

Ing. BIHOI GHEORGHE

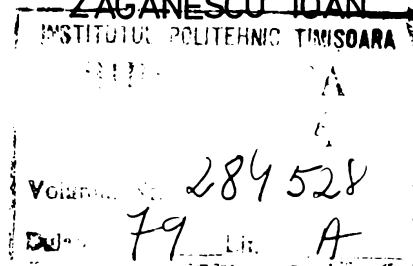
CONTRIBUȚII LA ÎMBUNĂȚĂȚIREA  
PERFORMANȚELOR LOCOMOTI-  
VELOR DIESEL ELECTRICE PRIN  
SLĂBIREA CONTINUĂ A CÎMPU-  
LUI MOTOARELOR ELECTRICE DE  
TRACȚIUNE CU EXCITAȚIE SERIE,  
CU REFERIRE LA LOCOMOTIVA  
DIESEL ELECTRICĂ C.F.R. 060-DA  
ȘI 060-DA-1.

(TEZĂ DE DOCTORAT)

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

Conducător științific:  
Prof. emerit Ing.

ZĂGĂNESCU IOAN



— TIMIȘOARA 1974 —

## C U P R I N S

Pag.

CAP.1. NECESITATEA REGLARII TRANSMISIEI ELECTRICE DE PE LOCOMOTIVELE DIESEL . . . . .	1
1.1. Considerații generale asupra reglării transmisiei . . . . .	2
1.2. Influența reglării asupra parametrilor transmisiei și performanțelor locomotivei diesel electrice . . . . .	11
1.3. Avantajele reglării continue a cîmpului motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie . . . . .	14
CAP.2. STUDIUL SISTEMELOR DE SLĂBIRE CONTINUA A CÎMPULUI LA MOTOARELE ELECTRICE DE TRACȚIUNE CU EXCITAȚIE SERIE . . . . .	18
2.1. Sisteme de realizare a slăbirii continue a cîmpului motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie . . . . .	19
2.1.1. Clasificarea sistemelor . . . . .	19
2.1.2. Sisteme de reglare continuă cu mașini a cîmpului motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie . . . . .	19
2.1.2.1 Principiul de reglare . . . . .	19
2.1.2.2 Schema SI cu excitatrice de reglare a cîmpului . . . . .	22
2.1.2.3 Determinarea parametrilor excitatricei . . . . .	27
2.1.2.4 Schema de reglare prin șuntarea înfășurărilor cu un motor electric de curent continuu . . . . .	30
2.1.2.5 Determinarea parametrilor motorului de reglare pentru locomotivă . . . . .	31
2.1.3 Sisteme de reglare continuă a fluxului motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie cu variatoare de tensiune continuă . . . . .	35
2.1.3.1 Principiul de reglare cu tiristoare . . . . .	35
2.1.3.2 Scheme de reglare cu circuite de comutație în paralel . . . . .	41
2.1.3.3 Scheme de reglare cu circuite de comutație în serie . . . . .	45
2.1.3.4 Alegerea schemei de variator . . . . .	47
2.1.3.5 Calculul elementelor din schemă . . . . .	52
2.1.3.6 Alegerea frecvenței de lucru a variatorului . . . . .	54

2.1.4.	Compararea sistemelor principale de slăbire continuă a cîmpului motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie . . . . .	55
--------	--	----

CAP. 3.

	STUDIUL INFLUENȚEI SLĂBIRII CONTINUU A CÎMPULUI MOTOARELOR ELECTRICE DE TRACȚIUNE CU EXCITAȚIE SERIE, ASUPRA TRANSMISIIEI ELECTRICE . .	58
--	---	----

3.1.	Influența slăbirii continue a cîmpului motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie, asupra proceselor de la colector . . . . .	59
3.1.1.	Considerații generale . . . . .	59
3.1.2.	Influența parametrilor motorului asupra comutației . . . . .	59
3.1.3.	T.e.m. reactivă în regim staționar de comutație . . . . .	63
3.1.4.	Procesele tranzitorii în motor la slăbirea în trepte a cîmpului . . . . .	64
3.1.5.	T.e.m. reactivă în regim tranzitoriu . . . . .	72
3.1.6.	Determinarea intensității comutației . . . . .	74
3.1.7.	Determinarea slăbirii optime a cîmpului motoarelor de tracțiune . . . . .	76
3.2.	Măsuri constructive pentru îmbunătățirea comutației motoarelor în regim de slăbire pronunțată a cîmpului . . . . .	79
3.2.1.	Generalități . . . . .	79
3.2.2.	Analiza frecvențelor extracurenților de comutație . . . . .	80
3.2.3.	Calculul amortizării extracurenților . . . . .	82
3.2.4.	Determinarea pierderilor și dimensiunilor amortizoarelor . . . . .	84
3.2.5.	Dimensionarea amortizoarelor de ancoșe pentru motoarele Cf 300/200 și GDM-533 . . . . .	87
3.3.	Influența slăbirii continue a cîmpului motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie, asupra coeficientului de reglare și a greutății generatorului . . . . .	90
3.3.1.	Stabilirea dependenței coeficientului de reglare al generatorului de numărul de trepte de slăbire a cîmpului . . . . .	90
3.3.2.	Influența coeficientului de reglare $K_g$ asupra reducerii greutății generatorului . . . . .	95

. / .

*[Handwritten signature]*

3.4.	Mărirea fiabilității echipamentului electric de forță al locomotivei 060-DA-1 în cazul slăbirii continue a câmpului motoarelor de tracțiune . . . . .	98
3.4.1.	Considerații generale . . . . .	98
3.4.2.	Determinarea încălzirii înfășurărilor polilor principali la câmp plin . . . . .	99
3.4.3.	Determinarea încălzirii înfășurărilor polilor principali la câmp slăbit în trepte . . . . .	99
3.4.4.	Determinarea încălzirii înfășurărilor polilor principali la câmp slăbit continuu . . . . .	99
3.4.5.	Raportul de fiabilitate . . . . .	100
3.4.6.	Concluzii . . . . .	100
CAP.4.	STUDIUL INFLUENȚEI SLĂBIRII CONTINUI A CÂMPULUI MOTOARELOR ELECTRICE DE TRACȚIUNE CU EXCITATIE SERIE ASUPRA PERFORMANTELOR DE TRACȚIUNE ALE LOCOMOTIVEI DIESEL . . . . .	101
4.1.	Determinarea influenței slăbirii continue a câmpului motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie asupra reducerii șocurilor forței de tracțiune a locomotivei diesel . . . . .	102
4.2.	Determinarea influenței slăbirii continue a câmpului motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie asupra îmbunătățirii parametrilor de tracțiune ai locomotivei diesel electrice 060-DA-1 . . . . .	108
4.2.1.	Considerații generale asupra parametrilor de tracțiune ai locomotivei diesel electrice . . . . .	108
4.2.2.	Determinarea caracteristicilor electro-mecanice la arborele motorului GDTM-533 . . . . .	110
4.2.2.1.	Parametrii de bază ai motorului GDTM-533 . . . . .	110
4.2.2.2.	Calculul și construcția caracteristicilor electro-mecanice . . . . .	112
4.2.3.	Determinarea caracteristicilor electro-mecanice ale motorului GDTM-533 raportate la obada roților motoare . . . . .	134
4.2.3.1.	Determinarea caracteristicii $V(I)$ . . . . .	134
4.2.3.2.	Determinarea caracteristicilor forței de tracțiune a motoarelor $F_{0m}(V)$ . . . . .	139
4.2.4.	Determinarea caracteristicilor de tracțiune ale locomotivei 060-DA-1 la diferite trepte de slăbire de câmp a motoarelor . . . . .	139
4.2.4.1.	Determinarea caracteristicilor $F_0(V)$ . . . . .	140



4.2.4.2.	Calculul rezistențelor la înaintare	140
4.2.4.3.	Calculul forțelor de accelerare a trenului . . . . .	145
4.2.5.	Determinarea caracteristicilor de tracțiune ale locomotivei O60-DA-1 în cazul reglării vitezei prin slăbire de câmp continuă a motoarelor de tracțiune . .	149
4.2.5.1.	Considerații generale	
4.2.5.2.	Determinarea caracteristicilor $V(I_m)$ pentru diferiți coeficienți de slăbire a câmpului în cazul reglării continue a vitezei . . . . .	151
4.2.5.3.	Determinarea caracteristicii $F_0(V)$	155
4.2.6.	Posibilitățile de utilizare a rezerveilor transmisiei electrice a locomotivei O60-DA-1 datorită slăbirii continue a câmpului motoarelor de tracțiune . . . .	155
4.2.6.1.	Considerații generale . . . . .	155
4.2.6.2.	Determinarea valorii curentului motorului de tracțiune în regimul de slăbire continuă de câmp pentru diferite tonaje remorcate . . . . .	156
4.2.6.3.	Determinarea caracteristicilor de tracțiune ale forțelor de accelerare și ale timpilor de mers pentru tonaje de 200 tf și 400 tf și curent de reglare $I_m = 595 A$ . . . . .	162
4.2.6.4.	Determinarea caracteristicilor de tracțiune ale forțelor de accelerare și ale timpilor de mers pentru tonaje de 200 tf și 400 tf și curenți de reglare $I_m = 655 A$ . . . . .	166
4.2.6.5.	Limitări impuse de motorul electric de tracțiune . . . . .	170
4.2.6.6.	Limitări impuse de transmisia mecanică	172
4.2.6.7.	Concluzii . . . . .	172
CAP.5	INSTALAȚII REALIZATE PENTRU EFECTUAREA ÎNCERCĂRILOR PE STAND . . . . .	176
5.1.	Prezentarea standului . . . . .	177
5.2.	Considerații asupra motoarelor încercate	182
5.3.	Descrierea și calculul elementelor de rezistență a instalației de reglare în trepte a câmpului . . . . .	184
5.4.	Descrierea și calculul elementelor principale ale variatorului de tensiune continuă pentru reglarea continuă a câmpului	187

5.4.1.	Descrierea variatorului de tensiune continuă . . . . .	187
5.4.2.	Determinarea pe stand a inductivității dinamice a motorului Cf 300/200 . . . . .	188
5.4.3.	Dimensionarea elementelor principale ale variatorului de tensiune continuă . . . . .	194
5.5.	Descrierea metodelor, a instalațiilor și aparatelor de măsură utilizate . . . . .	197
CAP.6.	INSTALATIE DE REGLARE CONTINUA CU TIRISTOARE A CIMPULUI MOTOARELOR DE TRACTIUNE PE LOCOMO- TIVA 060-DA-1 . . . . .	205
6.1.	Descrierea schemei variatorului de ten- siune continuă . . . . .	206
6.2.	Calculul inductivității dinamice a mo- torului de tracțiune GDTM-533 . . . . .	206
6.3.	Dimensionarea elementelor principale ale variatorului de tensiune continuă . . . . .	210
6.4.	Schema de comandă automată a slăbirii continui de câmp pe locomotiva 060-DA-1 . . . . .	212
CAP.7.	REZULTATE OBTINUTE PRIN INCERCARI EXPERIMEN- TALE PE STAND . . . . .	218
7.1.	Ridicarea caracteristicilor electro- mecanice ale motorului experimentat tip Cf 300/200 E (ecranat) . . . . .	219
7.2.	Măsurători privind slăbirea în trepte a câmpului motorului Cf 300/200 E . . . . .	221
7.3.	Măsurători privind slăbirea continuă a câmpului motorului Cf 300/200 E . . . . .	236
7.4.	Măsurători efectuate asupra variatoru- lui de tensiune continuă . . . . .	236
7.5.	Concluzii asupra rezultatelor măsură- torilor . . . . .	239
CAP.8.	CONSIDERATIILE FINALE . . . . .	244
	Bibliografie . . . . .	248

CAPITOLUL - 1  
NECESITATEA REGLĂRII TRANSMISIEI  
ELECTRICE DE PE LOCOMOTIVELE  
DIESEL.

### 1.1. CONSIDERAȚII GENERALE ASUPRA REGLANII TRANSMISIEI

Intrucît caracteristicile motorului diesel nu îndeplinesc condițiile de bază cerute unui motor de tracțiune, apare necesitatea introducerii între acesta și osiile motoare ale locomotivei a unui organ intermediar numit transmisie.

Una dintre transmisiile larg utilizate în construcția de locomotive diesel este transmisia electrică, întrucît ea este capabilă să adapteze cel mai bine motorul diesel la condițiile de tracțiune.

Sistemele de reglare folosite la aceste transmisii, trebuie să asigure, utilizarea completă a puterii optime a motorului diesel, pe tot domeniul de viteze a locomotivei și greutate specifică cât mai mică a transmisiei.

Intrucît există transmisii electrice, care îndeplinesc mai mult sau mai puțin aceste condiții, sarcina principală a cercetării și proiectării este perfecționarea acestora, pornind de la alegerea cât mai rațională a schemei și limitelor de reglare a transmisiei, precum și mașini electrice cu utilizare superioară din punctul de vedere al sarcinilor mecanice și electrice.

Calitățile de tracțiune ale unei locomotive sînt exprimate, prin caracteristica sa de tracțiune  $F_0(V)$ . Această caracteristică trebuie să fie cât mai apropiată de caracteristica limită ideală, care pentru locomotiva diesel este dată de curba ABCD din fig.1.1.

Curba ABE reprezintă limitarea după aderență și poate fi construită după expresia:

$$F_0 = P_a \cdot \psi \cdot 10^{-3} \quad [\text{kgf}] \quad (1.1)$$

unde:

- $\psi = 0,161 + \frac{7,5}{V + 44}$  - coeficientul de aderență;
- $F_0$  = forța de tracțiune la obadă în [kgf];
- $P_a$  = forța de aderență a locomotivei în [Tf];
- $V$  = viteza de mers în [km/h].

Dreapta DE reprezintă limitarea după viteza maximă de mers  $V_{max}$ . Limitarea după puterea motorului diesel este reprezentată prin curba BC, determinată de relația:

$$F_0 = \frac{270 \eta_T (P_n - P_{aux})}{V} = \frac{270 \eta_T P_{dmax}}{V} \quad [kgf] \quad (1.2)$$

unde:

- $P_n$  - puterea nominală a motorului diesel, în [CP];
- $P_{aux}$  - puterea necesară pentru antrenarea instalațiilor auxiliare, în [CP];
- $\eta_T$  - randamentul transmisiei de la motorul diesel la roți;
- $P_{dmax}$  - puterea maximă disponibilă pentru tracțiune, în [CP].

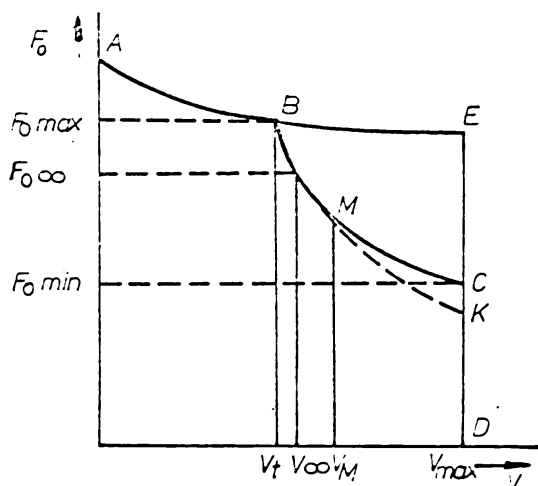


Fig. 1.1a

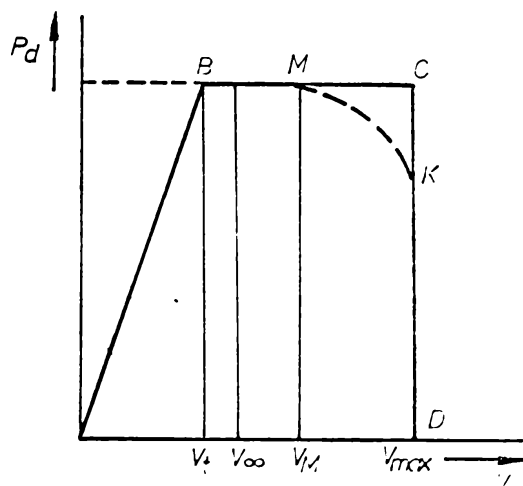


Fig. 1.1b

Această porțiune a caracteristicii corespunde funcționării motorului cu putere totală, care poate fi realizată în intervalul de viteze de la  $V_{min}$  până la  $V_{max}$ .

Puterea locomotivei este determinată de puterea motorului diesel iar restul parametrilor locomotivei nu depind de acesta, ci sînt determinați în mod principal de parametrii transmisiei electrice.

. / .

Cel mai important indicator de tracțiune al locomotivei, care este determinat numai de transmisie, este viteza maximă  $V_{m\max}$  pînă la care se utilizează integral puterea motorului diesel. La unele locomotive caracteristica de tracțiune are o limitare după tensiunea generatorului, curba MK din fig.1.1., fapt care duce la utilizarea incompletă a puterii motorului diesel la viteze mari. Pentru eliminarea acestei deficiențe se practică slăbirea de cîmp a motoarelor electrice.

Pentru transmiterea unei puteri constante, la turație constantă a generatorului și în limite largi de variație a turației motoarelor electrice de tracțiune, la fel și a cuplului acestora, este necesar a se efectua reglarea elementelor transmisiei.

În practică se utilizează trei metode de reglare în diferite combinații:

- 1) reglarea fluxului magnetic al generatorului;
- 2) reglarea fluxului magnetic al motoarelor electrice de tracțiune;
- 3) schimbarea grupării motoarelor electrice de tracțiune.

Reglarea fluxului magnetic al generatorului se poate realiza fie printr-un sistem de excitație cu mai multe înfășurări, denumit sistem cu autoreglare, fie prin utilizarea unor mijloace speciale de reglare, cu mașini sau aparate, denumit sistem cu reglare automată.

La locomotivele de construcție modernă, de mare putere, se folosesc sisteme de reglare combinate, formate din sisteme autoreglatoare și sisteme cu reglare automată sau mai recent sisteme unificate de reglare a motorului primar, generatorului și motoarelor electrice de tracțiune, care poate asigura cu o suficientă precizie apropierea caracteristicii de tracțiune a locomotivei de caracteristica limită ideală din fig.1.1.

Corespunzător cu aceasta se poate realiza și caracteristica externă limită a generatorului  $U_g(I_g)$ . După cum reiese din caracteristica limită de tracțiune a locomotivei, pentru schimbarea forței de tracțiune și a vitezei de mers, este necesar să se modifice tensiunea și curentul generatorului.

Puterea generatorului  $P_g$  este egală cu:

$$P_g = U_g \cdot I_g \cdot 10^{-3} \quad [\text{kW}] \quad (1.3)$$

unde:

$U_g$  - tensiunea la bornele generatorului în [V];  
 $I_g$  - curentul de sarcină al generatorului în [A];

În mod practic, la o putere constantă  $P_e$  a motorului primar, puterea generatorului trebuie de asemenea să rămână aproximativ constantă, adică:

$$P_g = U_g \cdot I_g \cdot 10^{-3} = \text{const.}$$

Prin urmare, la schimbarea curentului, tensiunea generatorului trebuie să se schimbe invers proporțional cu acesta:

$$U_g = \frac{\text{const}}{I_g} \quad (1.4)$$

În felul acesta, caracteristica externă limită a generatorului trebuie să fie apropiată de o hiperbolă, așa cum este prezentată în fig.1.2.

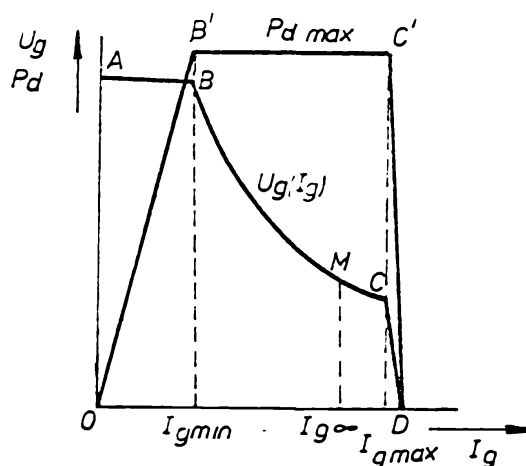


Fig.1.2

Partea hiperbolică a caracteristicii externe ideale a generatorului este cuprinsă între limitele determinate de valorile curenților  $I_{gmin}$  și  $I_{gmax}$ . Această porțiune corespunde regimului nominal de funcționare a motorului primar în limitele cerute de variația forței de tracțiune și a vitezei locomotivei.

. / .



Zona CD de limitare după curentul generatorului trebuie să corespundă forței maxime de aderență. După regimul generatorului, curentul este limitat din condiții de comutație și încălzire. Acest curent însă nu trebuie să fie mai mic decât cel permis de condițiile de aderență.

Zona AB de limitare a tensiunii generatorului, trebuie aleasă pentru viteza maximă de mers. Pentru ca puterea motorului diesel, să fie integral utilizată, la toate vitezele de mers, inclusiv cea maximă, punctul B al caracteristicii trebuie să corespundă vitezei maxime.

