomotive al I.C.P. "Electroputere" Craiova, cunoscând condițiile ce se impun locomotivelor pentru a face față cerințelor de exploatare, și-a propus să creeze la întreprinderea Electroputere Craiova bazele dotării locomotivelor diesel electrice de construcție nouă cu frână electrodinamică, concomitent cu modernizarea unei mari serii de locomotive diesel electrice aflate în dotarea CFR. Cercetările întreprinse începând cu anul 1969, pentru găsirea celei mai simple soluții de montare a unei frâne electrice pe construcția actuală a LDE 1540 kW. (2100 CP) au avut ca rezultat principal fundamentarea unei metode originale de modificare a forței de frînare.

În acest fel lucrarea se încadrează pe linia indicațiilor de partid și de stat privind orientarea potențialului științific și tehnic, pentru rezolvarea problemelor legate nemijlocit de necesitățile producției.

În forma în care este realizată, lucrarea conține o serie de rezultate proprii. Din analiza sa pot fi evidențiate următoarele contribuții personale și aspecte pozitive.

a. Stabilește cu posibilități teoretice o nouă metodă de modificare a fluxului de excitație a motoarelor de tracțiune în regim de frînare, prin folosirea sistemului existent de alăbire a cîmpului în regimul de tracțiune (pct.6.1)

b. Rezolvă complet cu mijloace ingineresti și metode teoretice moderne o aplicație tehnică complexă a masinilor și acționărilor electrice.

Stabilește astfel în context:

- metodă grafică de determinare a curenților de excitație (pct.6.1.3)

- metodă experimentală de determinare a parametrilor de proiectare (pct.6.2)

c. Prezintă realizarea pentru prima dată în țară a unei frâne electrice pe locomotive diesel (pct.6.3)

d. Stabilește ecuațiile regimului de frinare electrică a motorului serie de curent continuu a cărui excitație este alimentată de un generator de curent continuu cu trei înfășurări (cu reacție pozitivă de tensiune și reacție negativă de curent) (pct.7.1) răspunzând în acest fel cerințelor de material bibliografic pentru acționări electrice în general și pentru regimurile de funcționare ale locomotivelor diesel electrice în particular.

e. Studiază și rezolvă complet regimul tranzitoriu al frînării electrodinamice pentru metoda folosită de modificare a forței de frinare (pct.7.2. și pct.7.3)

Studiul se face prin metode moderne ale tehnicii de calcul a sistemelor automate (metoda Runge Kutta pentru rezolvare pe calculator numeric și determinarea analitică a soluțiilor unui sistem sub formă matriceal-vectorială prin calculul matricei de tranziție).

f. Atestă experimental, pe prototip industrial, valabilitatea ipotezelor teoretice care au condus la elaborarea metodei de modificare a forței de frinare precum și pe cea a metodelor folosite pentru studiul teoretic (pct.7.4)

g. Prezintă unitar problema dotării locomotivelor diesel electrice cu frână electrodinamică (Cap.4). Materialul sintetizat poate folosi specialiștilor care doresc să rezolve aspecte ale acestui domeniu.

h. În conformitate cu montajul frânei electrodinamice de pe LDE 286, la Atelierul de Proiectare Locomotive s-a realizat sub conducerea autorului acestei lucrări - proiectul de execuție pentru integrarea unei frâne electrodinamice de 1000 kW. + 1500 kW. în construcția actuală a LDE 1540 kW. (2100 CP) (borderoul L1-160/R<sub>5</sub> - anexat). Acest proiect a fost predat în 1975

././.

**Intreprinderii Mecanice de Material Rulant Craiova pentru in-**  
**zestrarea locomotivelor diesel electrice cu frână electrodina-**  
**mică, cu ocazia lucrărilor de reparații a acestora.**

**i. In cadrul teoretic și practic al tracțiunii diesel, se**  
**rezolvă câteva probleme, lucrarea lăsând să se întrevadă și alte-**  
**le care își vor găsi o rezolvare ulterioară.**

ing. Irina Burdubuş



Craiova

10 august 1977

-

9. A N E X E

ANEXA I.

GENERATOR TIP 1100/10  
Caracteristici principale

Putere: 1350 kW.

Tensiune: 890 + 550 V.

Curent: 1520 + 2460 A.

Curent maxim: 3700 A.

Turație 1080 rot/min.

Excitație separată: 170 V, curent reglat automat, max.21 A. la 110°C 2p = 10.

Intrefier  $\delta_{pp} = 5$  mm.;  $\delta_{pa} = 9$  mm.;  $\delta_{spa} = 9$  mm.

Diametrul exterior : 110 mm.

Diametrul interior : 810 mm.

Lungime fier : 340 mm.

Număr de creștături : 190

Număr lamele : 380

Tip bobinaj : broască, în patru straturi, 8 conductori/creștătură

Nr.bobine/Nr.spire pe bobină

- separată (JK) : 10/180
- derivație (CD) : 10/800
- serie (EF): 10/2 (două grupe în paralel)
- poliauxiliari : 10/2 (două grupe în paralel)
- compensație : 80 bare/8 bare (două grupe în paralel)

Rezistență bobinaj (probe de tip buletin 4567) la 55°C.

- rotor (AB) : 0,00274 Ohm
- separată (JK) : 5,9 Ohm
- derivație (CD): 144 Ohm
- serie (EF) : 0,00066 Ohm
- poli aux și compensație (GH) : 0,00278 Ohm

Generatorul pe LDE 286 : Nr.11963.

ANEXA II.

MOTOR DE TRACȚIUNE TIP GDTM 533

Caracteristici principale

Putere: 200 kW - regim continuu - la 495 rot/min.

194 kW - regim uniorar - la 425 rot/min.

Tensiune: 275 V, 250 V.

Curent: 820 A, 900 A.

Turație maximă: 2300 rot/min.

Excitație serie:  $2p = 6$

Nr.de bobine/Nr.spire pe bobină :

- serie : 6/13

- poli aux. 6/11

Intrefier :  $\delta_{pp} = 7 \text{ mm}$ ;  $\delta_{pa} = 12 \text{ mm}$ .

Diametrul exterior: 542 mm.

Diametrul interior: 296 mm.

Lungime fier: 253 mm.

Nr.crestături: 75

Nr.lamele: 300

Tip bobinaj: buclat cu legături echipotenționale, în patru straturi, 8 conductori/crestătură,  $N=75 \times 8$ ,  $2a=6$

Rezistență bobinaj: (media la  $55^\circ$  pe cele 6 motoare de tracțiune ale LDE 286)

- rotor : 0,0108 Ohm

- poli princ.: 0,0075 Ohm

- poli aux. : 0,00515 Ohm

Caracteristica de magnetizare: calculată din curbele etalon  $n(I)$  pentru  $U = 275 \text{ V}$ .