Pentru generator parametrul de reglare la ieșire este tensiunea la borne, care se exprimă prin relația:

$$U_g = E_g - I_g \cdot r_g \quad [V] \quad (1.5)$$

unde:

$E_g = K_{og} \phi_g \cdot n_g$  - Tensiunea electromotoare a generatorului - în [V];

$I_g \cdot r_g$  - căderea de tensiune pe înfășurările generatorului, - în [V].

La o valoare dată a curentului generatorului, tensiunea la bornele sale depinde de tensiunea sa electromotoare. Prin urmare, mărimile variabile, care pot fi folosite pentru reglaj, sînt fluxul magnetic și turația generatorului.

Schimbarea turației motorului diesel se face prin modificarea injecției de combustibil, iar menținerea formei hiperbolice a caracteristicii externe se realizează [1] prin variația fluxului magnetic care la generatorul cu trei înfășurări are expresia:

$$\phi_g = \frac{\lambda_g \theta_{mi} - \lambda_g W_s' I_g}{1 - \frac{\lambda_g W_p K_{og}}{r_p} n_g} \quad [Wb] \quad (1.6)$$

unde:

$\lambda_g$  - permeanța magnetică a circuitului magnetic al generatorului;

$\theta_{mi}$  - solenația înfășurării de excitație independentă;

$W_s'$  - număr de spire echivalente;

$W_p$  - numărul de spire al înfășurării paralele;

$K_{og}$  - constanta generatorului;

$r_p$  - rezistența înfășurării paralele.

Din aceasta rezultă că la parametrii dați ai circuitului magnetic, fluxul magnetic al generatorului se micșorează cu creșterea curentului și se mărește cu creșterea turației.

Zona hiperbolică a caracteristicii externe limită este cea mai importantă, întrucât în ea se realizează utilizarea totală a puterii motorului diesel.

Mărimea acestei zone este determinată prin raportul:

$$\frac{I_{gmax}}{I_{gmin}} = \frac{U_{gmax}}{U_{gmin}} = K_g \quad (1.7)$$

Acest raport se mai denumește și coeficient de reglare al generatorului.

Coeficientul de reglare al generatoarelor de pe locomotivele moderne [2], cu schema fixă de grupare a motoarelor electrice și slăbirea câmpului acestora, variază între limitele:

$$K_g = 2 - 2,5$$

Pe lângă reglarea regimului de funcționare al generatorului se practică și reglarea regimului de funcționare al motoarelor electrice de tracțiune.

Din expresia turației motorului în funcție de parametrii săi electrice:

$$n_m = \frac{U_m - I_m \sum R_m}{K_m \Phi_m} \quad \left[ \frac{\text{rot}}{\text{min}} \right] \quad (1.8)$$

rezultă că turația sa poate fi influențată prin variația celor trei parametri: tensiunea la borne  $U_m$ ; rezistența circuitului  $R_m$  și fluxul magnetic  $\Phi_m$ .

La locomotivele diesel electrice, se practică curent reglarea turației motoarelor prin modificarea tensiunii la generator și reglarea fluxului motoarelor de tracțiune.

Reglarea fluxului motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie în prezent se realizează prin șuntarea în trepte cu aparataj special a înfășurărilor polilor principali cu rezistențe și este caracterizată printr-un coeficient " $\alpha$ ".

Acest coeficient, care reprezintă gradul de slăbire al câmpului, este determinat de raportul solenațiilor la câmp slăbit și la câmp plin, pentru unul și același curent al indușului.

$$\alpha = \frac{\theta_{\text{ex c.s.}}}{\theta_{\text{ex c.p.}}} \quad (1.9)$$

la  $I_m = \text{const.}$  . / .

De obicei, acest coeficient se exprimă în procente și nu întodeauna corespunde cu gradul de slăbire al fluxului de excitație al motorului, întrucât el reprezintă gradul de slăbire al solenației înfășurării de excitație, care are o variație de formă nelineară, așa cum se vede în fig.1.3 curba 2.

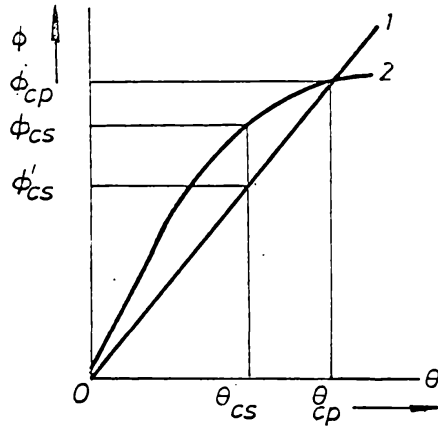


Fig.1.3

Suntarea înfășurării de excitație a polilor principali prin rezistență și inductivitate este prezentată în schema din fig.1.4.

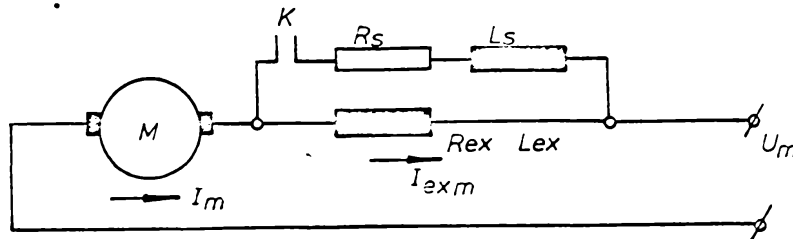


Fig.1.4

Caracterul procesului de schimbare a turației și a cuplului motorului de tracțiune cu excitație serie, în condițiile câmpului slăbit, rezultă din următoarele:

Curentul  $I_{\text{exm}}$  prin înfășurarea de excitație este determinat de produsul dintre curentul motorului  $I_m$  și coeficientul de slăbire al câmpului,

$$I_{\text{exm}} = I_m \cdot \alpha \quad (1.10)$$

Din relația turației motorului serie de tracțiune (1.8), relația (1.10) și considerînd  $K_m \Phi_m = K_m' I_m$ , rezultă:

$$n_{c.p} = \frac{U_m - I_m \sum R_m}{K_m' I_m} \quad (1.11)$$

$$\text{și } n_{c.s} = \frac{U_m - I_m \sum R_m}{K_m' I_m \alpha} \quad (1.12)$$

Făcînd raportul acestor turații, la aceeași valoare a curentului, obținem:

$$\frac{n_{cs}}{n_{cp}} = \frac{1}{\alpha} \quad (1.13)$$

Din această relație rezultă că în cazul slăbirii de câmp, turația motorului de tracțiune crește, întrucît  $\alpha$  este subunitar.

Caracteristica cuplului se schimbă și ea după cum urmează:

$$C_{cs} = K_c \Phi_m I_m = K_c' I_m \cdot \alpha \cdot I_m = K_c' I_m^2 \cdot \alpha \quad (1.14)$$

$$K_c \Phi_m = K_c' I_m \alpha$$

$$\text{In cazul câmpului plin } C_{cp} = K_c' I_m^2$$

Comparînd valoarea celor două cupluri la același curent rezultă:

$$\frac{C_{cs}}{C_{cp}} = \alpha \quad (1.15)$$

Din această relație se deduce că în cazul slăbirii de câmp, cuplul  $C_{cs}$  scade în raport direct proporțional cu coeficientul " $\alpha$ " de slăbire al câmpului.

Caracterul schimbării acestor caracteristici este redat în fig.1.5.

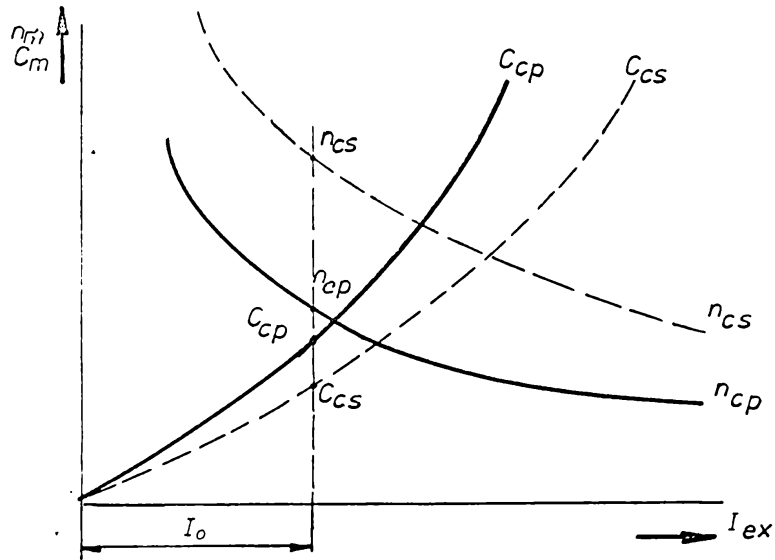


Fig.1.5

Analizînd problema modificării caracteristicilor electromecanice ale motorului serie, construite la cuplu constant și diferite valori ale coeficientului de slăbire al cîmpului, rezultă următoarele:

Determinînd din relația (1.14) valoarea curentului  $I_m$ :

$$I_m = \sqrt{\frac{C_{c.s}}{K_c' \cdot \alpha}} \quad (1.16)$$

și introducînd-o în relația (1.12) se obține:

$$n_{c.s} = \frac{U_m}{K_m' \sqrt{\frac{C_{c.s}}{K_c' \alpha}}} \cdot \alpha - \frac{\sum R}{K_m' \cdot \alpha} = \frac{U_m \sqrt{K_c' \cdot \alpha}}{K_m' \alpha \sqrt{C_{c.s}}} - \frac{\sum R}{K_m' \cdot \alpha} \quad (1.17)$$

Relația (1.17) întărește concluzia rezultată din expresia (1.13), că la cupluri mici, cum este cazul la reglarea cîmpului motoarelor de tracțiune, turația crește cu creșterea slăbirii

de câmp, iar la cupluri mari aceasta ajunge, la un moment dat să scadă.

Din prezentarea grafică a relației (1.17) în fig.1.6 slăbirea adâncă de câmp a motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie, este eficace la viteze mari, întrucât conduce la creșterea vitezei de circulație a trenurilor.

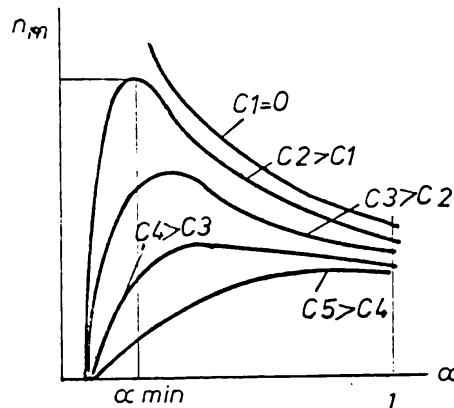


Fig. 1.6

## 1.2. INFLUENȚA REGLĂRII ASUPRA PARAMETRIILOR TRANSMISI- SIEI ȘI PERFORMANTELOR LOCOMOTIVEI DIESEL ELECTRICE

Caracteristicile transmisiei electrice depind de caracteristicile generatorului principal și a motoarelor electrice de tracțiune.

Relațiile care leagă zona de reglare a elementelor transmisiei electrice și zona de variație a forței de tracțiune a locomotivei, în forma cea mai generală [3] se exprimă prin coeficientul de reglare al vitezei locomotivei.

$$K_V = \frac{F_{o\max}}{F_{o\min}} = \frac{m_p}{m_s} \cdot \frac{\Phi_{m\max}}{\Phi_{m\min}} \cdot \frac{I_{g\max}}{I_{g\min}} = K_o \cdot K_M \cdot K_g \quad (1.18)$$

unde:

$K_o = \frac{m_p}{m_s}$  - coeficientul de schemă ce reprezintă raportul dintre numărul grupelor paralele de motoare electrice la gruparea în paralel și cea în serie;

. / .

$$K_M = \frac{\Phi_{m \max}}{\Phi_{m \min}} - \text{coeficientul de reglare al fluxului motoarelor de tracțiune};$$

$$K_G = \frac{I_{g \max}}{I_{g \min}} - \text{coeficientul de reglare al generatorului}$$

Din această expresie, se vede că limitele de reglare a elementelor transmisiei electrice, determină direct parametrii de tracțiune ai locomotivei, respectiv performanțele ei.

De alegerea rațională și într-o strânsă interdependență a acestor limite de reglare, depind totodată, parametrii, dimensiunile și caracteristicile generatorului și motoarelor electrice de tracțiune.

Parametrii și dimensiunile generatorului și motoarelor electrice de tracțiune depind de raportul de variație a vitezei de la cea de durată până la cea maximă sau a forței de tracțiune de la cea de durată până la cea minimă. Regimurile forței de tracțiune de la cea de durată până la cea maximă sînt de scurtă durată și sînt asigurate prin supraîncărcarea obișnuită a generatorului și motoarelor fără sporirea dimensiunilor lor.

Raportul de variație a valorilor admisibile de durată și maximă a forței de tracțiune și a vitezei este:

$$K'_M = \frac{F_o \propto}{F_o \min} = \frac{V_{\max}}{V_{\infty}} = K_o \cdot K'_m \cdot K'_g$$

unde:

$$K'_m = \frac{\Phi_{m \infty}}{\Phi_{m \min}};$$

$$K'_g = \frac{I_{g \max}}{I_{g \infty}} = \frac{I_{g \infty}}{I_{g \min}} = \frac{\Phi_{g \max}}{\Phi_{g \infty}} \quad (1.19)$$

Practic, valorile acestor coeficienți realizați la locomotivele moderne fără comutarea în schemă a motoarelor [2] se găsesc în limitele:

$$K'_g = 1,3 - 1,6$$

$$K'_m = 2,5 - 3,5$$

$$K_g = 2 - 2,5$$

$$K_M = 3 - 4$$

. / .



În cazul reglării continue a fluxului motoarelor de tracțiune spre deosebire de reglarea în trepte, dependent de metoda de reglare folosită, apare posibilitatea ca în aceleași condiții de comutație, coeficientul de reglare  $K_M$  să fie mai mare.

Pornind de la metodele cunoscute actual de asigurare a unui coeficient cât mai mare de reglare a motoarelor  $K_M$ , se ajunge la situația când peste o anumită limită a acestuia, apare necesitatea sporirii dimensiunilor motorului, ca urmare a necesității utilizării unor bobine suplimentare de compensație, în vederea îmbunătățirii comutației.

Pentru evitarea acestui lucru, în teza de față, se studiază măsuri speciale în construcția motoarelor de tracțiune cu poli de comutație, diferite de cele utilizate pînă în prezent și anume: utilizarea ecranării secțiilor în ancosă cu benzi din cupru, în locul înfășurărilor de compensație.

Limitele de reglare a parametrilor motoarelor de tracțiune și a generatorului au o influență deosebită asupra performanțelor locomotivei și a însăși construcției lor.

La tensiunea și curentul nominal date ale generatorului, acesta va avea o greutate cu atît mai mare cu cît este mai mare tensiunea maximă, întrucît toate elementele sale trebuie calculate în funcție de această tensiune. De aceea se tinde să se folosească toate posibilitățile pentru ca generatorul să funcționeze la o tensiune maximă pe o zonă cât mai restrînsă, adică să aibe zona hiperbolică a caracteristicii sale externe cît mai mică. Acest lucru este asigurat prin slăbirea cîmpului motoarelor de tracțiune și regruparea lor.

Intrucît în prezent pentru reducerea șocurilor din transmisie se practică tot mai mult legarea constantă, serie - paralel a motoarelor de tracțiune, este necesar a se recurge la utilizarea maximă a posibilităților de reglare a transmisiei ce decurge din slăbirea cîmpului motoarelor de tracțiune.

Dependența limitelor de reglare a tensiunii generatorului de gradul de slăbire al cîmpului și raportul turațiilor motoarelor de tracțiune [4] este redată în relația:

. / .

$$\frac{U_{rmax}}{U_{m\infty}} = \frac{V_{max} cs}{V_{max}} \sqrt{\alpha} \quad (1.20)$$

unde:  $V_{max}$  = viteza determinată pe caracteristica de viteză la  $U_{m\infty}$  și  $F_{omin}$ .

Din această relație se poate vedea că la același raport de viteze  $\frac{V_{max} cs}{V_{max}}$ , raportul tensiunilor cea maximă pe cea de durată scade pe măsura creșterii slăbirii cîmpului, adică micșorarea lui  $\alpha$ . De aceea, mărind slăbirea cîmpului, se reduce domeniul de variație al tensiunii generatorului și cu aceasta și gabaritele lui.

Reglarea continuă a fluxului motoarelor electrice de tracțiune permite realizarea unei slăbiri mai adînci de flux și deci facilitează realizarea dezideratului de mai sus.

Toate aceste reglaje au ca scop principal utilizarea totală a puterii locomotivei la viteze mari, ceea ce dă posibilitatea sporirii vitezelor de mers, creșterea productivității locomotivei și în unele cazuri mărește capacitatea privind traficul pe căile ferate.

### 1.3. AVANTAJELE REGLĂRII CONTINUI A CÎMPULUI MOTOARELOR ELECTRICE DE TRACȚIUNE CU EXCITAȚIE SERIE

În condițiile actuale de transport, datorită creșterii vitezei de mers a trenurilor și a trecerii la legarea în paralel a motoarelor electrice de tracțiune, apar tot mai evident deficiențele reglării în trepte a fluxului magnetic al acestora.

Deficiențele de bază, proprii sistemelor electrice de acționare în tracțiune cu motoare de curent continuu, cu excitație serie, sînt determinate de dependența rigidă a curenților de excitație, de curenții indusurilor acestora.

Sporirea vitezei de mers a locomotivei diesel, cu reducerea simultană a greutateii transmisiei electrice și utilizarea cît mai deplină a puterii motorului diesel, implică o reglare adîncă a fluxului motoarelor electrice de tracțiune, ajungînd chiar sub 25%.

. / .

Un grad așa de mare de slăbire a fluxului nu poate fi obținut fără dificultăți, prin metoda de reglare în trepte, întrucît în acest caz trecerea de la o treaptă de slăbire a cîmpului la alta se face cu salt mare de curent, atît al motoarelor electrice de tracțiune, cît și al generatorului.

Din această cauză se produc șocuri ale forței de tracțiune ce conduc la efecte dăunătoare asupra confortului pasagerilor și asupra funcționării agregatelor mecanice.

Totodată, din cauza saltului de curent, poate fi depășit curentul de durată al mașinilor electrice și ca atare poate surveni supraîncălzirea lor.

Tot din această cauză se înrăutățește funcționarea contactorilor de comandă a slăbirii de cîmp și pot lua naștere fenomene tranzitorii cu caracter pronunțat ce înrăutățesc comutația mașinilor.

Evitarea acestor fenomene este o problemă de absolută necesitate, putînd fi rezolvată prin mărirea numărului de trepte de slăbire a cîmpului motoarelor electrice.

Astăzi această metodă se practică în Franța [5] unde a fost patentată și experimentată o schemă de comandă a locomotivelor diesel electrice cu multe trepte de slăbire a cîmpului.

În U.R.S.S. [6] a fost experimentată o locomotivă diesel TE-3, cu reglare continuă a fluxului motoarelor de tracțiune, în care stop înșă motorului i s-a mai adăugat și o înfășurare suplimentară de excitație independentă (motor cu excitație mixtă).

Chiar și la LDE 060-DA1 [7] numărul de trepte de slăbire a cîmpului a fost sporit de la două la trei.

La un număr mare de trepte aparatajul de comandă este greoi și la realizările tehnicii actuale în domeniul aparatajelor electrice, devine oportună utilizarea reglării continue a fluxului.

Variația curentului și a forței de tracțiune în cazul reglării în trepte și reglarea continuă a fluxului este evidențiată în diagramele din fig.1.7. Din aceasta se observă că trecerea de la o treaptă la alta de slăbire a cîmpului se face cu un salt de curent  $\Delta I$  și cu un salt al forței de tracțiune  $\Delta F$ .

La slăbirea continuă, trecerea este lină, fără salturi de curent.

De asemenea, pentru evitarea funcționării în regim de "sonerie" a schemei, trecerea de la o treaptă superioară de slăbire a câmpului la alta inferioară se face la un curent mai mare decât cel maxim de trecere de la o treaptă inferioară la alta superioară.

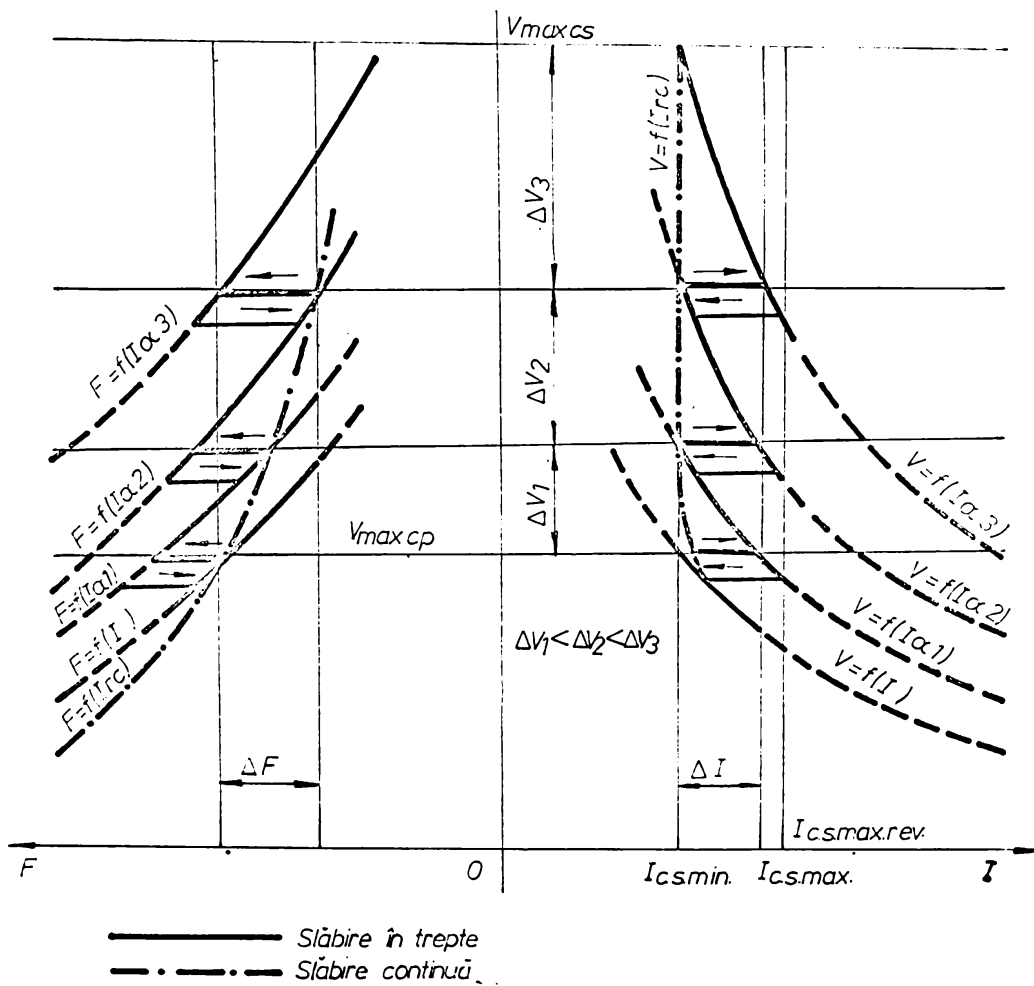


Fig.1.7

• / •

$$I_{cs \max \text{ rev}} > I_{cs \max}$$

Acest curent este mai mare decât curentul  $I_{cs \min}$ , care rezultă la reglarea continuă și ca atare în unele cazuri crește încălzirea motoarelor și chiar și a generatorului.

Deci, reglarea continuă a câmpului asigură reducerea încălzirii mașinilor electrice.

Inclinarea mare a caracteristicii  $V(I)$  așa cum reiese din fig.1.7 la slăbirea continuă a câmpului, într-un interval mare al vitezelor, de la  $V_{\max cp}$  până la  $V_{\max cs}$ , asigură un curent constant sau aproape constant, și deci la caracteristici diferite ale motoarelor, diferența între curenți este nesemnificabilă. Prin aceasta se evită patinarea roților și se poate utiliza total puterea motoarelor.

## CAPITOLUL - 2

STUDIUL SISTEMELOR DE SLĂBIRE  
CONTINUĂ A CÎMPULUI LA MOTOARELE  
ELECTRICE DE TRACȚIUNE CU EXCITAȚIE  
SERIE.

## 2.1. SISTEME DE REALIZARE A SLĂBIRII CONTINUI A CÎMPULUI MOTOARELOR ELECTRICE DE TRACȚIUNE CU EXCITAȚIE SERIE

### 2.1.1. Clasificarea sistemelor

Prin construcția sa, motorul electric de tracțiune cu excitație serie este o mașină autoreglatoare și are o dependență rigidă a curentului de excitație de curentul din inus, ceea ce împiedică în mare măsură utilizarea unor sisteme simple de reglare continuă a cîmpului. Cu toate acestea, necesitatea îmbunătățirii performanțelor locomotivelor diesel electrice, precum și condițiile tehnico-științifice create pînă la ora actuală determină posibilitatea de a îmbina avantajele evidente ale motorului serie de tracțiune cu slăbirea continuă de cîmp, fără a crea complicații de ordin tehnic în schemele de comandă ale locomotivei.

Din studiile și cercetările întreprinse au rezultat o serie de sisteme posibile de aplicat, care pot fi grupate, după felul cum se realizează slăbirea continuă a cîmpului, în două grupe principale:

- sisteme de reglare cu mașini, și
- sisteme de reglare prin variatoare de tensiune continuă cu tiristoare.

Aceste sisteme de reglare continuă a cîmpului se pot aplica pentru toate tipurile de motoare electrice de tracțiune de curent continuu, utilizate fie în transmisia electrică în curent continuu și curent alternativ de pe locomotivele diesel, fie la locomotive electrice, fie pe mijloacele electrice de tracțiune urbană.

### 2.1.2. Sisteme de reglare continuă cu mașini a cîmpului motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie

#### 2.1.2.1. Principiul de reglare

La baza reglării continue cu mașini a cîmpului stau legile circuitelor electrice de curent continuu.



În fig.2.1 este redat principiul alimentării independente a înfășurării de excitație de la o excitatrice Ex. Această reglare este posibilă prin executarea unor comutări în schemă pentru a separa electric înfășurările de excitație față de indus.

Reglînd continuu excitația excitatricei, se obține efectul de reglare continuă a fluxului circuitului magnetic al motorului de tracțiune.

Constructiv excitatricea poate fi cu o înfășurare sau cu mai multe înfășurări, dependent de sistemul de comandă ce se adoptă.

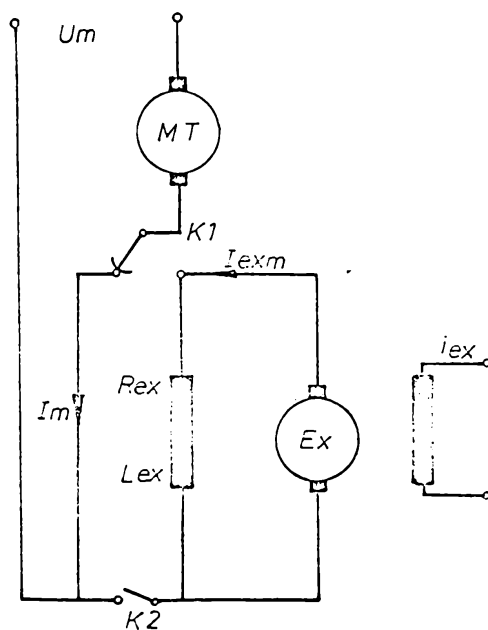


Fig. 2.1

În fig.2.2 este redat principiul slăbirii continue a fluxului înfășurării ( $R_{ex}$   $L_{ex}$ ) a motorului electric de tracțiune prin șuntare cu un motor electric  $M_c$ , care absoarbe un curent  $i_s$ .

Conform teoremei întâi a lui Kirchhoff pentru nodul A avem:

. / .

$$I_m = I_{ex} + i_s \quad (2.1)$$

unde:

$$I_{ex} = I_m - i_s \quad (2.2)$$

Pentru reducerea sau creșterea sarcinii motorului  $M_c$  se reduce sau crește curentul  $i_s$  și prin urmare scade sau crește curentul de excitație  $I_{ex}$  slăbind sau întărind fluxul circuitului magnetic al motorului.

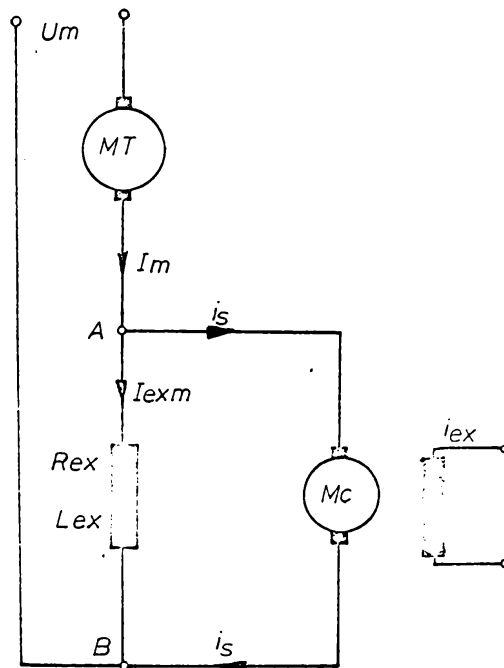


Fig.2.2

În fig.2.3 este redat principiul reglării continue a cîmpului dat de înfășurarea ( $R_{ex}$ ,  $L_{ex}$ ) prin aplicarea la bornele acesteia a unei tensiuni electromotoare inverse de la sursă "E<sub>x</sub>". Prin aceasta curentul de excitație rezultat în înfășurarea de excitație ( $R_{ex}$ ,  $L_{ex}$ ) variază în funcție de curentul

$i_s$  ce-l debitează în circuit excitatricea Ex ca și în cazul precedent.

Curentul  $i_s$  ce-l debitează excitatricea "Ex" poate fi reglat prin variația excitației excitatricei.

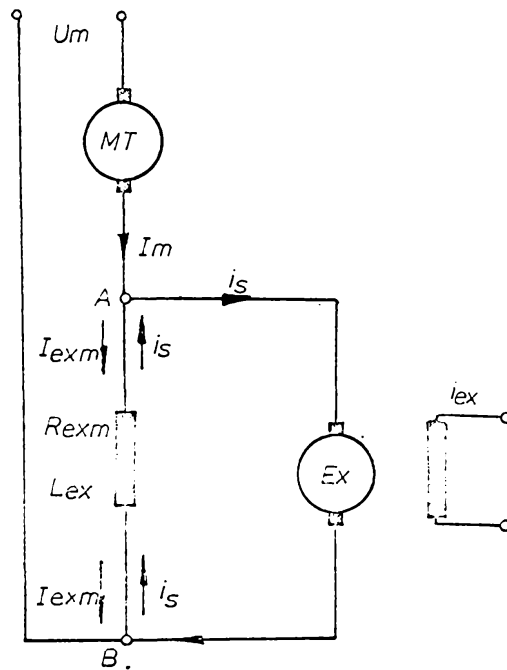


Fig. 2.3

#### 2.1.2.2. Schema S.I. cu excitatrice de reglare a cîmpului

În schema obișnuită, a instalației de forță a locomotivei diesel se leagă o excitatrice de curent continuu, antrenată de motorul diesel.

Caracteristica externă, a acesteia se alege dependent de parametrii admiși, pentru efectuarea reglării cîmpului motoa-

relor, iar în funcție de aceasta se alege și construcția ei.

Când regimul de tracțiune, cere mărirea vitezei locomotivei prin slăbirea fluxului motoarelor electrice, se fac comutări în schema electrică de forță prin care motorul electric de tracțiune cu excitație serie, devine cu excitație independentă, alimentat de la excitatrica de curent continuu.

O astfel de schemă este prezentată în fig.2.4 și funcționează după următorul principiu:

La sarcini mari (pornire, mers în rampă, mers cu viteză redusă), contactul "K1" este închis și motoarele de tracțiune M1-M6 au excitație serie. Pentru ramura "1" circuitul este următorul:

- borna "+" a generatorului de tracțiune GT-
- nodul "1" - motoarele de tracțiune M1-M2 -
- nodul "2" - contactul "K1" - borna (-) a generatorului GT.

Pentru celelalte două ramuri 2 și 3 circuitele sînt identice.

În regimul de viteze mari, cînd curentul de sarcină se reduce și tensiunea generatorului se apropie de cea maximă (excitație maximă a generatorului) motoarele de tracțiune sînt comutate pe excitație independentă cu alimentare de la excitatrica "Ex".

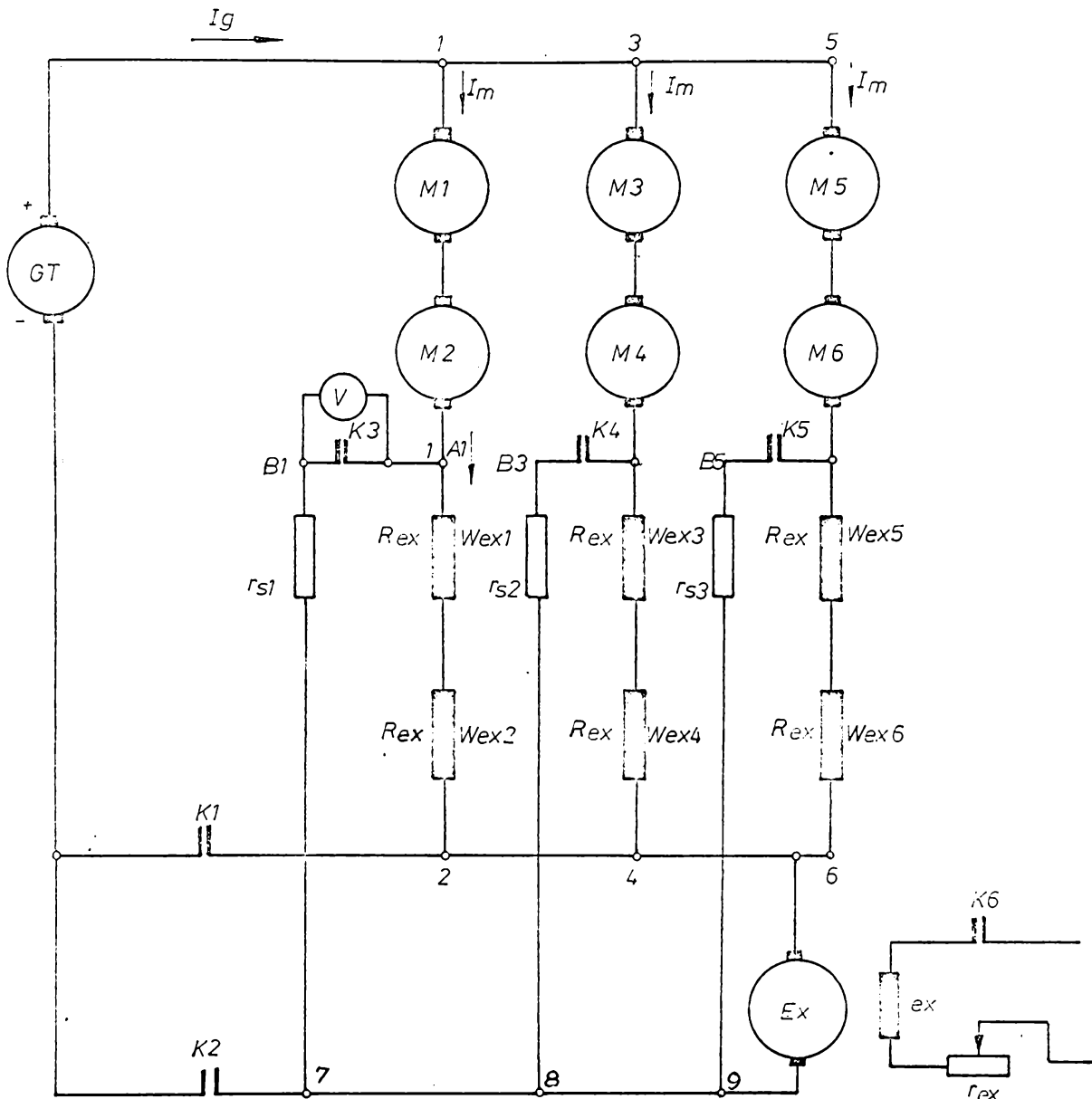
Etapele de comutare în schemă se realizează conform tabelii (2.1).

Important este ca închiderea contactelor  $K_3$ ,  $K_4$  și  $K_5$  să se facă în momentul cînd diferența de potențial la bornele lor (punctele A-B) este nulă realizîndu-se astfel trecerea la alimentarea excitației motoarelor de la o sursă separată, excitatrica "Ex" pe circuitele:

- borna (+) a generatorului GT - nodul 1 - rotoarele motoarelor de tracțiune - M1-M2 - contactul  $K_3$  - rezistența de limitare  $r_{s1}$  - nodul 7 - contactul  $K_2$  - borna (-) a generatorului GT.

Circuitele sînt similare și pe celelalte două ramuri dintre nodurile 3-8 și 5-9.

Comutarea făcîndu-se la potențiale zero, între punctele A-B ale celor trei circuite (închiderea contactelor  $K_3$ ,  $K_4$



Tabelo 21

FFLUL EXCITATIEI	CONTACTOARE					
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
SERIE	+					
TRECERE 1	+	+				
TRECERE 2		+				
TRECERE 3		+				+
INDEPEND.		+	+	+	+	+

Fig.2.4

și  $K_5$ ), nu se produce nici o schimbare a curenților din înfășurările de excitație și în indusuri [8] .

Dacă înainte de comutare, motoarele de tracțiune au funcționat pe caracteristica 1 din fig.2.5 la turația  $n_1$ , atunci după comutare, începînd cu punctul "A", motoarele vor funcționa pe caracteristica 8.

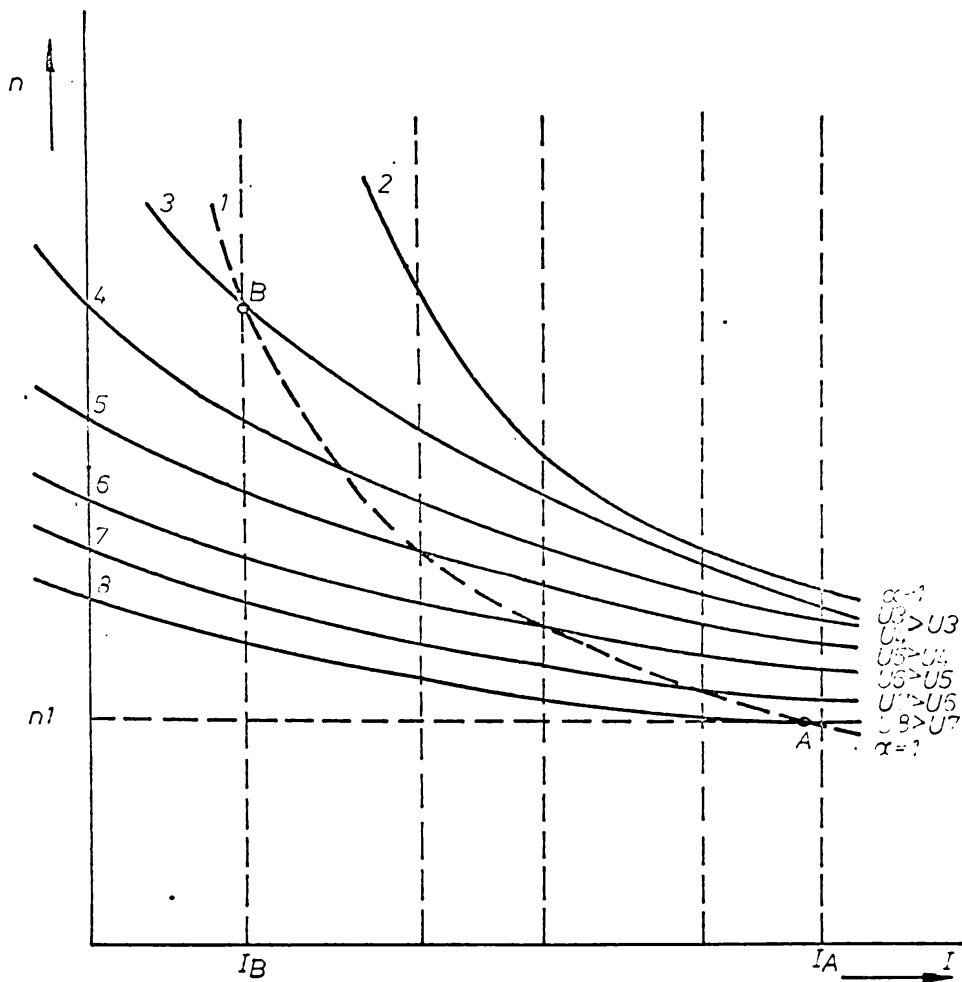


Fig. 2.5

În cazul cînd, rezistențele de stabilizare  $r_s$  1,2,3 sînt conectate și înfășurarea de excitație a excitatricei  $E_x$  este deconectată, motorul lucrează cu excitație serie dar cu

. / .

cîmp slăbit.

Coeficientul de slăbire a cîmpului din relația (1.10) este:

$$\alpha = \frac{I_{ex}}{I_m} \quad \text{sau} \quad I_{ex} = \alpha I_m \quad (2.3)$$

Pentru oricare din cele trei circuite de excitație a motoarelor de tracțiune se poate scrie:

$$I_m (1 - \alpha) r_s = \alpha I_m \cdot 2 R_{ex} + 3\alpha I_m \cdot r_{iex} + E_{ex} \quad (2.4)$$

de unde:

$$\alpha = \frac{I_m r_s - E_{ex}}{I_m r_s + 2R_{ex} + 3r_{iex}} \quad (2.5)$$

unde:

- $r_s$  - rezistența de stabilizare în  $[\Omega]$
- $r_{iex}$  - rezistența interioară a excitatricei în  $[\Omega]$
- $R_{ex}$  - rezistența înfășurării de excitație a motorului în  $[\Omega]$

Gradul maxim de slăbire a cîmpului se va obține cu rezistențele  $r_s$  în circuit și cu excitația excitatricei decuplată prin "K<sub>0</sub>", vom avea:

$$\alpha = \frac{r_s}{r_s + 2R_{ex} + 3r_{iex}} \quad (2.6)$$

Caracteristica motorului în acest regim este reprezentată de curba 2 în fig.2.5.