I [A]	150	200	300	400	500	600	700
$\Phi$ [Wb]	0,0150	0,0200	0,0285	0,0355	0,0410	0,0440	0,0470

Coeficientul de proporționalitate între flux și curent pe porțiunea liniară a caracteristicii de magnetizare:  $\frac{0,0200}{200} =$

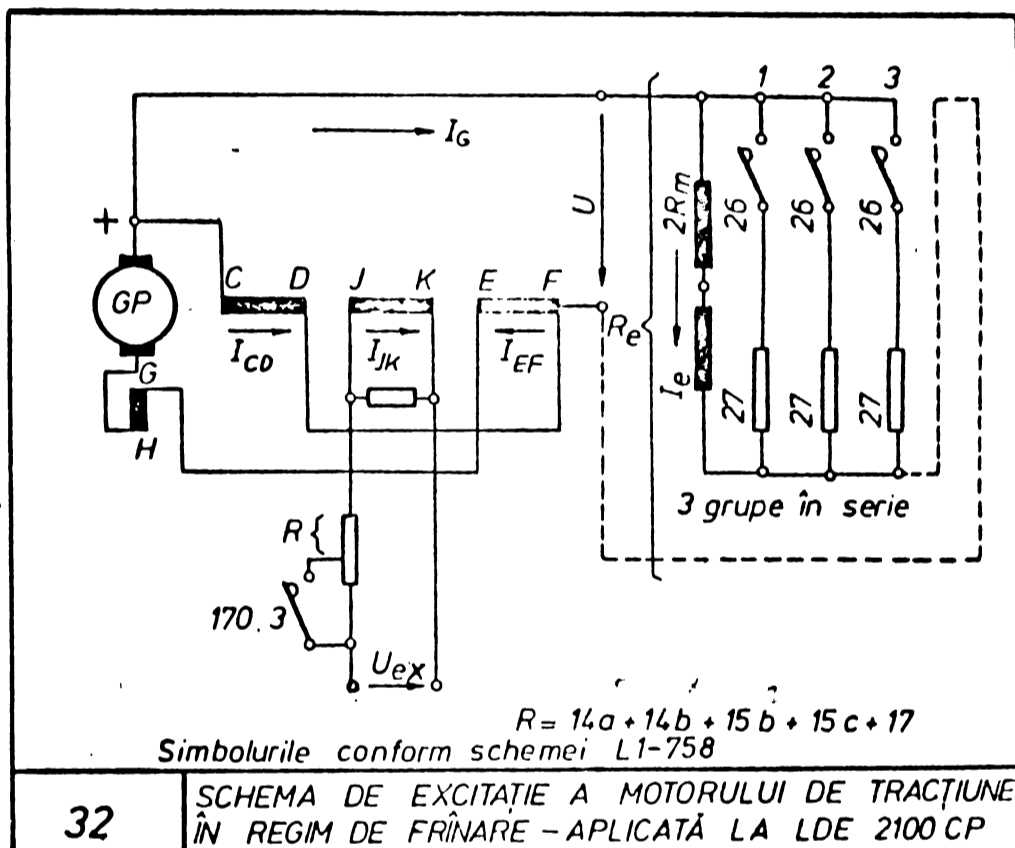
$$= 1,0 \cdot 10^{-4} \left[ \frac{\text{Wb}}{\text{A}} \right]$$

Motoare de tracțiune pe LDE 286 :

Nr.582487, 11973, 13706, 17264, 12118, 16435

CALCULUL CURENȚILOR DE EXCITAȚIE AI  
MOTOARELOR DE TRACȚIUNE ÎN REGIM DE  
FRINARE LA LDE 236

1. Schema de excitație:



32

SCHEMA DE EXCITAȚIE A MOTORULUI DE TRACȚIUNE  
 ÎN REGIM DE FRÎNARE - APLICATĂ LA LDE 2100 CP

2. Rezistențele echivalente ale circuitului de excitație  
 Intrucît frîna electrodinamică este prevăzută a se utiliza  
 la trenuri de călători, iar pentru aceste trenuri curentul de re-  
 gim este sub valoarea curentului de durată, pe baza experienței  
 practice de încălzire a mașinilor electrice în exploatare se apre-  
 ciază pentru calcule, încălzirea la 55°C.

././.



III/2

- Rezistența polilor principali înseriați  
a două motoare de tracțiune, la tempe-  
ratura de 55°C

$$2R_m = 0,015 \text{ ohm}$$

- Rezistența treptelor de slăbire cîmp  
(măsurată) :

$$R_{27.1} = 0,048 \text{ ohm}$$

$$R_{27.2} = 0,030 \text{ ohm}$$

$$R_{27.3} = 0,024 \text{ ohm}$$

2.1. Treptele I,V:contactoarele 26.1,26.2,26.3 închise,  
 $R_{e1} = 3.6,1 = 18,3 \text{ mohm}$

2.2. Treptele II,VI: deconectează contactorul 26.3,  
 $R_{e2} = 3.8,25 = 24,6 \text{ m ohm}$

2.3. Treptele III,VII: deconectează contactorul 26.2,  
 $R_{e3} = 3.11,4 = 34,2 \text{ m ohm}$

2.4. Treptele IV,VIII: deconectează contactorul 26.1,  
 $R_{e4} = 3.15 = 45 \text{ m ohm}$

3. Curenții de excitație pe treptă

3.1. Nivelele de excitație ale generatorului principal.

La LDE 286 înfășurarea de excitație separată, JK, a gene-  
ratorului principal este permanent șuntată de o rezistență de  
descărcare de 52 ohm.

Rezistențele înseriate în circuitul de excitație separată,  
JK, a generatorului principal(vezi fig.7.1 și schema L1-758)sînt:

- Nivelul 1 de excitație:

$$R_{21}^0 = R_{JK} + R_{14.1} + R_{14.2} + R_{14.3} + R_{17} + R_{15b} \quad (R_{2a} = R_{14.3})$$

- Nivelul 2 de excitație(conectează contactorul 17o.3)

$$R_{22}^0 = R_{JK} + R_{14.1} + R_{14.2} + R_{17} + R_{15b}$$

Valorile rezistențelor:

$$R_{JK} = 5,9 \text{ ohm (la temperatura de } 55^\circ\text{C)}$$

$$R_{14.1} = 19,0 \text{ ohm}$$

$$R_{14.2} = 7,0 \text{ ohm}$$

$$R_{14.3} = 67,5 \text{ ohm}$$

$$R_{17} = 8,5 \text{ ohm}$$

$$R_{15b} = 0,85 + 0,15 = 1,0 \text{ ohm}$$

././.

III/3

Pentru tensiunea de alimentare de 170 V. a înfășurării JK, curenții prin această înfășurare sînt:

$$I_{JK1} = 1,42 \text{ A}; I_{JK2} = 3,7 \text{ A}.$$

3.2. Curenții de excitație ai motoarelor de tracțiune

Se determină calculînd curenul de sarcină al generatorului principal pentru cele două nivele de excitație separată și patru grade de slăbire a cîmpului motoarelor de tracțiune.