Curbele 3-8 reprezintă caracteristicile motorului la diferite valori ale t.e.m. a excitatricei  $E_x$ . Toate caracteristicile din fig.2.5 sînt construite pentru tensiune constantă a generatorului. Punctele de intersecție a curbei 1 cu caracteristicile 3-8 corespund regimurilor, cînd  $I_{ex} = I_m$  sau  $i_s = 0$ . Trecerea de la excitația serie la cea independentă și invers fără șoc a forței de tracțiune este posibilă în orice punct al intersecției caracteristicii 1 cu una din caracteristicile 3-8, adică la oricare curenți de la  $I_B$  la  $I_A$ . Este necesar numai ca pentru fiecare valoare a curentului  $I_m$  să fie aleasă valoarea t.e.m. a excitatricei.

$$E_{ex} = I_m (2 R_{ex} + 3r_{iex}) \quad (2.7)$$



la care diferența de potențial la contactele 3,4,5 este zero.

Reglarea continuă a fluxului motoarelor se poate ușor automatiza, prin variația lină a t.e.m. a excitatricii  $E_x$ , în care caz, pentru mărirea vitezei se reduce tensiunea excitatricii.

### 2.1.2.3. Determinarea parametrilor excitatricii

În cazul locomotivei LDE 060-DA-1, trecerea de la cîmp plin la cîmp slăbit a motoarelor se face la un curent de  $I_m \text{ min} = 500 \text{ A}$ .

Rezistența înfășurărilor de excitație este  $R_{ex} = 0,0072 [\Omega]$  iar rezistența înfășurărilor rotorului excitatricii  $r_{iex}$  se poate aproxima la  $0,01 \Omega$ .

Se poate scrie:

$$E_{ex} = \Delta U_{ex} + \Delta U_{iex} \quad (2.8)$$

Puterea e.m. a excitatricii se obține:

$$3 I_m E_{ex} = 3 I_m \Delta U_{ex} + 3 I_m \Delta U_{iex} \quad (2.9)$$

Luînd în considerare un randament e.m.  $0,7$  se poate scrie:

$$3 I_m \Delta U_{iex} = (1-0,7) 3 I_m E_{ex}$$

sau

$$3 I_m \Delta U_{iex} = 0,9 I_m E_{ex}$$

Deci:

$$E_{ex} = \frac{6 I_m R_{ex}}{2,1} = \frac{6 \cdot 500 \cdot 0,0072}{2,1} = 10,60 [V] \quad (2.9)$$

$$U_{iex} = 0,3 E_{ex} = 0,3 \times 10,6 = 3,18 [V] \quad (2.10)$$

Rezistența internă rotorică a excitatricii

$$r_{iex} = \frac{\Delta U_{iex}}{3 I_m} = \frac{3,18}{3 \cdot 500} = 0,002 [\Omega] \quad (2.11)$$

iar

$$\Delta U_{ex} = 10,6 - 3,18 = 7,4 [V]$$

Puterea debitată de excitatrice în instalație:

$$P_{ex} = 3 I_m \Delta U_{ex} = 3 \cdot 500 \cdot 7,4 = 11.000 [W] \quad (2.12)$$

. / .

Puterea preluată de la motorul diesel:

$$P = \frac{P_{ex}}{\eta_{em} \eta_m} = \frac{11.000}{0,7 \cdot 0,8} = 19.700 [W] \quad (2.13)$$

unde:

$\eta_{em}$  - randamentul electromagnetic

$\eta_m$  - randamentul mecanic

Se observă deci, că în această situație se descarcă generatorul principal, respectiv motorul diesel cu 11 kW preluând sarcina de alimentare a excitațiilor dar se încarcă motorul diesel cu 19,7 kW.

În final, după terminarea procesului de slăbire a câmpului ajungându-se la un  $\alpha_{min} = 0,3$  vom avea la un  $I_m = 500 [A]$ :

$$I'_m = \alpha_{min} \cdot I_m = 0,3 \times 500 = 150 [A]$$

Curentul prin rezistențele de stabilizare va fi:

$$I_s = 350 [A]$$

Excitatricea fiind complet deseexcitată putem scrie:

$$I_s \cdot r_s = I'_m \cdot 2 R_{ex} + 3 I'_m \cdot r_{iex} \quad (2.14)$$

Rezistența de stabilizare va avea valoarea:

$$r_s = \frac{I'_m}{I_s} (2 R_{ex} + 3 r_{iex}) = \frac{150}{350} (2 \cdot 0,0072 + 3 \cdot 0,002) = 0,009 [\Omega] \quad (2.15)$$

Puterea disipată pe rezistențele de stabilizare:

$$\Delta P_{rs} = 3 I_s^2 \cdot r_s = 3 \times 350^2 \times 0,009 = 3320 [W] \quad (2.16)$$

Puterea disipată pe excitatrice:

$$\Delta P_{ex} = (3 I'_m)^2 \cdot r_{iex} = 450^2 \cdot 0,002 = 406 [W] \quad (2.17)$$

Pierderi mecanice:

$$\Delta P_m = P_{ex} (1 - \eta_m) = 11.000 (1 - 0,8) = 2200 [W]$$

$$\sum \Delta P = \Delta P_{rs} + \Delta P_{ex} + \Delta P_m = 5926 [W] \quad (2.18)$$

. / .

În baza determinărilor făcute parametrii de calcul ai generatorului utilizabil ca excitatrice în această schemă vor fi:

- Turăție nominală:  $n_n = 750$  [rot/min] (mot. diesel)
- Tensiune de mers în gol  $U = 15$  [V]
- Putere nominală  $P_{\text{exn}} = 11$  [kW]
- Curent nominal  $I_{\text{exn}} = 1500$  [A]
- Randament  $\eta_{\text{ex}} = 0,56$

Problema grea prezintă executarea unui astfel de generator care să aibă un colector suficient de mare și un randament corespunzător. În cazul unui randament mai prost (rezistență internă mai mare) se va modifica și valoarea rezistențelor de stabilizare.

În cazul mașinilor electrice cu tensiuni pînă la 6 V [9] se utilizează perii din amestec de bronz și grafit (M K<sub>1</sub>) cu următoarele proprietăți:

- $\rho$  - Rezistivitatea  $0,8$  [ $\Omega$  mm<sup>2</sup>/m]
- $j$  - Densitatea de curent:  $25-30$  [A/cm<sup>2</sup>]
- $U$  - Căderea de tensiune la o pereche de perii:  $0,4$  [V]
- $p_{\text{sp}}$  - Presiunea:  $0,15$  [kgf/cm<sup>2</sup>]
- $V$  - Viteza periferică:  $25$  [m/sec]
- $\mu$  - Coeficientul de frecare:  $0,15$

Conform acestor date ar rezulta:

$$\text{- Secțiunea periiilor: } S_p = \frac{3 \cdot I_m}{j_p} = \frac{3 \cdot 500}{30} = 50 \text{ [cm}^2\text{]} \quad (2.19)$$

- Rezistența la perii:

$$r_1 = \frac{\Delta U_p}{3 \cdot I_m} = \frac{0,4}{3 \cdot 500} = 0,00027 \text{ [\Omega]} \quad (2.20)$$

Rămîne pentru restul bobinajului:

$$r_{\text{bob}} = r_{\text{lex}} - r_p = 0,002 - 0,00027 = 0,00173 \text{ [\Omega]} \quad (2.21)$$

unde:

$r_p$  - rezistența de trecere la perii în [ $\Omega$ ]  
Diametrul colectorului maxim:

. / .

$$D_c = \frac{60 V}{\pi \cdot n} = \frac{60 \times 25}{3,14 \cdot 750} = 0,64 \text{ [m]} \quad (2.22)$$

Această valoare bincînyeles, poate fi redusă funcție de posibilitățile de amplasare a periiilor.

Pierderile la colector rezultă din:

Forța totală de apăsare

$$F = 2 \cdot S_p \cdot p_{sp} = 2 \cdot 50 \times 0,15 = 15 \text{ [kgf]}$$

Forța de frecare

$$N = \mu \cdot F = 0,15 \cdot 15 = 2,25 \text{ [kgf]} \quad (2.23)$$

Puterea maximă pierdută (la viteza periferică maximă):

$$\Delta P_c = N \cdot v = 2,25 \times 25 = 56,25 \text{ [W]} \quad (2.24)$$

Aceasta duce la un randament mecanic de:

$$\eta_m = 0,95 \frac{P_{exn} - \Delta P_c}{P_{exn}} = 0,95 \frac{11.000 - 56,25}{11.000} = 0,9 \quad (2.25)$$

Coeficientul 0,95 ține cont de pierderile în lagăre.

Din cele de mai sus rezultă că există posibilitatea executării unui generator corespunzător.

Schema descrisă are avantajul, că, utilizează mașini care sînt cunoscute ca și comportare în exploatare și nu pretinde o calificare superioară a personalului de întreținere și reparații. Comanda ei este simplă, utilizînd aparataje existente pe locomotivă, care este și rezistent la șocuri și vibrații și se fabrică în țară. Toate procesele de comandă se pot automatiza.

Ca dezavantaje principale sînt cele aferente mașinilor rotative de curent continuu: uzura pieselor în mișcare cere întreținere permanentă, colectorul un organ dificil, inerție destul de mare în preluarea fenomenelor, datorită modificărilor ce survin în funcționarea transmisiei electrice.

#### 2.1.2.4. Schema de reglare prin șuntarea înfășurărilor cu un motor electric de c.c.

În principiu, schema are la bază preluarea unei părți din curentul motoarelor și alimentarea unui motor de c.c. cuplat la axul motorului diesel. Încărcarea motorului, care funcționează

tot timpul la turația motorului diesel (750 rot/min), este reglată prin excitația lui. Aceasta este alimentată, comandat de un regulator separat, de la o sursă de 175 sau 24 V.c.c. existentă pe locomotivă.

Schema unei astfel de instalații este prezentată în fig.2.6.

În momentul cuplării contactorului  $K_1$ , mașina "M<sub>aux</sub>" lucrează ca generator în gol. Excitația lui, după cuplarea contactorului  $K_2$ , îi asigură o tensiune la borne egală cu căderea de tensiune de pe două excitații înseriate ale motoarelor de tracțiune. Astfel, diodele  $D_1, D_2, D_3$  rămân blocate. Tensiunea indusă necesară este:

$$E_{aux} = 2 I_m R_{ex} = 2.500 \times 0,0072 = 7,4 [V] \quad (2.26)$$

În timpul procesului de slăbire a cîmpului se scade această tensiune prin reglarea excitației, mașina lucrînd în regim de motor.

#### 2.1.2.5. Determinarea parametrilor motorului de reglare pentru locomotivă

Pentru a reduce pe cît posibil dimensiunile acestei mașini auxiliare, este indicat ca la slăbirea maximă de cîmp ( $\alpha = 0,3$ ) excitația să fie apropiată de zero. Dar pentru a avea posibilitatea comandării prin regulator a sistemului, în cazul variației rezistenței la perii mașinii, este preferabil ca excitația să fie redusă pînă la o tensiune minimă de 0,4 V comparabilă cu căderea de tensiune pe sistemul de perii utilizat în general la astfel de mașini.

Curentul luat de motorul auxiliar de reglare în aceste condiții va fi:

$$I_{aux} = 3 \cdot (1 - \alpha) I_m = 3 \times (1 - 0,3) 500 = 1050 [A] \quad (2.27)$$

Căderea de tensiune pe două excitații înseriate ale motoarelor de tracțiune este:

$$\Delta U_{ex} = 2 \alpha I_m R_{ex} = 2 \times 0,3 \times 500 \times 0,0072 = 2,16 [V] \quad (2.28)$$

. / .

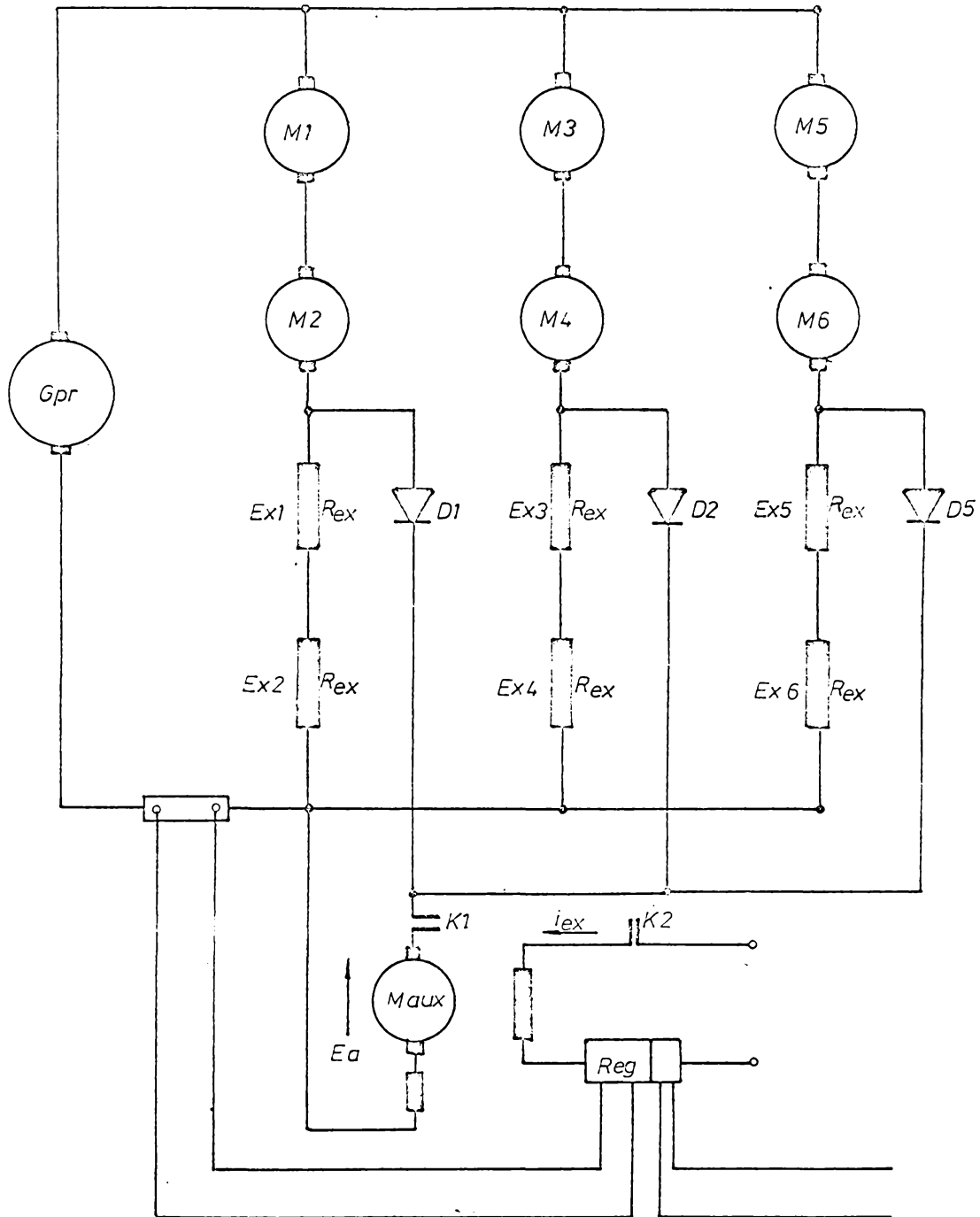


Fig. 2.6

Utilizând ca supape  $D_1, D_2, D_3$  diode cu siliciu de tip 151 (două în paralel) căderea de tensiune  $\Delta U_d$  pe acestea la momentul minim va fi în jur de 0,8 V.

Căderea de tensiune la bornele motorului va fi deci:

$$\Delta U_{aux} = \Delta U_{ex} - \Delta U_d = 2,16 - 0,8 = 1,36 [V] \quad (2.29)$$

La astfel de mașini [9] se poate considera o cădere de tensiune pe perii de  $\Delta U_p = 0,4$  V, astfel că vom avea o cădere de tensiune pe bobinajul indusului:

$$\begin{aligned} 3(1-\alpha) I_m r_{iaux} &= \Delta U_{aux} - \Delta U_p - E_{aux} \\ &= 1,36 - 0,4 - 0,4 = 0,56 [V] \end{aligned} \quad (2.30)$$

Rezultă rezistența internă a indusului mașinii și a înfășurărilor de comutație:

$$r_{iaux} = \frac{0,56}{3 \cdot 0,7 \cdot 500} = 0,00053 [\Omega]$$

Puterea preluată de motor din instalație:

$$P_{aux} = 3(1-\alpha) I_m (\Delta U_{ex} - \Delta U_d) [W] \quad (2.31)$$

Introducând în (2.31) valorile

$$\Delta U_{ex} = 2 \cdot \alpha \cdot I_m R_{ex}$$

$$\Delta U_d = 0,8 [V] \quad \text{se obține:}$$

$$\begin{aligned} P_{aux} &= 3(1-\alpha) I_m (2\alpha I_m R_{ex} - 0,8) = \\ &= -6 I_m^2 R_{ex} \alpha^2 + (6 I_m^2 R_{ex} + 2,4 I_m) \alpha - 2,4 I_m \end{aligned}$$

$$\frac{dP_{aux}}{d\alpha} = -12 I_m^2 R_{ex} \alpha + 6 I_m^2 R_{ex} + 2,4 I_m$$

Rezolvând ecuația în funcție de  $\alpha$  rezultă:

$$\alpha = \frac{6 I_m R_{ex} + 2,4}{12 I_m R_{ex}} = \frac{6 \cdot 500 \cdot 0,0072 + 2,4}{12 \cdot 500 \cdot 0,0072} = 0,555 \quad (2.32)$$

Deci puterea preluată de motor prezintă un maxim la

$$\alpha = 0,555 \cdot P_{aux} = 3(1-0,555) \cdot 500 (2 \cdot 0,555 \cdot 500) (0,0072 - 0,8) = 2130 [W]$$

Puterea pierdută pe diode este maximă la  $\alpha = 0,3$ .

$$\Delta P_d = 3 I_m (1-\alpha). \quad U_d = 1050 \times 0,8 = 840 [W] \quad (2.33)$$

În regim continuu la slăbirea maximă de câmp puterea preluată de motor va fi:

$$\Delta P_a = 3 I_m (1-\alpha) \Delta U_{aux} = 1050 \times 1,36 = 1430 [W] \quad (2.34)$$

Din acestea pierderile interne electromagnetice sînt:

$$\Delta P_{ael} = 3 I_m (1-\alpha) (\Delta U_p + \Delta U_{ia}) = 1050 \times (0,4 + 0,56) = 1000 [W] \quad (2.35)$$

Puterea utilă recuperată ținînd cont de un randament mecanic de 0,9:

$$P_{ar} = \eta_m (\Delta P_{ax} - \Delta P_{ael}) = 0,9 (1430 - 1000) = 387 [W] \quad (2.36)$$

Din cele de mai sus rezultă că, această schemă nu asigură o recuperare substanțială a energiei preluate de la înfășurările de excitație a instalațiilor de tracțiune. Diferența dintre ea și sistemul cu rezistențe de șuntare a excitației, constă doar în posibilitatea slăbirii continue fără salturi a câmpului.

Totuși, față de schema cu excitatrice prezintă unele avantaje mari:

- Colectorul de dimensiuni mai mici, curentul maxim fiind 1050 A în loc de 1500 A respectiv necesită o mașină electrică de putere mai mică, deoarece nu preia inutil sarcini mari din circuitul de forță al instalației, pe care să le transforme apoi cu un randament scăzut, ca în cazul precedent.

- Comanda motorului va fi mult mai simplă și sistemul va prezenta o inerție mai mică în regim dinamic.

- Parametrii de calcul a unui astfel de motor sînt:

Turație nominală  $n_{an} = 750 [rot/min]$

Putere nominală  $P_{an} = 2130 [W]$

Rezistență internă  $r_{ia} = 0,0009 [\Omega]$

Curent de durată  $I_{ad} = 1050 [A]$



Tensiune indusă la  
excitație maximă

$$U_{aux} = 8 - 10[V]$$

Excitație separată la o sursă de c.c. de 24[V]

2.1.3. Sisteme de reglare continuă a fluxului motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie cu variatoare de tensiune continuă

2.1.3.1. Principiul de reglare cu tiristoare

Variatoarele de tensiune continuă au în componența lor, ca elemente principale, tiristoarele.

Principiul de funcționare al unei reglări cu tiristoare [10] poate fi demonstrat pe baza schemei din fig.2.7.

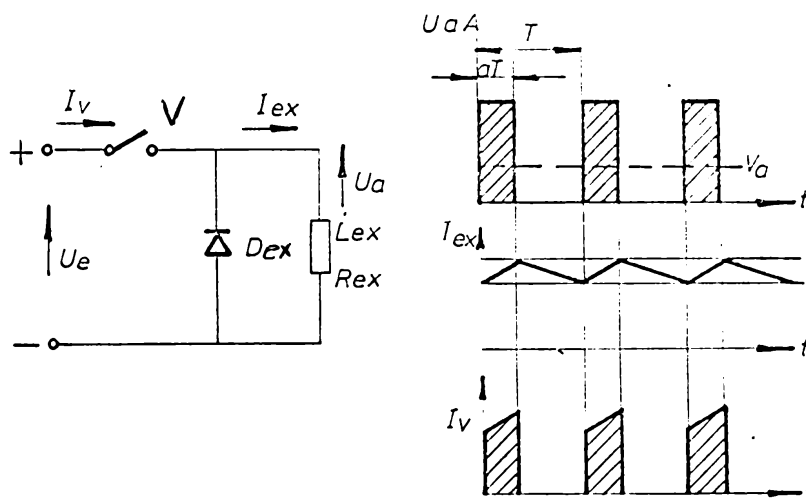


Fig.2.7

Alimentarea în schemă se face de la o sursă de tensiune continuă  $U_e$  iar ca sarcină este prevăzută o inductanță  $L_{ex}$  și o rezistență  $R_{ex}$  corespunzătoare înfășurărilor de excitație ale unui motor electric de tracțiune. Alimentarea sarcinei se face printr-un întrerupător electronic "V" (variator de tensiune continuă cu tiristoare).

În paralel cu sarcina este montată o diodă  $D_{ex}$  de descărcare.

Întrerupătorul electronic "V" este închis în mod regu-

lat la intervale de timp egale cu  $T$  și rămâne închis pe o perioadă de timp:

$$T_c = a \cdot T \quad (2.37)$$

unde:

$T$  - perioada de comutare

$a$  - raportul ciclic

Pe sarcină se aplică, periodic o tensiune egală cu tensiunea de alimentare în timpul unei durate  $a \cdot T$  și o tensiune nulă în timpul unei durate egale cu  $(1-a)T$ .

Întrucît, sarcina este inductivă, curentul prin ea  $I_{ex}$  nu poate fi întrerupt în timpul  $T_c = a \cdot T$ , pînă nu se deschide întrerupătorul.

Deschiderea întrerupătorului, respectiv stingerea tiristorului se realizează în mod forțat prin aplicarea unui impuls de curent de sens contrar curentului de sarcină, reducîndu-l pe acesta pînă la zero.

Acest impuls, fiind de scurtă durată, se ia de la o sursă suplimentară de energie - un condensator încărcat.

Dioda  $D_{ex}$  permite circulația curentului prin sarcină pînă cînd întrerupătorul "V" este deschis și dacă constanta de timp  $L_{ex} / R_{ex}$  a sarcinei este suficient de mare, în raport cu perioada de comutare, curentul nu se anulează în aceasta.

Pe perioada cît întrerupătorul "V" este închis, curentul de sarcină  $I_{ex}$  crește [11] după următoarea lege:

$$U_e = L_{ex} \frac{d I_{ex}}{dt} + R_{ex} I_{ex} \quad (2.38)$$

Pe perioada cît întrerupătorul este deschis, curentul de sarcină  $I_{ex}$  scade după următoarea lege:

$$0 = L_{ex} \frac{d I_{ex}}{dt} + R_{ex} I_{ex} \quad (2.39)$$

În acest ultim caz, tensiunea de la bornele sarcinei este negativă și este egală cu căderea de tensiune din dioda de descărcare.

Tensiunea medie de la bornele sarcinei va fi:

$$U_a = \frac{1}{T} \int_0^{T_c} \frac{T_e}{U_e} \cdot dt = a \cdot U_e = \frac{T_c}{T} \quad U_e = f \cdot T_e \cdot U_e$$

. / .

sau făcînd descompunerea în serie Fourier [12], rezultă:

$$U_a = \frac{2U_e}{\pi} \left[ \frac{\omega T_e}{4} + \frac{\sin \frac{\omega T_e}{2}}{1} \sin \omega t + \frac{\sin 2 \frac{\omega T_e}{2}}{2} \sin 2\omega t + \frac{\sin 3 \frac{\omega T_e}{2}}{3} \sin 3\omega t \right]. \quad (2.40)$$

Această tensiune, rezultată, determină curentul mediu care circulă prin sarcină.

Din reglajul raportului ciclic "a" se poate regla tensiunea medie de la bornele sarcinei și ca atare curentul prin aceasta.

Pornind de la o tensiune continuă de alimentare, întrerupătorul electronic permite să alimenteze sarcina cu tensiunea variabilă. Din fig.2.7 se constată că această tensiune variabilă este realizată "tăind" tensiunea de alimentare în impulsuri rectangulare de durată aT.

Comanda întrerupătorului electronic se poate face în trei feluri:

Se adoptă o frecvență constantă de tăiere  $f = \frac{1}{T}$  și se face să varieze durata de închidere a întrerupătorului electronic de la  $t = 0$  pînă la  $t = T$ .

Al doilea mod, constă în găsirea unei durate constante de închidere T și variația frecvenței de închidere f.

Al treilea mod, constă în adoptarea unei frecvențe și a duratei variabile, aceasta pentru echipamentul de vehicule alimentate de la linie de contact de c.c., pentru ca să se reducă dimensiunile filtrului de rețea. Se știe că în lipsa filtrului de rețea [13], pentru o anumită poziție a vehiculului pe traseu și a frecvenței variatorului, apar rezonanțe de tensiune care pot ajunge practic la circa (8-10)  $U_{rețea}$ . În plus, din experimentările făcute de I.C.P.E. [14] și I.T.T. [15] s-a observat că variațiile de tensiune la bornele condensatorului din filtru, depind mult de raportul ciclic "a" și numai în cazul cînd  $a \cong \frac{1}{2}$  se obține de fapt o variație maximă conform graficului din fig.2.8.

Rezultă că este rentabil ca în jurul valorii lui  $a \cong 0,5$  variatorul să aibe frecvență ridicată iar la extremități pentru  $a < 0,2$  și  $a > 0,8$  să fie frecvență coborîată pentru obținerea unei

game bune de reglaj.

Prima metodă de comandă este cunoscută sub denumirea de comandă prin lăţimea impulsurilor iar a doua ca, comandă prin frecvenţa impulsurilor [10] .

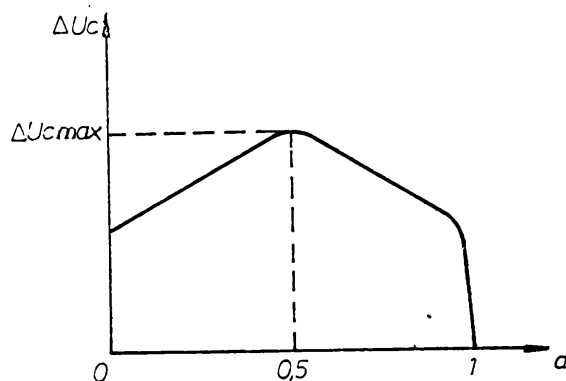


Fig.2.8

La ora actuală, se cunosc o serie de scheme de bază, pentru variatoarele de tensiune continuă [10] [16] [17] [18] , care diferă unele de altele prin încărcarea condensatorului de stingere independent sau prin sarcină, prin numărul de tiristori auxiliari utilizați, prin locul ce-l ocupă în schemă circuitul de stingere, față de tiristorul principal etc.

Alegerea uneia sau alteia din aceste scheme, depinde de mulți factori printre care, cei mai importanți sînt: economicitatea, siguranța în funcționare, simplitatea schemei și scopul utilizării.

Pentru reglarea continuă a fluxului motoarelor electrice de tracțiune, aceste scheme nu pot fi utilizate decît principial, întrucît acestea prevăd conectarea în serie cu sarcină a tiristorului principal, iar pentru cazul cercetat, tiristorul principal trebuie montat în paralel cu sarcina (înfășurările de excitație).

. / .

O problemă deosebită, în acest caz, o pune circuitul de stingere al tiristorului principal, întrucât tensiunea la care se lucrează este foarte mică, egală doar cu căderea de tensiune de pe înfășurările de excitație a unui motor sau a două motoare legate în serie, implicând în montaj o baterie mare de condensatoare.

Din această cauză, este necesară conceperea unei alte scheme, care să nu prezinte acest mare inconvenient.

Alegerea mai precisă a uneia sau alteia din variante se poate face după un studiu amănunțit al fiecărei scheme atât teoretic, cât și practic.

În fig.2.9 este prezentată schema principală de amplasare a variatorului în circuitul de forță.

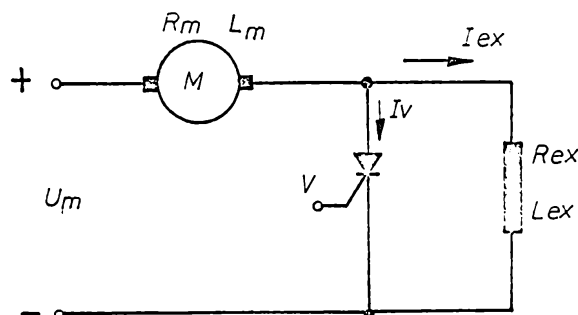


Fig.2.9

Cu ajutorul unui asemenea montaj este posibilă variația continuă între valorile  $I_{ex \text{ nom}}$  și  $I_{ex \text{ minim}} = 0$  a curentului de excitație, care depinde de durata relativă de conducție "a" prin relația:

$$I_{ex} = I_m (1-a) \quad (2.41)$$

La  $a = 1 \Rightarrow I_{ex} = 0$ , adică tiristorul fiind permanent deschis șuntază total înfășurarea de excitație, obținându-se cea mai adâncă slăbire de câmp  $\alpha = 0$ . În practică nu este per-

. / .

nis să se atingă această valoare și se pune o rezistență de limitare, în caz că variatorul rămîne aprins.

Variatorul de tensiune continuă cu tiristoare de tipul cu condensator de oscilație alimentat independent, rămîne însă rar aprins (acest lucru s-a constatat în exploatarea tramvaiului cu tiristoare la I.T.C.V.T.T. [15] și troleibuz cu tiristoare la I.T.B. [13]).

La  $a = 0 \Rightarrow I_{ex} = I_m$ , adică tiristorul este blocat și curentul  $I_m$  circulează integral prin înfășurarea de excitație, obținîndu-se funcționarea fără slăbire de cîmp,  $\alpha = 1$ .

Tensiunea aplicată pe variator este egală cu căderea de tensiune de pe înfășurarea de excitație.

Cum în general, rezistențele de excitație au valori foarte mici, rezultă că variatorul va lucra la tensiuni mici.

Puterea maximă comandată de variator poate fi determinată cu relația:

$$P_T = \Delta U_{R_{ex}} I_T \text{ max} \quad (2.42)$$

unde:  $I_T = (1-a) I_{ex}$  - intensitatea curentului electric prin tiristorul principal [A];

$\Delta U_{R_{ex}} = I_{ex} R_{ex}$  - căderea de tensiune pe înfășurările de excitație - [V].

Înlocuind în expresia (2.42) valorile lui  $I_T$  și  $U_{R_{ex}}$  rezultă:

$$P_T = (1-a) R_{ex} I_{ex}^2 \quad (2.43)$$

În cazul locomotivei diesel electrice 060-DA1, la care motoarele electrice de tracțiune GDT M-533 sînt conectate cîte două, în serie, variatorul va comanda simultan două înfășurări, a căror rezistență este  $R_{ex} = 0,034[\Omega]$ .

Curentul maxim la care se începe reglarea este  $I_{ex} = 500$  A deci rezultă o putere maximă comandată la  $a = 0$ , de:

$$P_T = R_{ex} \cdot I_{ex}^2 = 0,034 \cdot 500^2 = 8,5 [\text{kW}] \quad (2.41)$$

Căderea maximă de tensiune va fi de:

$$\Delta U_{R_{ex} \text{ max}} = R_{ex} \cdot I_{ex} = 0,034 \cdot 500 = 17 [\text{V}] \quad (2.45)$$

. / .

Căderea minimă de tensiune, la  $a = 0,75$  respectiv  $\alpha_{\min} = 0,25$  rezultă:

$$U_{\text{rex min}} = 0,034 \cdot 500 \cdot 0,25 = 4,25 [V]$$

În continuare sînt studiate schemele cu tiristoare pentru reglarea continuă a fluxului motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie.

### 2.1.3.2. Scheme de reglare cu circuite de comutație în paralel

La astfel de schema t.e.m. " $E_k$ " de impuls a comutației, se introduce în paralel la tiristorul cî se blochează (fig.2.10) sau în paralel cu sarcina (fig.2.11).

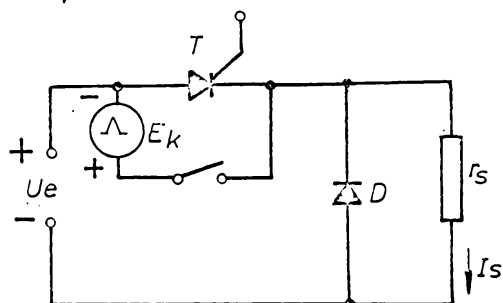


Fig.2.10

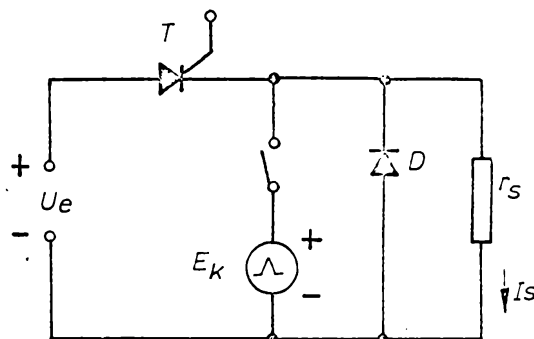


Fig.2.11

În acest caz, după blocarea tiristorului principal în decursul unui timp oarecare  $t_e$ , circulația energiei în receptor se continuă din elementele reactive ale circuitelor de stingere, sau din sursa de alimentare.

Valoarea minimă a tensiunii de ieșire a variatorului este întotdeauna mai mare de zero. Forma impulsurilor tensiunii de ieșire, la asemenea variatoare depinde de structura și parametrii circuitelor de comutație.

Amplasarea inductanțelor, care participă la procesul de încărcare a condensatorului de comutație, influențează efec-

tul de acumulare a energiei, în elementele circuitelor de comutație și deci asupra posibilităților de supraîncărcare a schemei. La unele scheme - fig.2.12 - inductanța participă în circuitul de încărcare și descărcare a condensatorului, iar la altele - fig.2.13 - numai în circuitul de încărcare.

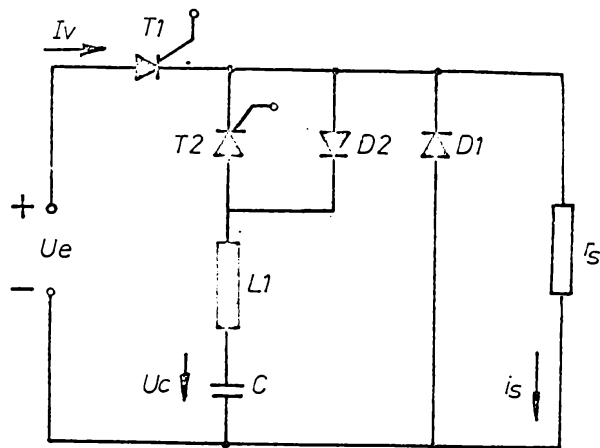


Fig. 2.12

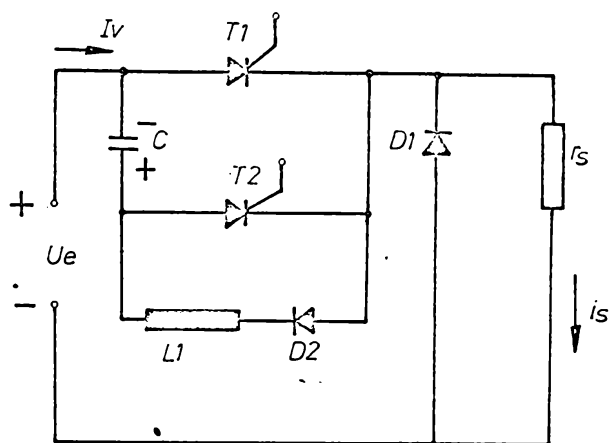


Fig. 2.13

• / •



În schema 2.12 circuitul oscilant de încărcare a condensatorului  $U_e$ ,  $T_1$ ,  $D_2$ ,  $L_1$ ,  $C$  se formează la conectarea tiristorului principal și condensatorul se încarcă pînă la tensiunea  $U_c = U_{c0} = 2U_e$ . În momentul blocării tiristorului  $T_1$  trebuie să fie conectat tiristorul auxiliar  $T_2$ . După blocarea lui  $T_1$ , condensatorul se descarcă pe circuitul sarcinei  $C$ ,  $L_1$ ,  $T_2$ ,  $r_s$  pînă la tensiunea  $U_c=0$ . Apoi curentul de sarcină  $I_s$  se comută pe dioda de șuntare  $D_1$ .

În schema 2.13 condensatorul se încarcă preliminar pe circuitul sarcinei prin tiristorul conectat  $T_2$  pînă la tensiunea  $U_c = U_e$ . Odată cu deblocarea tiristorului principal  $T_1$  se formează un circuit oscilant de reîncărcare a condensatorului  $T_1$ ,  $D_2$ ,  $L_1$ ,  $C$  și tensiunea la acesta primește polaritatea indicată pe schemă. Pentru blocarea tiristorului principal se conectează tiristorul auxiliar  $T_2$ . După blocarea tiristorului  $T_1$  condensatorul din nou se reîncarcă pe circuitul de sarcină pînă cînd tensiunea la bornele sale devine egală cu  $U_e$ .

Forma tensiunii de ieșire și a curentului de sarcină la asemenea scheme [18] sînt redată în fig.2.14.

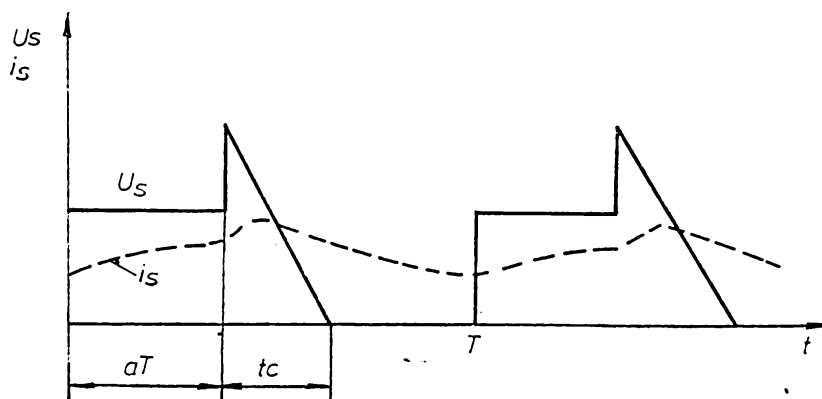


Fig. 2.14

în unități relative

De asemenea, caracteristicile externe  $\bar{U}_{smed}$  corespund curbelor din fig.2.15, iar caracteristica componentei nereglate a tensiunii de ieșire, corespunde curbei din fig.2.16. (sarcina este un motor electric.)