Datele de calcul pentru generatorul principal:

- Rezistențele din circuitul rotorului:  $R_G = 0,0062 \text{ ohm}$  la  $55^\circ\text{C}$
- Rezistența înfășurării derivației avînd inclusă și rezistența de reglaj:  $R_{CD} = 325 \text{ ohm}$  la  $55^\circ\text{C}$
- Număr de spire înfășurarea JK: 360 sp/p
- Număr de spire înfășurarea CD: 1600 sp/p
- Număr de spire înfășurarea EF: 2 sp/p
- Coeficientul de proportionalitate pentru porțiunea lineară a caracteristicii de magnetizare (generator LDE 286, Nr.11963)  $m = 0,055 \left[ \frac{\text{V}}{\text{A}} \right]$
- T.e.m. remanentă la 485 V. (gen. nr.11963) :  $E_r = 10,2 \text{ V}.$
- Rezistențele de sarcină conf.pct.2

Curentul generatorului principal se calculează cu formula:

$$I_G = \frac{N_{JK} I_{JK} + \frac{E_r}{m}}{N_{EF} + \frac{i}{m} - \frac{N_{CD}}{R_{CD}} R_{ei}}$$

unde :  $R_i = R_{ei} + R_G$  (  $i = 1,2,3,4$  )

Inlocuind valorile lui  $R_{ei}$  pentru cele patru grade de slăbire cîmp rezultă:

$$\begin{aligned} R_1 &= 24,1 \text{ m ohm} \\ R_2 &= 30,4 \text{ m ohm} \\ R_3 &= 40 \text{ m ohm} \\ R_4 &= 51 \text{ m ohm} \end{aligned}$$

././.

III/4

In tabela de mai jos se redă calculul pentru curenții de excitație:

Treapta	$I_{JK}$ [A]	$R_e$ mohm	$I_G$ [A]	$\Delta U = I_G R_e$ [V]	$I_e = \frac{\Delta U}{6R_m}$ [A]	Obs.
I	1,42	18,3	296	5,41	120	$6R_m = 45$ mohm
II	1,42	24,6	285	7,01	156	
III	1,42	34,2	270	9,23	205	
IV	1,42	45	256	11,5	256	
V	3,7	18,3	647	11,84	263	
VI	3,7	24,6	619	15,23	338	
VII	3,7	34,2	590	20,2	449	
VIII	3,7	45	560	25,2	560	

CALCULUL CARACTERISTICII DE FRINARE

$F_f = f(v)$  la LDE 286

1. Caracteristica de frinare pentru un motor de tracțiune  
Forța de frinare se obține din:

$$F_f = \frac{M_f}{\frac{D}{2} \eta_t} = \frac{M \cdot i}{\frac{D}{2} \eta_t} \quad (1)$$

unde:

- M - cuplul electromagnetic
- i - raportul de transmisie al angrenajului
- $\eta_t$  - randamentul motorului de tracțiune cu generator cu excitație separată, înmulțit cu randamentul angrenajului ( $\eta_a = 0,975$ ).

Expresia cuplului electromagnetic este:

$$M = \frac{k_m}{k_e} (R_f + \Sigma R) \frac{I_f^2}{n} \text{ pentru curent de frinare constant} \quad (2)$$

$$M = \frac{k_e k_m}{R_f + \Sigma R} \phi^2 n \text{ pentru flux constant} \quad (3)$$

- unde:
- n - turația motorului de tracțiune rot/min.
  - $R_f$  - rezistența de frinare pe motor
  - $\Sigma R = R_{Am}$  - rezistența rotorului și a polilor auxiliari
  - $k_e, k_m$  - constantele motorului:  $k_e = \frac{p}{a} \frac{N}{60}$ ;  $k_m = \frac{p}{a} \frac{N}{2}$

Date numerice:

- $R_f = 1,14$  ohm
- $R = 0,016$  ohm la temperatura de  $55^\circ C$
- $i = 4,6$
- $D = 1,06$  m (bandaje semiuzate)
- $\eta_t = 0,91$
- $k_e = 10$
- $k_m = 95,54$

Făcînd înlocuirile respective în (2), (3) și (1), rezultă:

$$F_f = 0,468 \frac{I_f^2}{v} \text{ [daN] pentru curent constant} \quad (4)$$

$$F_f = 3,4 \phi^2 v \cdot 10^4 \text{ [daN] pentru flux constant} \quad (5)$$

IV/2

Pentru cele șase motoare de tracțiune, caracteristica de frinare se calculează cu:

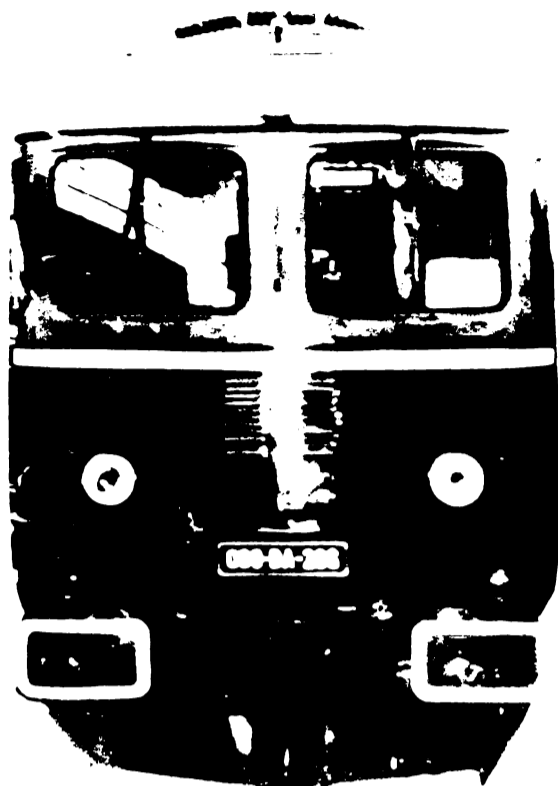
$$F_f = 2,81 \frac{I_f^2}{v} \text{ [daN]} - \text{pentru curent de frinare constant}$$

V(km/h) I <sub>f</sub> (A)	Forța de frinare (daN)						
	10	20	30	40	50	70	100
I <sub>f</sub> = 100 A	2810	1410	977	705	565	405	281
I <sub>f</sub> = 150 A	6380	3180	2125	1590	1370	910	638
I <sub>f</sub> = 200 A	11600	5800	3900	2910	2300	1282	1160
I <sub>f</sub> = 250 A	-	8780	5850	4400	3500	2500	1760
I <sub>f</sub> = 300 A	-	12600	8400	6150	5000	3580	2260
I <sub>f</sub> = 350 A	-	-	11450	8600	6850	4900	3420
I <sub>f</sub> = 400 A	-	-	-	11200	8950	6320	4500