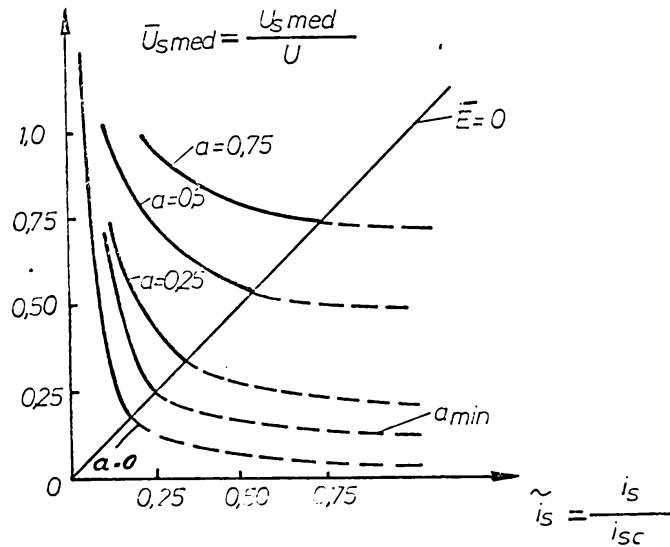


Fig. 2.15

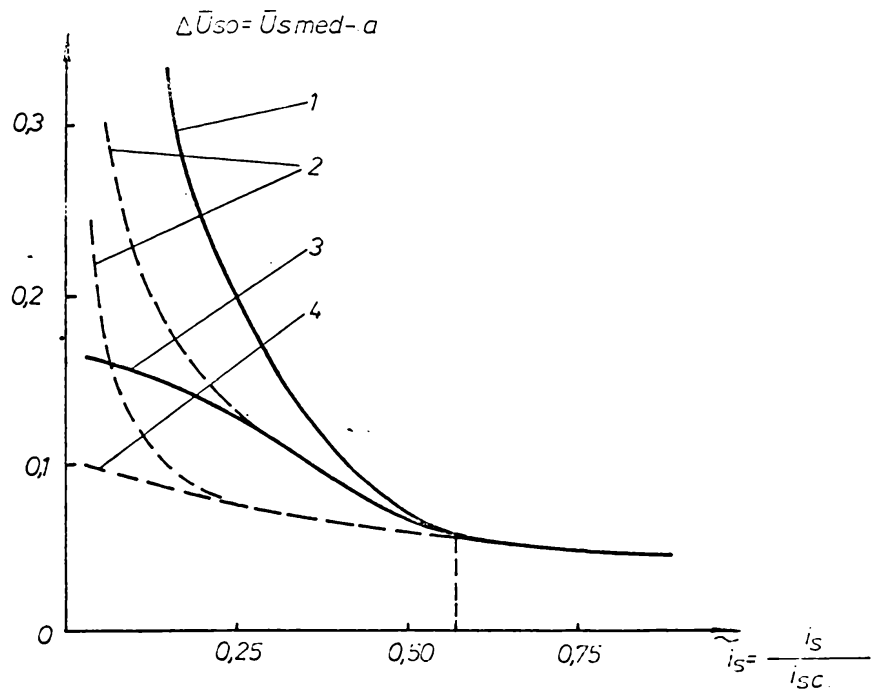


Fig. 2.16

În felul acesta, pentru aceste scheme trebuie să fie limitată atât durata minimă cât și durata maximă de conducție a tiristorului principal.  $a_{\min} > a > a_{\max}$ . În afară de aceasta curentul de sarcină nu trebuie să fie mai mic decât o valoare minimă, suficientă pentru descărcarea totală (sau reîncărcare) a condensatorului în timpul  $t = (1-a)T$ .

Toate acestea limitează domeniul de reglare al tensiunii de ieșire și a curentului și nu permite a se utiliza o frecvență de comutație suficient de mare.

Aceste deficiențe pot fi remediate parțial, prin accelerarea procesului de reîncărcare a condensatorului, cu ajutorul unui circuit suplimentar șuntînd invers cu o diodă tiristorul principal sau cu o diodă și o inductanță.

În acest caz caracteristicile externe se schimbă conform curbelor 2,3,4 din fig.2.16.

Variatoarele de tensiune continuă cu comutația paralelă sînt destul de simple, conțin un număr minim de elemente pentru comutație și posedă indicatori energetici buni. Ele deja și-au găsit aplicabilitate practică la locomotive de mină, electrocare, electromobile, tranvaie, troleibuze etc.

### 2.1.3.3. Scheme de reglare cu circuite de comutație în serie.

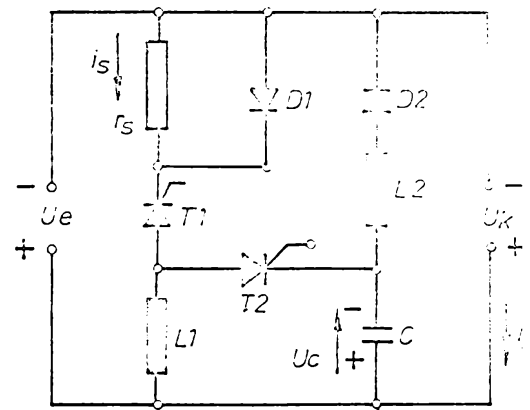
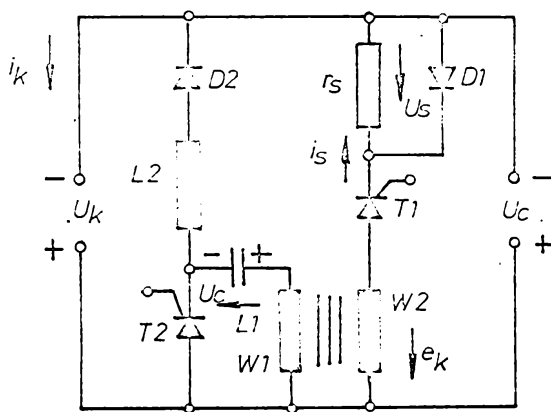
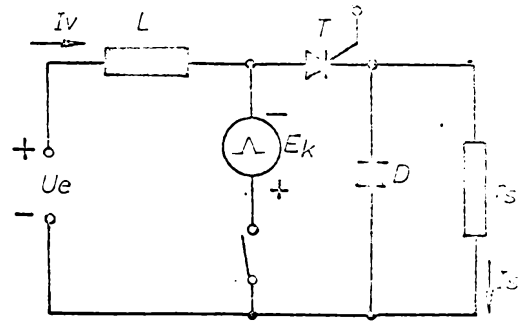
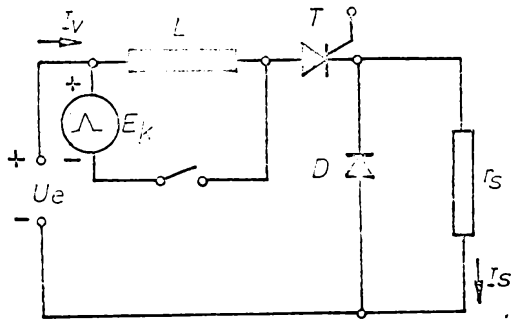
La variatoarele de tensiune continuă cu comutație serie, t.e.m. de impuls pentru comutare se introduce în serie cu tiristorul principal, așa cum se vede în figurile 2.17 și 2.18.

În acest caz, momentul de blocare al tiristorului principal, coincide cu momentul întrepruperii acțiunii impulsului de tensiune asupra sarcinei și tensiunea medie minimă la sarcină este egală cu zero. Forma impulsurilor tensiunii de ieșire și valoarea sa medie aproape nu depinde de parametrii circuitelor de comutație, care influențează doar asupra timpului de reținere  $t_{ko}$  la conectarea tiristorului principal.

Acest tip de variatoare de tensiune continuă, au o inductanță de comutație sau transformator în circuitul de comutație conform figurilor 2.19 și 2.20.

În momentul stingerii tiristorului principal  $T_1$  se conectează tiristorul auxiliar  $T_2$ .

. / .



Condensatorul  $C$ , încărcat preliminar pînă la tensiunea  $U_{C0} > U_e$  pe circuitul  $U_k, C, L_2, D_2$ , se conectează în serie cu tiristorul  $T_1$ , formînd circuitul pe care se închide, pe o perioadă scurtă, curentul invers al tiristorului principal,  $U_e, D_1, T_1, T_2, C$ . (fig.2.19). După blocarea tiristorului  $T_1$  sarcina este deconectată de la sursa de alimentare  $U_e$  și de la elementele sistemului de stingere. Reîncărcarea condensatorului are loc în circuitul oscilant  $L_1, T_2, C$ . Energia primară în câmpul inductanței de comutare  $L_1$  este proporțională cu curentul de sarcină în momentul comutației, de aceea tensiunea maximă la condensator crește cu creșterea curentului de sarcină.

Acest efect, de acumulare a energiei în elementele circuitelor de comutație determină o capacitate bună statică și dinamică de supraîncărcare.

Acest tip de variatoare poate funcționa stabil la orice valoare și direcție a curentului de sarcină.

#### 2.1.3.4. Alegerea schemei de variator

Schemele de variatoare studiate în capitolele anterioare prezintă avantaje și dezavantaje.

Alegerea uneia sau alteia din acestea trebuie să aibă la bază, în afară de proprietățile variatorului cu atare, și condițiile unde acesta este pus să funcționeze.

Pentru reglarea continuă a fluxului la motoarele electrice de tracțiune cu excitație serie, variatorul de tensiune continuă trebuie legat în paralel cu înfășurarea serie de excitație, asigurîndu-se o tensiune de lucru egală cu căderea de tensiune pe această înfășurare ca urmare a trecerii curentului de sarcină.

În această situație, funcționarea variatorului nu este atît de sigură, din cauza tensiunilor mici la care poate fi încărcat condensatorul și trebuie găsită o schemă la care să fie eliminat acest dezavantaj.

Din acest punct de vedere, schemele variatoarelor cu comutație în serie sînt preferabile, întrucît sursa pentru tensiunea de comutare poate fi separată de sarcină. Constructiv însă, nu pot fi folosite așa cum au fost prezentate, impunîndu-se să se facă modificări structurale.

La baza studiilor ce le-am făcut, am conceput schema din fig.2.21, aplicabilă la reglarea continuă a fluxului motoarelor electrice de tracțiune, cu excitație serie. Ea reprezintă o combinație între cele două sisteme de scheme, rezolvând în acest fel în mod favorabil și problema tensiunii de încărcare a condensatorului.

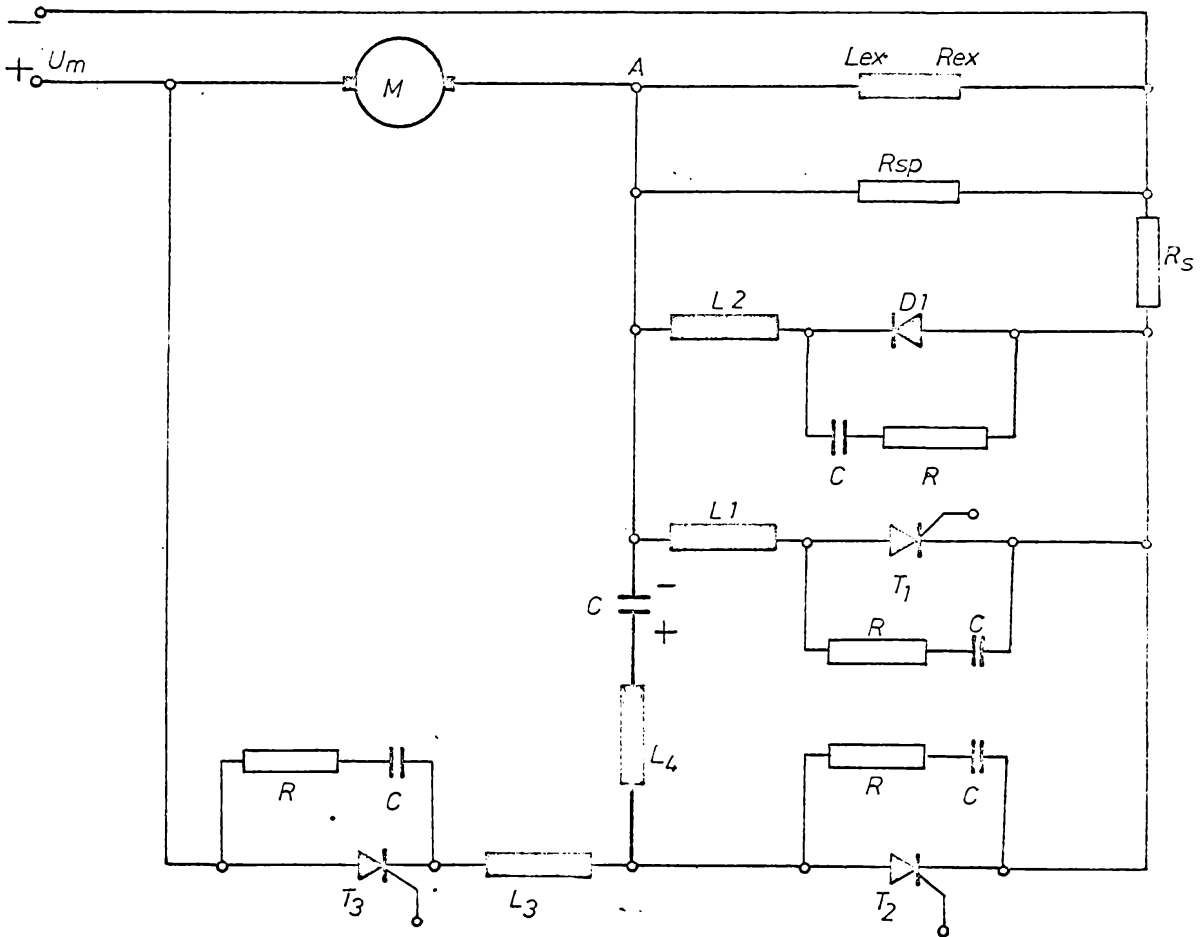


Fig. 2.21

Elementele componente ale schemei de principiu sînt: tiristorul principal  $T_1$ , tiristorul de stingere auxiliar  $T_2$ , tiristorul  $T_3$  al circuitului de basculare al tensiunii pe condensator, condensatorul  $C$  ca sursă pentru energia de comutare a tiristorului principal, rezistența de sarcină  $R_s$ , rezistența de șuntare permanentă  $R_{sp}$  a înfășurării de excitație, inductanțele  $L_1, L_2, L_3, L_4$  pentru limitarea șocurilor din circuite și dioda  $D_1$  pentru protecția de supratensiuni în circuitul de forță.

Spre deosebire de schema cu comutație în paralel, această schemă este concepută cu circuit de basculare separat alimentat de la tensiune totală de alimentare a motoarelor de tracțiune.

Schema regulatorului este astfel legată în circuitul de forță comandat încît tiristorul principal este situat în paralel cu înfășurarea de excitație a motorului.

Curbele de tensiune și curent ale elementelor din schemă în procesul de funcționare sînt prezentate în fig.2.22.

Pînă în momentul  $t_1$  tiristorul principal  $T_1$  este blocat, curentul prin el fiind zero. Tensiunea de alimentare este aplicată între anod și catod. Condensatorul  $C$  este încărcat pozitiv (cu plusul la armătura dinspre tiristorul  $T_1$ ).

În momentul  $t_1$  se aplică cîte un impuls de aprindere tiristoarelor  $T_1$  și  $T_3$ . Tiristorul  $T_1$  intră în conducție și pune armătura pozitivă a condensatorului  $C$  la potențialul minus al sursei ( $-U_m$ ). Armătura negativă a condensatorului este legată prin inductanța  $L_4, L_3$  la catoda tiristorului  $T_3$ , așa că la aprinderea tiristorului se amorsează circuitul oscilant  $C, L_1, L_2, L_4$ . Astfel condensatorul se încarcă cu polaritate inversă. El rămîne încărcat, neputînd să se descarce prin  $T_3$ , pe catodul cărui apare o tensiune pozitivă. Condensatorul este încărcat cu polaritatea prin care armătura dinspre tiristorul  $T_2$  este pozitivă. Fenomenul de reîncărcare durcăză pînă în momentul  $t_2$ .

Curentul  $I_1$  care circulă în circuitul de stingere conform [11] se poate determina rezolvînd ecuația:

. / .

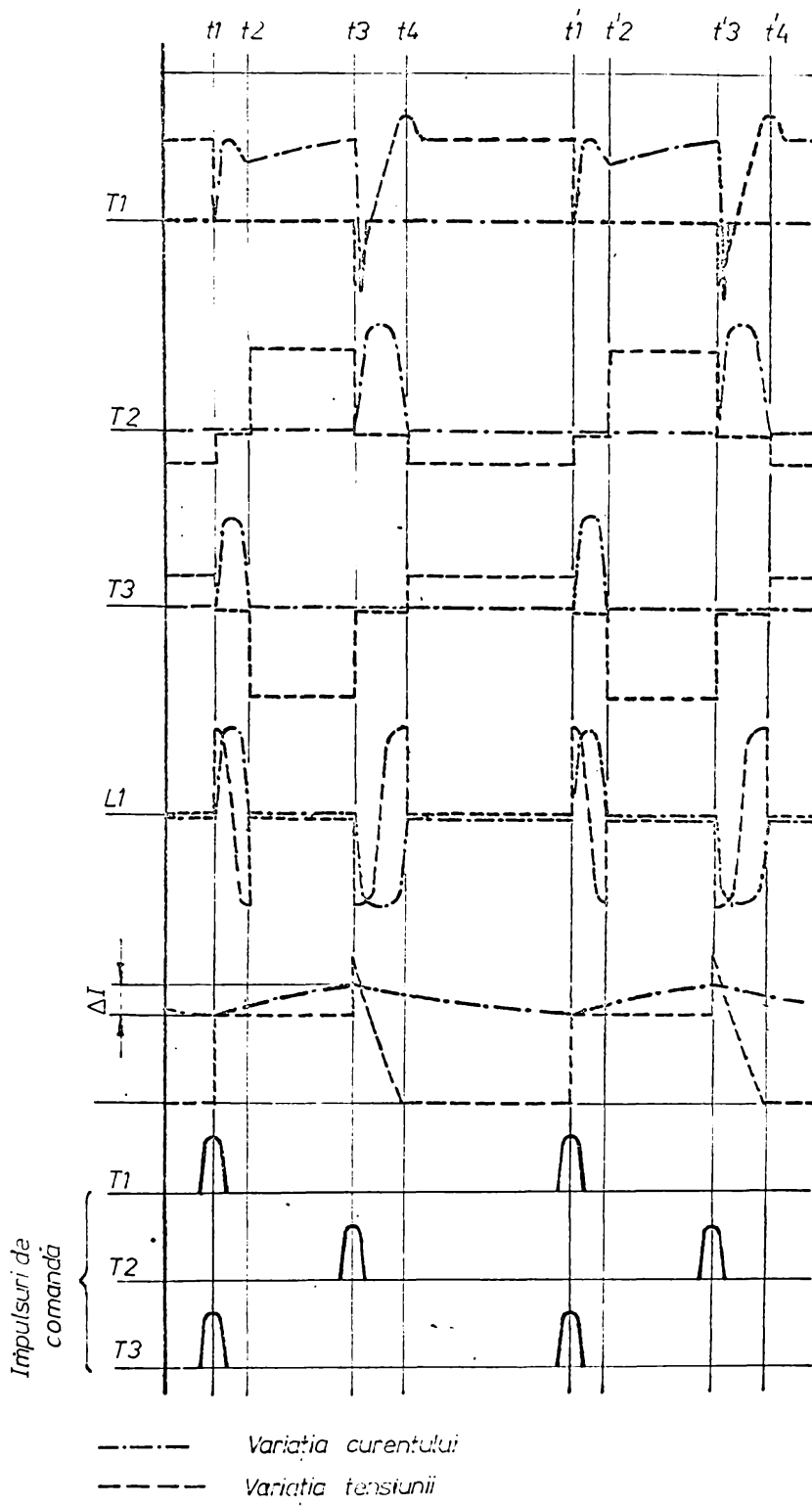


Fig. 2.22



$$U_m = L \frac{d(-I_L)}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t (-I_L) \cdot dt + U_c \quad (2.46)$$

Pentru momentul  $t = 0 \Rightarrow I_L = 0$  și  $U_c = 0$  și integrând rezultă,

$$-I_L = U_m \sqrt{\frac{C}{L}} \sin \omega_0 t \quad (2.47)$$

$$U_c = U_m (1 - \cos \omega_0 t) \quad (2.48)$$

unde:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

La un moment  $t = \pi/\omega_0$  curentul  $I_L$  devine egal cu zero și tensiunea la bornele condensatorului ajunge aproape de  $2 U_m$ .

Prin tiristorul  $T_1$  trece și curentul de sarcină respectiv curentul de șuntare al înfășurării de excitație, care crește după o curbă exponențială pînă în momentul  $t_3$ .

În momentul  $t_3$  se aplică tiristorului  $T_2$  un impuls de aprindere. El intră în conducție și creează posibilitatea de a se aplica o tensiune pozitivă la catodul tiristorului principal și acesta se stinge.

Aprinderea tiristorului  $T_2$  provoacă închiderea unui circuit constituit de condensatorul  $C$ , încărcat inițial la tensiunea de  $U_c \approx 2U_m$ , bobina de inducție  $L_4$ , tiristorul  $T_2$ , tiristorul  $T_1$ , bobina de inducție  $L_1$ . În acest circuit se stabilește un curent  $I_L$  de formă sinusoidală și avînd elementele așa calculate încît amplitudinea primei semiperioade să depășească curentul  $I_s$  de sarcină și să aibă loc stingerea lui  $T_1$ .

Curentul  $I_L$  este definit prin ecuația:

$$2 U_m - \frac{1}{C} \int_0^t I_L \cdot dt = L \frac{d I_L}{dt} + U_m \quad (2.49)$$

cu condițiile inițiale, la  $t = 0 \Rightarrow I_L = 0$  și  $U_c \approx 2U_m$

rezultă că:

$$I_L = U_m \sqrt{\frac{C}{L}} \sin \omega_0 t \quad (2.50)$$

$$\text{și } U_c = U_m (1 + \cos \omega_0 t) \quad (2.51)$$

. / .

În același timp, armătura dinspre tiristorul  $T_1$  a condensatorului se reîncarcă cu polaritate pozitivă cu potențialul din punctul A al schemei, pînă în momentul  $t_4$ . Tensiunea de pe tiristorul principal  $T_1$  trece de la valoarea negativă din momentul  $t_3$  la valoarea pozitivă din momentul  $t_4$ , trecînd prin zero. Intervalul de timp între  $t_3$  și trecerea prin zero trebuie să fie mai mare decît timpul de revenire al tiristorului, pentru a-l bloca.