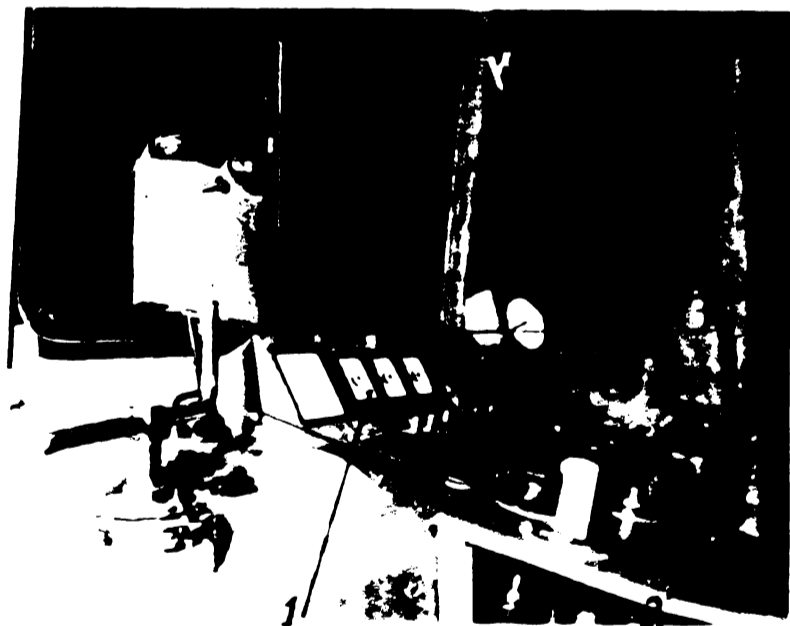
$$F_f = 20,4 \varnothing^2 v \cdot 10^4 \text{ [daN]} - \text{pentru flux constant.}$$

Obs. Se calculează cu valorile măsurate ale curenților de excitație.

V (km/h)	Forța de frinare (daN)		
	10	30	100
I <sub>ex</sub> = 118 A; Ø = 0,0115 Wb	258	775	2580
I <sub>ex</sub> = 150 A; Ø = 0,015 Wb	458	1380	4580
I <sub>ex</sub> = 190 A; Ø = 0,0185 Wb	695	2080	6950
I <sub>ex</sub> = 240 A; Ø = 0,023 Wb	1080	3230	10800
I <sub>ex</sub> = 272 A; Ø = 0,025 Wb	1270	3800	12700
I <sub>ex</sub> = 348 A; Ø = 0,031 Wb	1900	5900	--
I <sub>ex</sub> = 438 A; Ø = 0,037 Wb	2760	8300	--
I <sub>ex</sub> = 555 A; Ø = 0,047 Wb	3760	11300	--

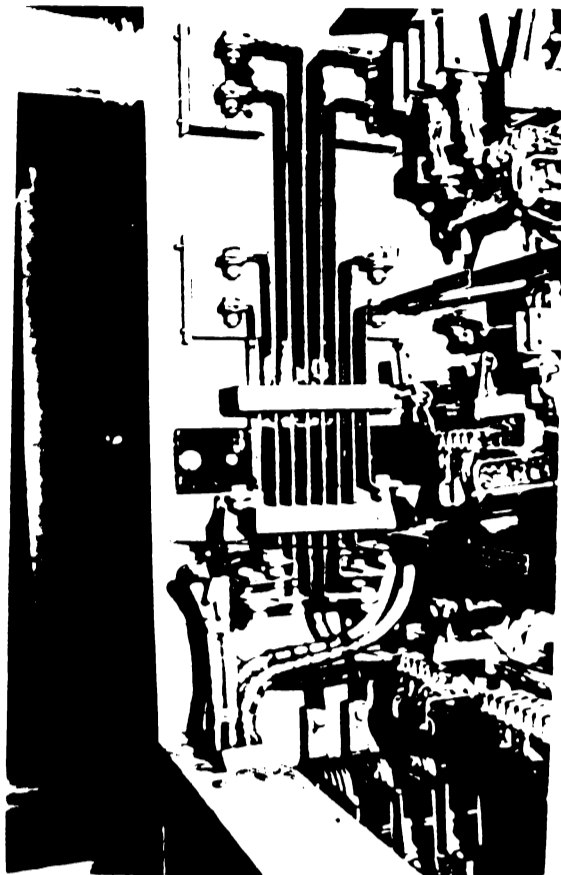


*Vedere LDE 286 cu rezistoare de frânare montate*



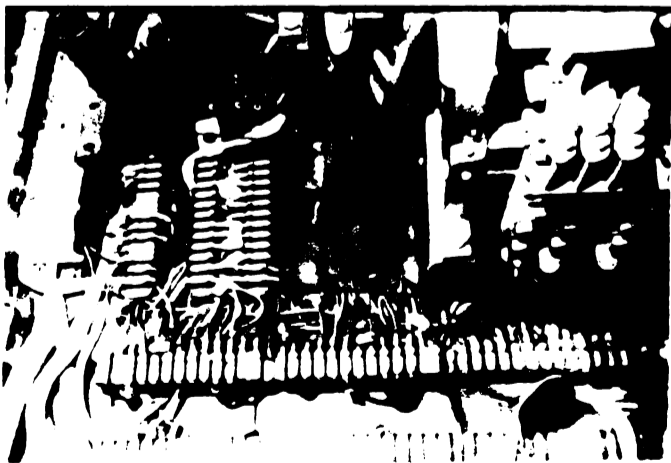
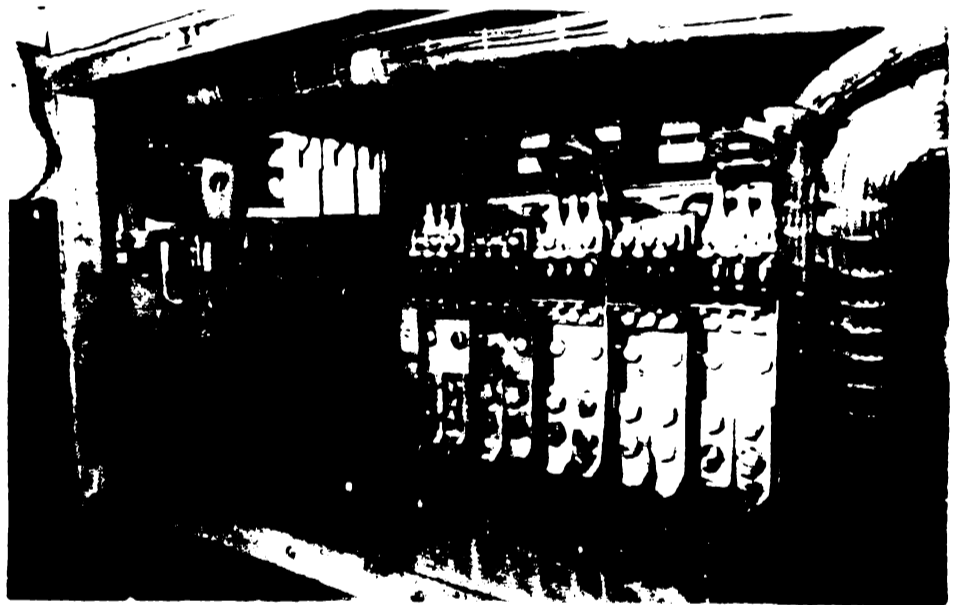
*Modificări post conducere*

V/2 -132-



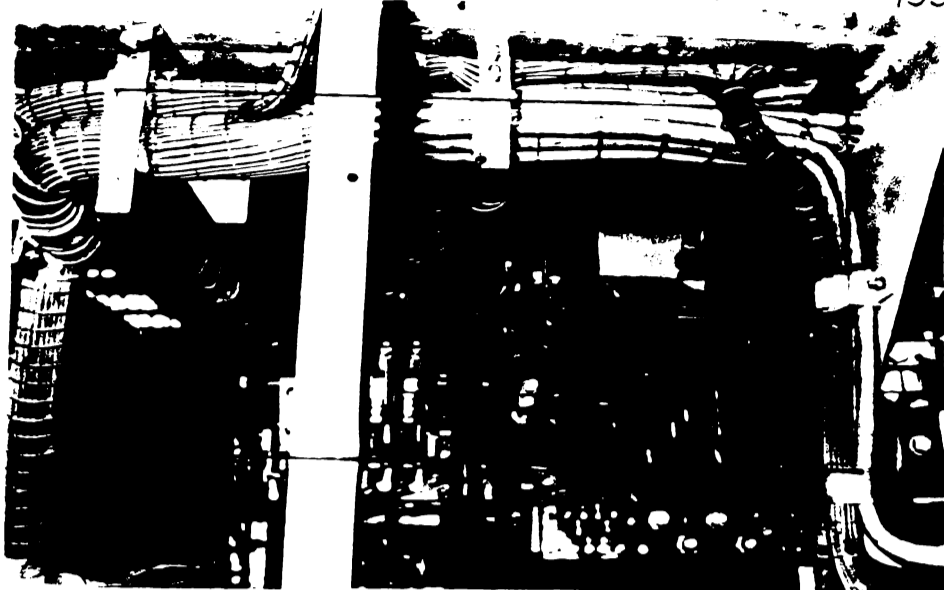
Modificări bare pt. rezistoarele de  
slabire cîmp si schimbare poz.  
montaj contactor poz. 26.3

Noua pozitie de  
montaj a inversorului  
de sens

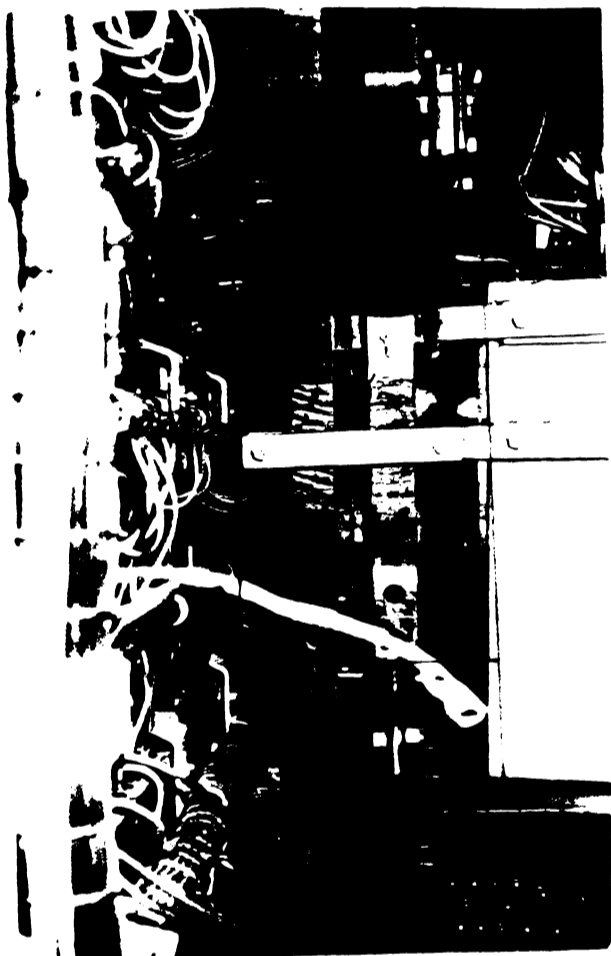


Modificare cablaj  
comandă (pb I)

01.07.71  
132  
132



Modificări cablaj  
sub bloc aparate

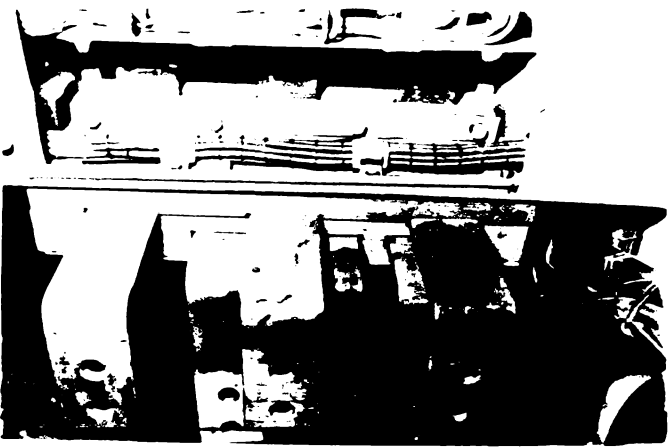


Montaj bare pt. contactor  
de excitație



Montaj contactor pentru  
excitație motoare de  
tracțiune (poz 400)





*Modificări bare pentru  
contactoare poz 22*



*leșirea cablurilor la  
rezistoarele de frinare*



*leșirea cablurilor din  
blocul de aparate*

I.M.M.R.

ANEXA VI

PROCES VERBAL DE RECEPTIE  
LDE 286 - frână reostatică

Proba de functionare a frinei electrice s-a efectuat pe ruta Craiova - Tr. Severin cu trenurile 1007/1008 în ziua de 24 oct. 1973.

• Greutate tren (inclusiv cele două locomotive): 655 t.

- Frâna electrică a fost folosită pe întreg parcursul, la intrarea în stații pentru micșorarea vitezei și la coborârea pantei Balota-Simian. Coborârea s-a făcut la viteza de 50-55 km/h cu frâna electrică ajustată pe unele porțiuni de frână pneumatică cu depresiunea de 0,7 daN/cm<sup>2</sup>.

- Curentul de frânare pentru regimul de coborâre a pantei Balota: 350 - 375 A.

- Puterea de frânare la obadă:

$$P = \frac{3 \cdot 350^2 \cdot 2,3}{0,9} = 950 \text{ kW.}$$

$R_f = 2,3$  ohmi/grupa de motoare

= 0,9 randamentul între rezistență și obadă

- Rezistentele de frânare, de construcție modificată față de cea inițială, s-au comportat satisfăcător, fără vibrații și deformații, temperatura maximă de scurtă durată măsurată în zona cea mai dezavantajată (ultima grupă în sensul de mers, lângă cosul de esapare motor diesel) fiind în jur de 500°C.