### 2.1.3.5. Calculul elementelor din schemă

Pentru funcționarea sigură a schemei se convine [11] ca elementele L și C ale circuitului de stingere să fie astfel alese încît timpul  $(t_1 - t_0)$ , în care tiristorul  $T_1$  este supus la o tensiune inversă de blocaj, să depășească timpul de inversare  $t_i$  a acestui tiristor supus la această tensiune inversă. Trebuie deci, ca inegalitatea,

$$(t_1 - t_0) \geq t_i \quad (2.52)$$

să fie satisfăcută pentru toate valorile posibile ale circuitului de sarcină.

Pentru siguranță se admite ca valoarea curentului  $I_1$  în procesul blocajului să fie egală cu de două ori curentul maximal de încărcare. În acest caz condiția de blocare a lui  $T_1$  va fi satisfăcută pentru toate valorile curentului de sarcină inferioare sau egale cu  $I_s$ , dacă perioada proprie  $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$  a circuitului oscilant satisface inegalitatea.

$$\frac{T_0}{3} \geq t_i \quad (2.53)$$

În baza expresiilor (2.50) și (2.53), condițiile de blocare sînt:

$$U_m \sqrt{\frac{C}{L}} = 2 \cdot I_s \quad (2.54)$$

$$\frac{2 \cdot \sqrt{L}}{3} \sqrt{IC} = t_i \quad (2.55)$$

Aceste două relații permit calculul lui L și C:

$$L = \frac{3}{4\pi} \frac{U_m t_i}{I_s} \quad (2.56)$$

$$\text{și } C = \frac{3}{\omega} \frac{I_{s \cdot t_i}}{U_m} \quad (2.57)$$

Conform [14] alegerea practică a inductanțelor și a condensatorului de stingere se face după expresiile:

$$L \geq \frac{K \cdot U_{\max \text{ variator}}}{\frac{di}{dt} \text{ tiristor}} \quad (2.58)$$

$$C = K \frac{I_{\max} \cdot t_{st}}{U_{\min}} \quad (2.59)$$

unde:

$K = 2-3$  - coeficient de siguranță al schemei

Curentul maxim de vîrf ce determină mărimea miezului și a întrefierului se determină prin relația:

$$I_{\max \text{ fier}} = \frac{U_{\max}}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (2.60)$$

Curentul maxim efectiv de încălzire a cuprului se determină cu relația:

$$I_{\max \text{ Cu}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{C}{L}} \sqrt{\frac{T_0}{T}} \quad (2.61)$$

unde:

$$T_0 = 2 \pi LC$$

$$T = \frac{1}{f_{\max \text{ variator}}}$$

Pentru limitarea lui  $du/dt$  și supratensiunilor de comutație, se montează în paralel cu tiristoarele și diodele, grupuri RC de protecție.

Capacitatea condensatorilor se determină cu relația:

$$C \geq \frac{(n-1) Q_{\max}}{n U_p - U_{\max}} \quad (2.62)$$

unde:

$n$  - numărul de tiristoare sau diode legate în serie;

$U_p$  - tensiunea maximă pe elementul dezechilibrat;

$U_{\max}$  - tensiunea maximă aplicată;

$Q_{\max}$  - sarcina electrică maximă de stocare la stingerea tiristoarelor sau blocarea diodelor.

Pentru dimensionarea rezistențelor serie cu aceste condensatoare [20], se aplică formula:

$$R = \frac{0,8}{C} \ln \left[ \frac{U_{ER} \cdot C}{2(i_{T0} - i_F)} \right] \quad (2.63)$$

unde:

- $C$  - valoarea capacității condensatorului [ $\mu F$ ]
- $U_{ER}$  - valoarea limită a tensiunii tiristorului la care se autoaprinde static - [V]
- $i_{T0}$  - curentul limită admis la stingere - [A]
- $i_F$  - curentul ce trece prin semiconductor înainte de stingere [A].

Puterea rezistenței serie se determină cu relația:

$$P = \frac{f \cdot U_m^2 \cdot C}{2} \quad (2.64)$$

unde:

- $f$  - frecvența de lucru

#### 2.1.2.6. Alegerea frecvenței de lucru a variatorului

Dacă analizăm curentul ce trece prin rezistența de sarcină  $r_s$ , se observă că se stabilește un curent mediu puțin ondulat.

Creșterea curentului în timpul conducției tiristorului  $T_1$  se poate calcula conform legii inducției.

$$U = L \frac{di}{dt} \text{ de unde}$$
$$di = \frac{U}{L} dt \quad (2.65)$$

Variația curentului din circuitul principal este condiționată de valoarea inductivităților din circuit și de durata de conectare. Curentul maxim se obține la frecvență maximă de reglare.

În intervalul  $t_3 - t_4$ , timpul de comutare la schemele normale este  $\approx 100 \mu s$ . La o lățime de impuls de 1 ms se obține o reglare de maximum 91%. Restul timpului se pierde la reglare.

• / •

Raportul de reglare poate fi mărit prin mărirea lă-  
țimii impulsurilor, dar la schemele care funcționează la ten-  
siuni mici nu este recomandabil să se mărească lățimea impul-  
sului peste 1,5 m.s. [19], devenind prea mare ondulația curen-  
tului.

Fiind vorba de motoare electrice, este necesar să se  
asigure o ondulație de curent cât mai mică pentru a reduce pier-  
derile prin încălzire datorită componentei alternative a curen-  
tului cât și a nu înrăutăți comutația.

În regim stabilizat [11], pentru sarcina variatorului  
constituită din  $L_{ex}$  și  $R_{ex}$ , ondulația maximă se determină cu  
relația:

$$\Delta i_{max} = \frac{U T}{4L_{ex}} \quad (2.66)$$

Calcululele arată că ondulația este nulă pentru  $a = 0$   
și  $a = 1$  și că ea este maximală pentru  $a = 0,5$  așa cum s-a ară-  
tat în fig.2.8.

#### 2.1.4. Compararea sistemelor principale de slăbire continuă a câmpului motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie

În general, oricărui sistem de reglare, pentru a fi  
aplicat, în practică, i se impun anumite cerințe de ordin func-  
țional, constructiv și economic.

Practica tehnicii mondiale a stabilit deja că un sis-  
tem electric de comandă trebuie să prezinte:

- simplitate în execuție;
- siguranță în funcționare;
- întreținere și deservire ușoară;
- robustețe;
- fiabilitate în funcționare;
- economicitate, etc.

Analizând teoretic, după aceste criterii, cele două  
sisteme de reglare, cu mașini și cu tiristoare, se pot trage  
următoarele concluzii:

Sistemul cu mașini prezintă unele greutăți în executa-

. / .

rea colectorului și a sistemului de perii, la care trebuie să se realizeze rezistențe mici de trecere și un contact perfect pentru a se putea efectua o reglare continuă. Din cauză că pot apărea deficiențe la aceste dispozitive, mașina poate să nu fie sigură în funcționare.

Fiind mașină rotativă în mișcare, implică și o întreținere riguroasă.

În regim de trepidații, poate să-și schimbe regimul de mers, creând perturbații în sistemul de reglare.

Dacă este bine calculată, mașina rotativă prezintă suficientă fiabilitate în diferite regimuri de mers.

Fiind însă o mașină cu masă mare în rotație, nu poate urmări rapid și fidel modificările electrice ce intervin în circuit.

Sistemul nu introduce influențe negative asupra funcționării motorului principal, întrucât curentul este continuu fără ondulații.

Din experiența deținută pînă în prezent, dispozitivele construite cu tiristoare răspund pozitiv la aproape toate problemele puse.

Sistemul de reglare cu tiristoare fiind static este sigur în funcționare, nu pretinde o întreținere permanentă, are suficientă fiabilitate, este precis în funcționare urmărind cu rapiditate variația parametrilor din circuite.

Sistemul introduce într-o mică măsură influență negativă asupra funcționării motorului întrucât curentul are unele pulsații, dar prin unele măsuri și acest dezavantaj poate fi eliminat în mare măsură.

Acest sistem pretinde însă precizie de execuție și o calificare superioară a personalului de execuție mai ales pentru echipamentul generator de impulsuri.

Din punct de vedere al economicității, în momentul de față sistemul prezintă doar costuri inițiale mai mari, deoarece tiristoarele se importă, dar odată cu începerea fabricării în țară, va cădea și acest dezavantaj.

Pe baza celor analizate am ales ca sistem de reglare

cel cu tiristoare, iar din schemele studiate, schema de concepție proprie din fig.2.23.-

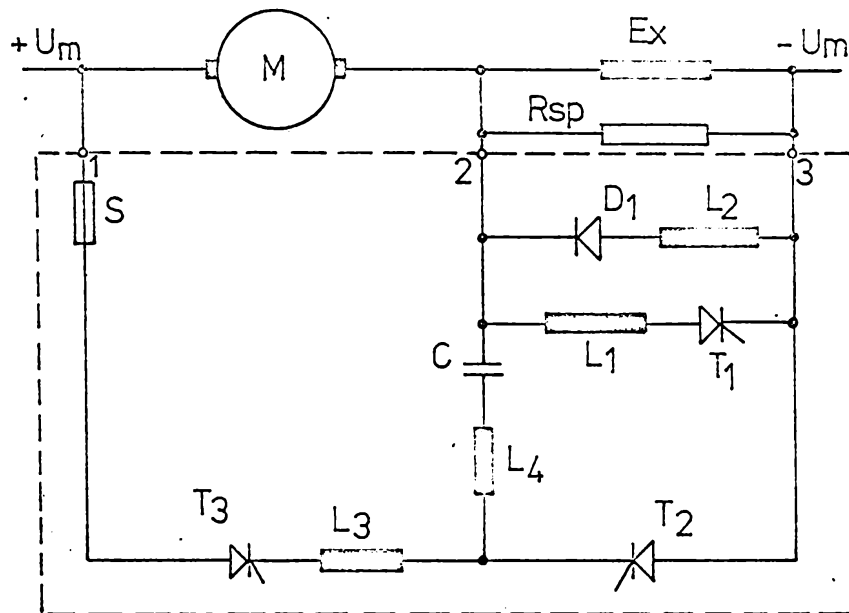


Fig. 2.23

### CAPITOLUL - 3

STUDIUL INFLUENȚEI SLĂBIRII CONTINUI  
A CÎMPULUI MOTOARELOR ELECTRICE  
DE TRACȚIUNE CU EXCITAȚIE SERIE,  
ASUPRA TRANSMISIEI ELECTRICE.



### 3.1. INFLUENȚA SLĂBERII CONTINUI A CÎMPULUI MOTORILOR ELECTRICE DE TRACȚIUNE CU EXCITATIE SERIE ASUPRA PROCESELOR DE LA COLECTOR

#### 3.1.1. Considerații generale

La motoarele electrice de tracțiune, deosebim două regimuri de funcționare, cel stabilizat sau staționar și cel tranzitoriu sau dinamic. În funcție de aceste regimuri au loc și procesele la colector. Cel mai greu regim de funcționare este cel dinamic în care au loc schimbări bruște ale parametrilor electrice ai motorului. Fenomenele la colector sînt determinate de comutație și de tensiunea dintre lamelele de colector.

Procesul de comutație depinde de o serie de factori, dintre care cei mai importanți sînt t.e.m. reactivă  $e_r$  a secției ce se comută și t.e.m. transformatoare  $e_t$  care acționează în același sens cu t.e.m. reactivă în cazul micșorării fluxului polilor principali.

Slăbirea de cîmp introduce cele mai grele condiții de lucru a motoarelor, din punctul de vedere al proceselor la colector și îndeosebi reglarea în trepte a cîmpului, care dă naștere la un regim tranzitoriu.

De aceea, pentru a elimina acest fenomen, este necesară o reglare continuă a cîmpului motorului, la care comutația rămîne în regim staționar.

#### 3.1.2. Influența parametrilor motorului asupra comutației

În condițiile de exploatare regimul de funcționare al motoarelor se schimbă în limite foarte largi. Buna lor funcționare impune să se asigure condiții corespunzătoare de comutație chiar în regimurile cele mai grele.

Pentru a analiza intensitatea comutației motoarelor de tracțiune în toată gama de regimuri de funcționare și diferite condiții de reglare, trebuie găsită dependența dintre  $e_r$  și mărimile care caracterizează regimul de funcționare a motorului.

Pentru motorul de tracțiune de curent continuu cu excitație serie se pot utiliza ecuațiile:

$$\alpha = \frac{I_{ex}}{I_m} \quad (3.1)$$

$$\phi_m (I_{ex}, I_m) = \phi_m (\alpha I_m) \quad (3.2)$$

$$C_m = K_c \phi_m I_m \quad (3.3)$$

$$n_m = \frac{U_m - I_m \sum R_m}{K_m \phi_m} \quad (3.4)$$

$$P_m = U_m I_m \quad (3.5)$$

Este cunoscut [3] că și t.e.m. reactivă poate fi exprimată prin aceste mărimi:

$$e_r = K_e n_m I_m \quad (3.6)$$

Fluxul magnetic util  $\phi$  la care se ia în considerare reacția indusului este o funcție nelineară a curentului de excitație  $I_{ex} = \alpha I_m$  și a curentului din motor  $I_m$ . Dacă se neglijează influența reacției indusului atunci  $\phi (\alpha I_m)$  este determinat de curba de magnetizare a motorului.

Pentru generalizarea analizei se trece la mărimi relative, admițînd că unitate parametrii nominali ai motorului fără slăbire de câmp.

$$\text{Notînd: } \frac{\phi_m}{\phi_{mn}} = \varphi ; \frac{I_m}{I_{mn}} = \iota ; \frac{C_m}{C_{mn}} = \mu ; \frac{n_m}{n_{mn}} = \nu$$

$$\frac{U_m}{U_{mn}} = \chi ; \frac{I_{ex}}{I_{exn}} = \iota_{ex} \quad \frac{P_m}{P_{mn}} = \tilde{\mu}_m \quad \text{și} \quad \frac{e_r}{e_{rn}} = \xi_r \quad \text{din relațiile}$$

(3.1)....(3.6), se obține:

$$\alpha = \frac{\iota_{ex}}{\iota} \quad (3.7)$$

$$\varphi = f(\iota_{ex}) = f(\alpha \iota) \quad (3.8)$$

$$\mu = \varphi \iota \quad (3.9)$$

. / .

$$v = \frac{\chi - \rho \iota}{(1 - \rho) \varphi} = \frac{\iota}{\mu} \cdot \frac{\chi - \rho \iota}{1 - \rho} \quad (3.10)$$

unde:

$$\rho = \frac{I_{mn} R_m}{U_{mn}} \quad (3.11)$$

$$\tilde{\Pi}_m = \chi \iota \quad (3.12)$$

$$\hat{\varepsilon}_r = v \iota \quad (3.13)$$

Pentru aprecierea tendințelor de schimbare a t.e.m.  $e_r$  la schimbarea sarcinii și reglarea motoarelor electrice de tracțiune de curent continuu se analizează la început cazul mașinii nesaturate. Acest caz este apropiat de realitate la sarcini mici ale motorului și slăbire adîncă de cîmp a motoarelor.

În acest caz, din relația (3.8) avem:

$$\varphi = \alpha \iota \quad (3.14)$$

Înlocuind această valoare în relația (3.9)

avem:

$$\mu = \alpha \iota^2 \quad (3.15)$$

$$\text{Din aceasta deducem: } \iota = \sqrt{\frac{\mu}{\alpha}} \quad (3.16)$$

Neglijînd influența mică a căderilor de tensiune în motor din relația (3.10) rezultă:

$$v = \frac{\chi \iota}{\mu} = \frac{\tilde{\Pi}_m}{\mu} = \frac{\chi}{\sqrt{\mu \alpha}} \quad (3.17)$$

Introducînd în relația (3.12) valoarea lui  $\iota$  din relația (3.16) rezultă:

$$\tilde{\Pi}_m = \chi \sqrt{\frac{\mu}{\alpha}} \quad (3.18)$$

Prin înlocuiri pentru  $\hat{\varepsilon}_r$  se obține:

$$\hat{\varepsilon}_r = \frac{\chi \iota^2}{\mu} = \frac{\tilde{\Pi}_m \iota}{\mu} = \frac{\chi}{\alpha} = \frac{\tilde{\Pi}_m}{\sqrt{\mu \alpha}} \quad (3.19)$$

. / .

Cu aceste relații se poate analiza variația lui  $\nu$ ,  $\tilde{\pi}_m$ ,  $V$  și  $\mathcal{E}_r$  la schimbarea lui  $\mu$ ,  $\alpha$  și  $\alpha$ , pentru diferite condiții de reglare ale motorului.

Un interes deosebit, pentru locomotivele diesel electrice îl prezintă două regimuri caracteristice:

$$\tilde{\pi}_m = \text{const} \quad \alpha = \text{var.}, \quad \alpha = \text{var.}$$

În fig. 3.1) sînt construite curbele pentru  $\nu$ ,  $\nu$ ,  $\tilde{\pi}_m$ ,  $\alpha$  și  $\mathcal{E}_r$  în funcție de  $\mu$  pentru  $\alpha = 1$  și  $\alpha = 0,5$ .

Din aceste curbe rezultă că în regimul de putere constantă ( $\tilde{\pi}_m = \text{const}$ ) t.e.m. reactivă  $\mathcal{E}_r$  se schimbă invers proporțional cu  $\sqrt{\mu\alpha}$ . Aceasta se explică prin faptul că odată cu slăbirea cîmpului crește turația iar t.e.m. reactivă este proporțională cu ea. Cea mai mare valoare a ei se atinge la turația maximă și slăbire maximă de cîmp (valoarea minimă a lui  $\alpha$ ).

Nivelul de intensitate al comutației se poate aprecia prin raportul dintre t.e.m. reactive în regim de viteză maximă ( $\mu = \text{min}$ ,  $\alpha = \text{min}$ ) și în regim nominal:

$$\frac{\mathcal{E}_{r\text{max}}}{\mathcal{E}_{rn}} = \frac{1}{\sqrt{\mu\alpha}}, \text{ adică} \quad (3.20)$$

$$\mathcal{E}_{rn} = \mathcal{E}_{r\text{max}} \sqrt{\mu\alpha}$$

În această expresie  $\mu$  este cel mai mic cuplu al motorului electric corespunzător turației maxime  $\nu_{\text{max}}$ .

În cazul analizat din fig. 3.1 rezultă:  $\mathcal{E}_{r\text{max}}$  este mai mare ca  $\mathcal{E}_{rn}$  de 2,82 ori.

Alegerea judicioasă a acestui raport, duce la o mai bună utilizare a motoarelor de tracțiune.

. / .

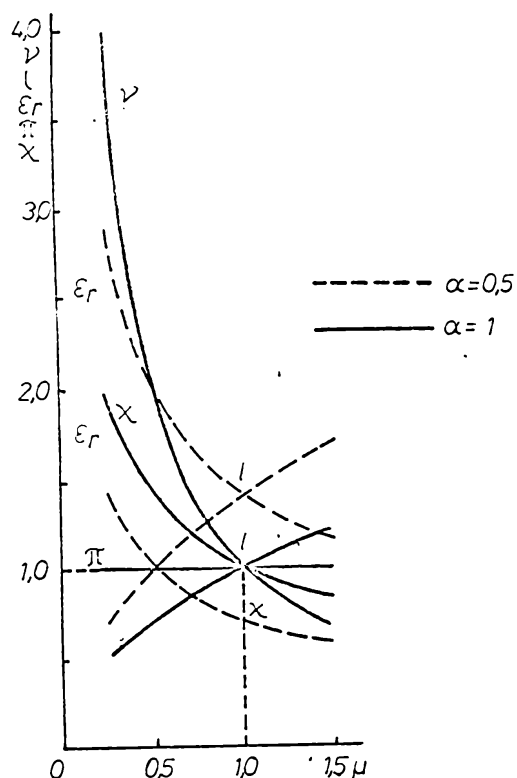


Fig.3.1

### 3.1.3 T.e.m.reactivă în regim staționar de comutație

Schimbarea rapidă a curentului din secția scurtcircuitată de perie, are ca efect, inducerea în ea a unei t.e.m. de autoinducție și de inducție mutuală.

Aceste tensiuni însumate dau t.e.m. reactivă  $e_r$ .

Această t.e.m. produce un curent suplimentar de comutație care dă naștere la scînteii la colector.

Pentru anihilarea efectului dăunător a acestei tensiuni, este necesar de un câmp auxiliar de mărime egală, care să dea naștere la o t.e.m. de comutație  $e_k$ . Aceasta se realizează prin polii auxiliari ai mașinii.

În cazul comutației staționare aceste tensiuni trebuie să fie egale  $e_r = e_k$  - obținîndu-se comutația ideală sau linca-ră.

. / .

Practic însă din cauza formei în trepte a cîmpului de dispersie al ancosei, compensarea integrală a t.r.e.m. reactive nu este posibilă și rămîne un reziduu de tensiune

$\Delta e_r = e_r - e_k$  - care produce scînteii la colector, înrăutățind comutația.