- Comenzile, reglajul și protecția au functionat normal.

DIN PARTEA CTC,  
ss. indescifrabil

DIN PARTEA RECEPTIEI CFR,  
ss. indescifrabil

pentru conformitate,

LEGENDA LA SCHEMA L1-758

1	Rezistor reglaj excitație
1 <sub>g</sub>	
1 + 6	Motoare de tracțiune
13	Contactator pentru excitație
14.1, 14.2	Rezistor reglaj excitație
14.3	Rezistor reglaj excitație-frînare
15a; 15b	Rezistor reglaj excitație
17	Regulator de cîmp
21	Inversor de sens
22 I,II,III	Contactoare pentru motoare tracțiune
24	Rezistor de protecție
26 1,2,3	Contactoare pentru slăbire cîmp
27 1,2,3	Rezistor de slăbire cîmp
28	Rezistor antipatinaj
29	Releu protecție contra patinării
29 a.	Releu auxiliar pt.pозиția 29
41 a.	Controler de comandă (tambur principal)
45 a.	Intrerupător de comandă
69	Electroventil pt.mers în gol motor diesel
88/1	Contactator pentru ventilație
128	Ampermetre motoare tracțiune
170 1,2,3	Contactoare pentru pozițiile 14.1; 2; 3
400	Contactator pentru frînare
401,402,403	Relee auxiliare pentru frînare
404	Contactator tracțiune-frînare
405	Releu pentru limitare curent frînare
406	Comutator electropneumatic tracțiune-frînare
G <sub>p</sub>	Generator principal
R <sub>f</sub>	Rezistor de frînare
130	Voltmetru pentru generatorul principal
130 a.	Divizor de tensiune pentru poz.130
143	Siguranță pentru poz.130
266	Electroventil pentru frîna electrică
407	Releu de presiune pentru frîna electrică
408 1,2	Lămpi semnalizare protecție frînă electrodinamică



10. B I B L I O G R A F I E

1. \* \* \* Tendințe, perspective și prognoze în transporturi. In - MID 6/1970.
2. Sorokin, G.E. Vagons à marchandises de grande capacité en URSS. In - Rayl International, Belgia, 2, nr.12, dec.1971, p. 1001-1015.
3. Katov, V. Problemî na vagonnîia park vav vrazka s uliceavane skorostia na vlakovete. In - J.p. transport, R.P.Bulgaria, 41, nr.6, iun.1971, p.6-8
4. \* \* \* Spre era vitezei de 300 km/h. In - Mod.Railway, Anglia 29, nr.248, mai 1972, p.162.
5. Ientisch, E. Leitungsstarke Bremssysteme und ihre Bewertung. In - Schienenfahrzeuge, R.D.G.,16, nr.4, apr. 1972, p.129-132.
6. Trahtman, L.M. Electriceskoe tocmojenie elektropodvijnovo sostava. Editura Transport, Moscova, 1965.
7. \* \* \* Locomotive braking from high speed. In - Diesel Railway Traction, dec.1963.
8. Wisse, S. Frîne pentru trenuri de mare viteză. In - MID 2/72, după: Railway Gazette, Anglia, 126, nr.5 march 1970, p.169-171
9. Călugăru, D. și Tilea, D. Frîne de mare capacitate pentru material rulant și sfera de aplicare la CFR. In - Revista Căilor Ferate, 19, nr.5, mai 1971, p.283-291.
10. Popovici, G.ș.a. Frîne moderne pentru locomotive. Centrul de Documentare și Publicații tehnice, MTTc, 1971.

.//.

11. Zăgănescu, I. Locomotive și automotoare cu ardere internă.  
Buc., Editura didactică și pedagogică, 1968.
12. Condacse, N. Locomotive electrice.  
Editura MCF, Centrul de Documentare și Publicații Tehnice, 1966.
13. Turbuț, Gh. Locomotive electrice, vol.I.  
Centrul de Documentare și Publicații tehnice, MITC, 1971.
14. Popa, A. ș.a. Tracțiunea trenurilor.  
Buc., Editura Didactică și Pedagogică, 1965.
15. Negreanu, A. Curs de locomotive și trenuri electrice.  
Editura Didactică și Pedagogică, Buc., 1964
16. Assmus, A. Progresele realizate în domeniul comenzilor și reglării locomotivelor și vagoanelor-motor de cale ferată.  
In - Traducere din ETZ-1, 88,nr.16,1969, p.411-15
17. Ball, N.D. Electric braking: an appraisal.  
In - Railway Gazette nr.6, 1970, p.185-187.
18. Brașovan, M. Acționări electromecanice.  
Ed. Didactică și Pedagogică, Buc.1969.
19. Dordea, Toma Mașini electrice.  
Buc., Editura Didactică și Pedagogică, 1970
20. Gheorghiu, I.S. și Fransua, A. Tratat de mașini electrice, vol.III.  
Buc., Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1971.
21. Novac, I. Mașini electrice.  
Institutul Politehnic Timisoara, 1969.
22. Gakkeli, E.,ș.a. Elektriceski mașini i elektroobomdovanie teplovozov.  
Editura Transport, Moscova 1966
23. Teich, Werner Asynchronous motors applied to diesels.  
In - Rail Engineering International, nov.1971, p. 248-256.

24. Teich, Werner Lokomotivtechnische Gesichtspunkte.  
In - Eisenbahntechnische Rundschau, nr.11,  
1971, p. 1-19.
25. Teich, Werner Dieselelektronische Triebfahrzeuge mit  
schleifringlosen Asynchronfahrmotoren.  
In - Elektrische Bahnen, R.F.a Germaniei, 43  
nr.4, apr. 1972, p. 74-88.
26. Teich, Werner Elektrische Übertragung für Diesel und Gastur-  
binefahrzeuge mit Umrichter und Asynchronmo-  
toren.  
In - Glasers Annalen, R.F. a Germaniei, 95,  
nr.718, iul.-aug.1971, p. 213 - 222.
27. Streker, H. Fortschritte in der dieselelektrischen Kraft-  
Übertragung.  
In - Bundesbahn, R.F. a Germaniei, 46, nr.3/4,  
febr.1972, p. 167-177.
28. Schneider, H. ) Kestrel - the world's first 4,000 h.p.  
In - Single - engined diesel loc.
29. Maillard, L și Evolution technique et économique du diésel  
de traction ferroviare dans le monde depuis  
1945.  
In - Séance plénaire, Utilisation du moteur,  
11 <sup>me</sup> Section, 13 mai 1969.
30. Germanier, R. Die Elektrische Kraftübertragung für Diesel-  
triebfahrzeuge.  
In - Glasers Annalen nr.2/3, 1970, p.33-43.
31. Götze, H. ) Dieselelektrische Lokomotiven 2000 PS für  
die Griechische Staatsbahn.  
In - Siemens - Elektrische Ausrüstungen für  
dieselelektrische Schienenfahrzeuge.
32. Madeyski, Th. Elektrische Kraftübertragung bei Dieselloko-  
motiven.  
In - Elektrische Bahnen, 1969, nr.5, p.107-114.
33. Barwel, F. Cercetarea în tractiune.  
Traducere din: The Institution of Lokomotive  
Engineere, 56 (partea 2), 1966-67, p.158-242.



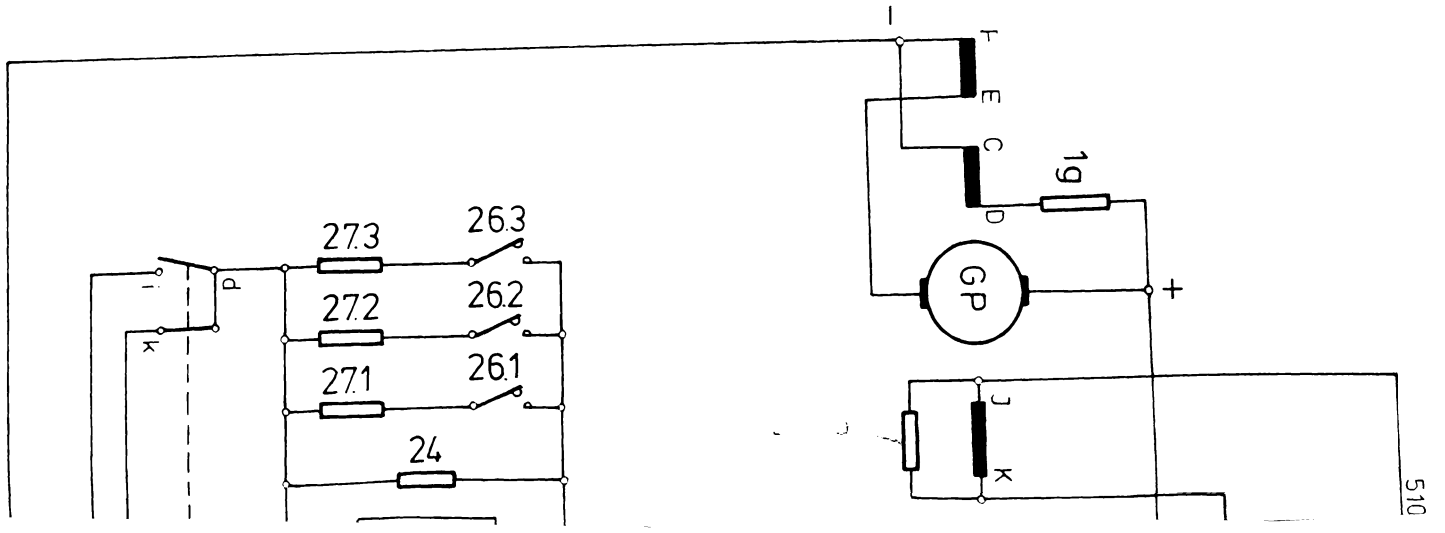
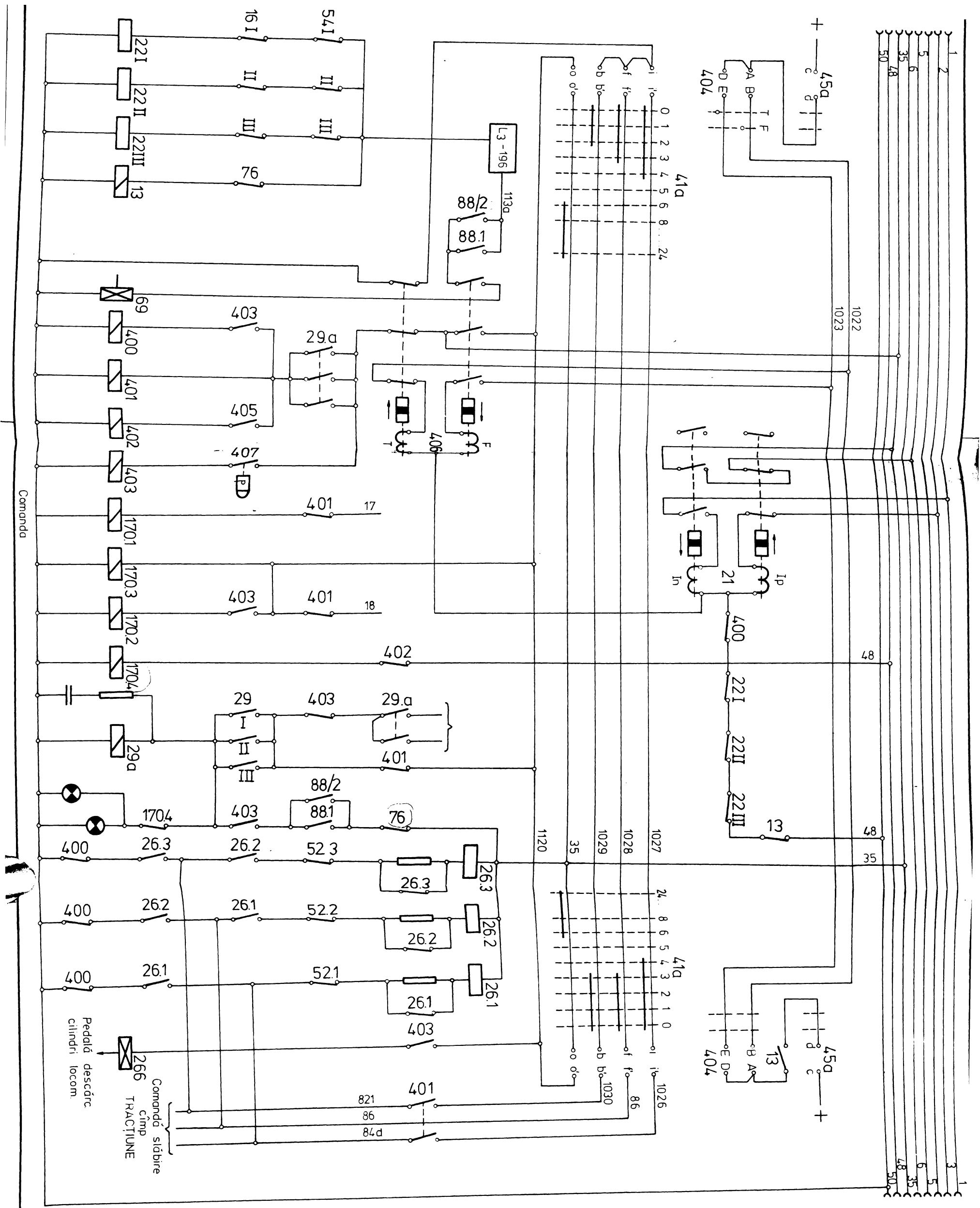


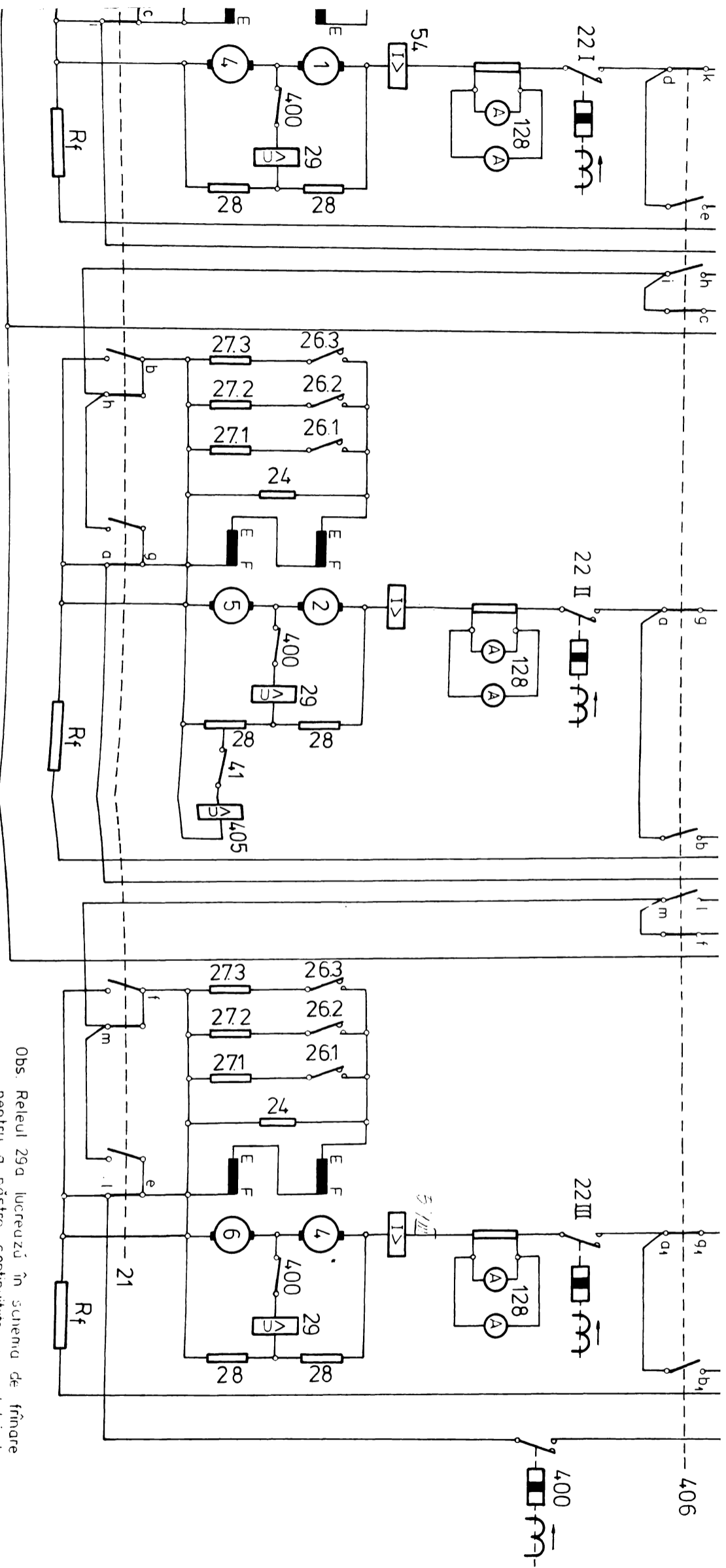
45. Asztalos, P., s.a. Design problems of electrical power transmission of high-power diesel electric locomotives.  
In - Ganz Electric Review, nr.9, 1969
46. Lück, H and Tietze, Chr. Diesel-electric locomotives of new conception Prospect AEG.
47. Bittenberg F. Henschel-BBC-DE 2500, Ein Wendepunkt in der Lokomotivtechnik.  
In - Eisenbahntechnische Rundschau, Heft 11/1971, p. 1-19
48. Chatel, M. La traction à moteurs thermiques.  
Editia Leon Eyrolles, Paris, 1960.
49. Rigaux, J. Etude sur le freinage rhéostatique en traction diesel électrique.
50. Fischer, J. Electronic Control for the electric power transmission of diesel locomotives.
51. Fodor, F. Electric equipment and test results of the 2700 HP diesel-electric locomotive.  
In - Ganz Electric Review, nr.14/1975, p.17-28
52. Mergl, I. - Fekete, Er. High-power brake rheostat for diesel-electric locomotives type DVM-10  
In - Ganz Electric Review Nr.14/1975, p.47-52.
53. Dupuy, Jean, Boileau, R. Les locomotives électriques BB 72000 et 22200 de la SNCF  
In - Revue Générale des Chemins de Fer juinie 1974, p.321-323.
54. Bouley, J. L'indispensable freinage électrique.  
In - revue Générale des Chemins de Fer, dec.1974, p.713
55. Burdubuş, Ir. Frâna reostatică pentru locomotiva diesel electrică 060-DA, 2100 CP.  
In - Revista Căilor Ferate Nr.1, ian.1971, p.23-29, 38.

56. Burdubuş, Ir. Reglajul tensiunii maxime a generatorului, pe locomotiva diesel electrică Co-Co de 2100 C.P.  
In - Revista Căilor Ferate Nr.7/1970 p.330-334.
57. Burdubuş, Ir. Comparăție între caracteristica de tracțiune a locomotivelor diesel electrice de 2100 CP. cu  $V_{max} = 100$  km/h și  $V_{max} = 120$  km/h.  
In - Revista Căilor Ferate Nr.4/1973 p.216-220.
58. Hângănuț, Marius Automatica.  
Editura didactică și pedagogică, Buc.1971.
59. Belea, C. Teoria sistemelor automate.  
Universitatea Craiova, 1972.
60. Born, Erhard Diesel Shunting and Main-line Locomotive.  
In - Railway Technical Review, nr.16, 1974, p.7+10
61. Eckhard, Bertrand Diesel Locomotives and diesel schunters.  
In - Railway Technical Review, nr.17, 1975 p.7+16
62. Engineers discuss broad range of braking topics.  
In - Railway Gazette International, aprilie 1976, pg.144
63. Fodor, F. Electric Equipment and Test Results of the 2700 HP Diesel-Electric Locomotive.  
In - Ganz Electric Review Nr.14, 1975, p.29.
64. Aboghe, Obame Les transgabonais.  
In - La vie du rail outremer, nr.267, martie 1977.

\*

\* \*





Circuite de forță și protecție

Obs. Releul 29a lucrează în schema de frinare pentru a păstra continuitatea curentului de comandă atunci când contactelele 88 comută pentru trecerea ventilatoarelor în paralel.

Redesenat după L1-758 / 04.07.76

Proiectat	Ing Burdubus-Imnc	25 01 77
<b>FRINA ELECTRO DINAMICA</b>		
forță, comandă și reglaj		
LDE 2100 CP		
<b>L1-758</b>		