Acest regim de funcționare corespunde regimului de reglare continuă a cîmpului motoarelor electrice de tracțiune.

### 3.1.4. Procesele tranzitorii în motor la slăbirea în trepte a cîmpului

În toate cazurile de regim tranzitoriu din motoare electrice de c.c. cu excitație serie, se poate considera că, în perioada acestui proces de schimbare, de conexiune electrică, turăția rămîne constantă datorită antrenării unor mase cu inerție mare.

Intrucît orice proces tranzitoriu în motor se reflectă și asupra modificării fluxului, în circuitul magnetic al acestuia se induc curenți turbionari care la rîndul lor influențează fluxul.

Pentru studierea fenomenelor care apar în timpul conectării, treptelor de rezistență pentru slăbirea cîmpului, se utilizează schema echivalentă a motorului prezentată în fig.3.2.

Valoarea curenților turbionari și căderea de tensiune inductivă în rotor se stabilesc prin relațiile [23] :

$$i_{tb} = \gamma \phi_m \frac{d\phi_m}{dt} \quad (3.21)$$

$$E_1 = 2 p \gamma w_s \frac{d\phi_m}{dt} \cdot 10^{-8} \quad (3.22)$$

Astfel se pot scrie ecuațiile de echilibru ale sistemului:

$$U_m = K_M \phi_m + L_r \frac{dI_m}{dt} + I_m r_r + L_k \frac{dI_{Mk}}{dt} +$$

. / .

$$+ I_m r_k + L_{ex} \frac{dI_{\mu ex}}{dt} + I_{ex} R_{ex} + 2p \sigma w_s \frac{d\phi}{dt} \cdot 10^{-8} \quad (3.23)$$

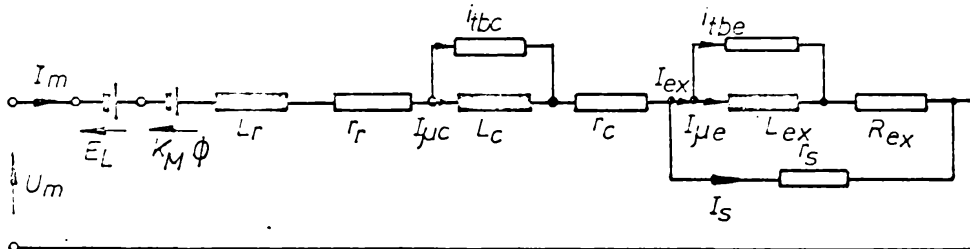


Fig. 3.2

$$I_m = I_{\mu k} + \sigma I_{\phi k} \frac{d\phi_k}{dt} \quad (3.24)$$

$$I_m = I_{\mu ex} + \sigma \phi_m \frac{d\phi_m}{dt} \quad (3.25)$$

$$I_s r_s = L_{ex} \frac{dI_{\mu ex}}{dt} + I_{ex} R_{ex} \quad (3.26)$$

$$I_m = I_s + I_{ex} \quad (3.27)$$

s-au notat:

$$\sigma = \frac{0,5 \sigma^2}{K^2} \sum \frac{1}{p_{cr}^2 \rho B_0} 10^{-8}$$

K - coefficient constructiv [23]

./.

- $l$  - lungimea circuitului magnetic în [cm]  
 $p_{ex}$  - perimetrul circuitului magnetic în [cm]  
 $\rho$  - rezistență specifică a materialului circuitului magnetic în [ $\Omega$ cm]  
 $U_m$  - tensiunea la bornele motorului în [V]  
 $K_M = K_m \cdot n_m$   
 $\phi$  - fluxul polilor principali în [wb]  
 $L_r$  - inductivitatea bobinei rotorice în [H]  
 $I_m$  - curentul absorbit de motor în [A]  
 $r_r$  - rezistența rotorică [ $\Omega$ ]  
 $L_k$  - inductivitatea bobinajului de comutație în [H]  
 $I_k$  - curentul de magnetizare a bobinajului de comutație în [A]  
 $r_k$  - rezistența bobinajului de comutație în [ $\Omega$ ]  
 $L_{ex}$  - inductivitatea bobinajului polilor principali în [H]  
 $I_{\mu ex}$  - curentul de magnetizare al bobinajului polilor principali în [A]  
 $I_{ex}$  - curentul de excitație în [A]  
 $R_{ex}$  - rezistența bobinajului de excitație în [ $\Omega$ ]  
 $\sigma$  - coeficientul de dispersie a polilor principali  
 $W_s$  - nr. de spire a unei secții rotorice  
 $I_s$  - curentul prin șunt în [A]  
 $r_s$  - rezistența șuntului în [ $\Omega$ ]

Tinând cont de faptul că poliide comutație sînt nesaturayi, se poate face înlocuirea:

$$\phi_k = K_1 I_{\mu k} \quad (3.28)$$

și ecuația (3.24) a sistemului devine:

$$I_m = I_{\mu k} + \sigma_1 k_1^2 I_{\mu k} \frac{dI_{\mu k}}{dt} \quad (3.29)$$

Rezolvarea analitică a acestui sistem de ecuații este dificilă din cauză că, duce la rezolvarea unei ecuații diferențiale neliniare, neomogene cu coeficienți variabili.



Pentru a aprecia fenomenul care are loc, s-a recurs de moment la neglijarea efectului curenilor turbionari.

In acest caz schema echivalentă devine ca cea din fig.3.3.

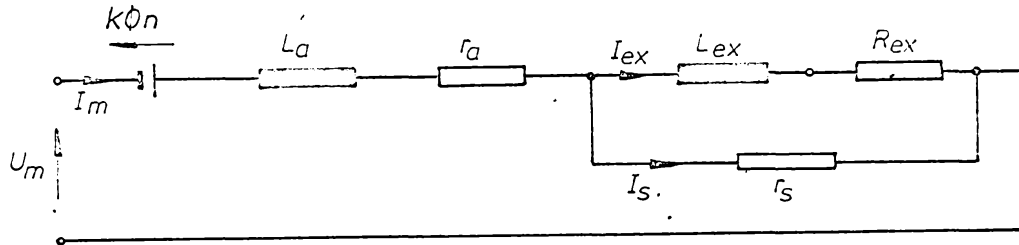


Fig. 3.3

Se pot scrie deci ecuațiile:

$$U_m = K_m \Phi_m n_m + L_a \frac{d I_m}{dt} + I_m r_a + I_{ex} R_{ex} + L_{ex} \frac{d I_{ex}}{dt} \quad (3.30)$$

$$L_{ex} \frac{d I_{ex}}{dt} + R_{ex} I_{ex} = I_s r_s \quad (3.31)$$

$$I_m = I_{ex} + I_s \quad (3.32)$$

$$\Phi_m = K'_{mex} I_{ex} \quad (3.33)$$

unde:

$L_a$  - inductivitatea rotorică.

$L_{ex}$  - inductivitatea bobinajului polilor principali

$K'_{mex}$  - coeficientul de proporționalitate a fluxului principal cu curentul de excitație.

Efectuînd substituțiile necesare și notînd:

$$a = \frac{L_a \cdot L_{ex}}{r_s} \quad (3.34)$$

$$b = L_{ex} + L_a + \frac{L_a R_{ex} + L_{ex} r_a}{r_s} \quad (3.35)$$

. / .

$$c = R_{ex} + r_a + K_m K'_{mex} n_m + \frac{R_{ex} r_a}{r_s} \quad (3.36)$$

obținem ecuația diferențială neomogenă liniară de ordinul doi cu coeficienți constanți:

$$a \frac{d^2 I_{ex}}{dt^2} + b \frac{d I_{ex}}{dt} + K'_{mex} I_{ex} = U_m \quad (3.37)$$

Ecuația omogenă rezultată este:

$$a \frac{d^2 I_{ex}}{dt^2} + b \frac{d I_{ex}}{dt} + K'_{mex} I_{ex} = 0 \quad (3.38)$$

care are ecuația caracteristică:

$$ar^2 + br + c = 0 \quad (3.39)$$

Analizând valorile parametrilor  $a$ ,  $b$ , și  $c$  pentru diferite motoare de tracțiune s-a constatat că:

$$b^2 - 4ac < 0 \quad (3.40)$$

Deci ecuația (3.38) va admite soluția:

$$I'_{ex} = e^{At} (C_1 \cos B.t + C_2 \sin B.t) \quad (3.41)$$

unde:

$$A = - \frac{b}{2a} \quad (3.42)$$

$$B = \frac{\sqrt{4ac - b^2}}{2a} \quad (3.43)$$

Se observă că ecuația (3.37) mai admite soluția particulară de formă:

$$I''_{ex} = A't^2 + B't + C' \quad (3.44)$$

Făcând înlocuirile necesare pentru determinarea constantelor se obține:

. / .

$$I_{\text{ex}}'' = \frac{U_m}{c} \quad (3.45)$$

Deci soluția generală a ecuației (3.37) este:

$$I_{\text{ex}} = e^{At} (C_1 \cos Bt + C_2 \sin Bt) + \frac{U_m}{c} \quad (3.46)$$

Rezultă:

$$I_s = e^{At} \left( C_2 \frac{r_{\text{ex}}}{r_s} + A \frac{L_{\text{ex}}}{r_s} C_2 - B \frac{L_{\text{ex}}}{r_s} C_1 \sin Bt + e^{At} \left( C_1 \frac{R_{\text{ex}}}{r_s} + A \frac{L_{\text{ex}}}{r_s} C_1 + B \frac{L_{\text{ex}}}{r_s} C_2 \cos Bt + \frac{R_{\text{ex}}}{r_s} + \frac{U_m}{c} \right) \right) \quad (3.47)$$

$$I_m = I_{\text{ex}} + I_s \quad (3.48)$$

Pentru determinarea constantelor de integrare  $C_1$  și  $C_2$  se scrie pentru  $t = 0$

$$U_m = K_m \phi_{\text{om}} n_m + I_{\text{mo}} r_a + I_{\text{mo}} \frac{R_{\text{ex}} r_{\text{so}}}{R_{\text{ex}} + r_{\text{so}}} \quad (3.49)$$

$$\phi_{\text{om}} = K_m' \alpha_o \cdot I_{\text{mo}} \quad (3.50)$$

$$I_{\text{mo}} = \frac{U_m}{K_m K_m' \alpha_o n_m + r_a + \frac{R_{\text{ex}} r_{\text{so}}}{R_{\text{ex}} + r_{\text{so}}}} \quad (3.51)$$

și

$$I_{\text{ex}} = \alpha_o I_{\text{mo}} \quad (3.52)$$

Rezultă din (3.46) în urma înlocuirilor

. / .

$$C_1 = \frac{\alpha_0 (R_{ex} + r_{so}) U_m}{K_m \cdot K_m' \alpha_0 n_m (R_{ex} + r_{so}) + r_a R_{ex} r_{so}} - \frac{r_s U_m}{K_m K_m' n_m r_s + R_{ex} r_s + r_a r_s + R_{ex} r_a} \quad (3.53)$$

La fel rezultă și:

$$C_2 = \frac{I_{mo} - \frac{U_m}{c} \left( 1 + \frac{R_{ex}}{r_s} \right) - C_1 \left( \frac{R_{ex}}{r_s} + 1 + \frac{A L_{ex}}{r_s} \right)}{\frac{B L_{ex}}{r_s}} \quad (3.54)$$

Se poate scrie ecuația coeficientului de slăbire a cîmpului:

$$\alpha = \frac{I_{ex}}{I_m} = \frac{C_1 e^{At} \cos Bt + C_2 e^{At} \sin Bt + \frac{U_m}{c}}{\left( C_2 \frac{R_{ex}}{r_s} + \frac{A L_{ex}}{r_s} C_2 - B \frac{L_{ex}}{r_s} C_1 + C_2 \right) e^{At} \sin Bt + \left( C_1 \frac{R_{ex}}{r_s} + \frac{A L_{ex}}{r_s} C_1 + B \frac{L_{ex}}{r_s} C_2 + C_1 \right) e^{At} \cos Bt + \frac{U_m}{c} \left( 1 + \frac{R_{ex}}{r_s} \right)} \quad (3.55)$$

Se observă că la  $t \pm \infty$

$$\alpha_\infty = \frac{\frac{U_m}{c}}{\frac{U_m}{c} + \left( 1 + \frac{R_{ex}}{r_s} \right)} = \frac{r_s}{R_{ex} + r_s} \quad (3.56)$$

. / .

Scriind ecuația:

$$\alpha - \alpha_{\infty} = c \quad (3.57)$$

se obține soluția:

$$\operatorname{tg} Bt = \frac{C_2 B + C_1 A}{C_1 B - C_2 A} \quad (3.58)$$

Deoarece perioada oscilațiilor lui  $\alpha$  este dată de constanta  $B$  iar conform relației (3.58) în punctele de intersecție a lui  $\alpha$  cu  $\infty$   $\operatorname{tg} Bt \neq \infty$ , rezultă că acestea nu se realizează la sfert de perioadă astfel că vor exista momente în care:

$$\alpha < \alpha_{\infty} \quad (3.59)$$

În situația în care se trece la ultima treaptă de slăbire a câmpului astfel că  $\alpha_{\infty}$  este slăbirea de câmp maximă admisibilă, acest fenomen în anumite condiții poate să devină periculos pentru procesele ce au loc la colector.

În cazul real trebuie să se țină cont de următoarele efecte suplimentare datorate curenților turbionari neglijați inițial:

- Coeficientul de amortizare  $A$  este mai mare:

$$A = -\frac{b}{2a} = -\frac{L_{ex} + L_a + \frac{L_a R_{ex} + L_{ex} r_a}{r_s}}{2 \frac{L_a L_{ex}}{r_s}} = -\left( \frac{r_s}{2L_a} + \frac{r_s}{2L_{ex}} + \frac{R_{ex}}{2L_{ex}} + \frac{r_a}{2L_a} \right) \quad (3.60)$$

Curenții turbionari au ca efect aparent în relația (3.60) scăderea inductivităților  $L$  și în special  $L_a$  în care intră și inductivitatea polilor de comutație. (În cazul variațiilor de flux datorită creșterii rapide a curentului, curentul va crește mult pe seama curenților turbionari decât pe seama creșterii fluxului).

Datorită apariției curenților turbionari în polii de comutație, în baza relației (3.29) curentul de magnetizare  $I_{\mu c}$  va

rămâne în urma curentului  $I_m$ , astfel că, apar tensiuni reziduale mărite care înrăutățesc comutația.

Pentru evitarea acestor fenomene ce apar în cazul slăbirii cîmpului în trepte, este necesară utilizarea slăbirii continue a cîmpului în vederea obținerii unor slăbiri pronunțate.

Din oscilogramele ridicate cu ocazia experimentărilor efectuate pe stand asupra motorului de tracțiune tip Cf  $\frac{300}{200}$  (Roșița) se pot observa oscilațiile deduse teoretic.

În diagrama curentului de excitație, se observă în momentul comutării unei rezistențe de slăbire a cîmpului, un vîrf de scădere a curentului în timp ce curentul total al motorului crește.

### 3.1.5. T.E.M. reactivă în regim tranzitoriu

Problema comutației motoarelor electrice de tracțiune, în regim tranzitoriu, prezintă unele aspecte deosebite față de comutația în regim staționar, întrucît apar fenomene electrice tranzitorii care conduc la înrăutățirea stabilității comutației.

Caz tipic de regim tranzitoriu îl dă reglarea în trepte a fluxului motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie.

La reglarea în trepte a fluxului motoarelor, trecerea de la o treaptă de slăbire a cîmpului la alta se face cu salturi de curent conform fig.1.7.

Aceste salturi, la unele motoare electrice de locomotive diesel, la număr redus de trepte de slăbire, depășesc 25% din curentul inițial de trecere.

În cazul motorului GDM-533 [1] [7] de pe locomotiva diesel 060-DA-1, care are curentul inițial de trecere în jur de 525 A, saltul de curent la treapta întâia este de 140 A, la treapta doua este 159 A, la treapta treia este 154 A, care exprimat în procente, față de curentul de trecere stabilizat, depășește 23% la treapta doua.

În acest caz, saltul de curent atrage după sine creșterea valorii t.e.m. reactive  $e_r$  în comparație cu cea de la regi-

mul staționar, întrucât fluxul polilor auxiliari în caz general, rămâne în urmă ca timp și valoare față de curent.

În regimul tranzitoriu în secția scurtcircuitată apar trei tensiuni induse:

- T.e.m. reactivă  $e_r$ , care este proporțională cu curentul  $I_m$  al motorului întrucât turajia rămîne aproape constantă pe perioada regimului tranzitoriu, din cauza maselor mari ce le antrenează motorul:

$$e_r \equiv I_m \quad (3.61)$$

- T.e.m. transformatorică  $e_t$ , produsă ca urmare a schimbării fluxului principal al motorului și care are valoarea:

$$e_t = w_s \frac{d\phi}{dt} \cdot 10^{-8} \quad [V] \quad (3.62)$$

La micșorarea fluxului, această t.e.m. acționează în același sens cu t.e.m. reactivă, contribuind la intensificarea procesului de comutație. Valoarea ei însă este relativ mică și scade repede în procesul tranzitoriu.

- T.e.m. de comutație  $e_k$ , creată de cîmpul polilor auxiliari de comutație pentru a compensa t.e.m. reactivă și care este proporțională cu fluxul acestora:

$$e_k \equiv \phi_k \quad (3.63)$$

T.e.m. rezultantă care rămîne în secția scurtcircuitată va avea valoarea:

$$\Delta e_r = e_r - e_k + e_t \quad (3.64)$$

Utilizarea sistemului de reglare continuă a fluxului cu tiristoare introduce încă o t.e.m. reactivă suplimentară  $e_{rs}$ , din cauza componenței alternative a curentului reglat din motor, care rămîne nefiltrată de rezistența de șuntare permanentă din schemă.

Această componentă este însă foarte mică.

Compensarea rezidului de tensiune reactivă  $\Delta e_r$ , cu ajutorul cîmpului polilor de comutație este greoaie și de aceea

am preconizat unele măsuri speciale de ecranare a înfăşurărilor din ancoasă cu benzi din cupru în cazul slăbirilor pronunţate de câmp ( $\alpha < 0,3$ ).

### 3.1.6. Determinarea intensităţii comutaţiei

Stabilirea cu exactitate a t.e.m. reactive  $e_r$ , care este elementul de bază al determinării intensităţii comutaţiei, este foarte greoaie, însă pentru scopuri practice [22] se poate calcula după metoda Pichelmeier. Aşa cum s-a arătat în relaţia (3.6), t.e.m. reactivă depinde de curentul de sarcină, turaţia şi coeficientul constructiv  $K_e$ .

$$e_r = K_e \cdot n_m \cdot I_m$$

unde:

$$K_e = \frac{W_s \cdot l_i \cdot N}{60 \cdot a} \left[ 0,6 \frac{h_a}{b_a} + \frac{l_s}{l_i} + \frac{0,25}{AS \cdot l_a \cdot W_s \cdot v_a} \right] \cdot 10^{-8} \quad (3.65)$$

Termenul din paranteză este permeanţa medie specifică a secţiilor ce se comută.

Ultimul termen din paranteză  $\frac{0,25}{AS \cdot l_a \cdot W_s \cdot v_a}$  reprezintă t.e.m. egală cu 0,5 V, necesară pentru compensarea căderii de tensiune pe perii.

În acest caz expresia pentru calculul t.e.m. reactive  $e_r$  ia forma:

$$e_r = \frac{W_s \cdot l_i \cdot N}{60 \cdot a} \left[ 0,6 \frac{h_a}{b_a} + \frac{l_s}{l_i} \right] \cdot 10^{-8} \cdot I_m \cdot n_m + 0,5 \quad (3.66)$$

unde:

- $W_s$  - numărul de spire în secţia ce se comută;
- $l_i$  - lungimea activă a indusului în [cm]
- $N$  - numărul conductorilor înfăşurării indusului;
- $a$  - numărul căilor de curent;
- $h_a$  - înălţimea ancosei în [cm];
- $b_a$  - lăţimea ancosei în [cm];
- $l_s$  - lungimea capetilor bobinei indusului în [cm].



Pentru motoarele electrice de tracțiune de pe locomotivele diesel, t.e.m. reactivă poate fi determinată cu relația:

$$e_r = e_{rn} K_i \cdot K_n \quad (3.67)$$

unde:

$$K_i = \frac{I_{nmax}}{I_n}$$

$$K_n = \frac{n_{max}}{n_n}$$

$I_{nmax}$  - curentul corespunzător turației maxime la slăbirea maximă de câmp.

Dintr-o analiză detaliată a comutației la o gamă mare de motoare [22] s-a stabilit că nivelul admis al t.e.m. reactive nominale și maxime se determină după raportul lor:

$$K_{er} = \frac{e_{rmax}}{e_{rn}} \quad (3.68)$$

Valoarea maximă a t.e.m. reactive pentru motoarele electrice de pe locomotive diesel este de 6,5 V iar coeficientul  $K_{er}$  are valoarea cuprinsă între 1,87 - 4,57.-

Pentru motorul GDM-533 s-au efectuat calcule în regim nominal la  $\alpha = 1$  și regim de slăbire maximă de câmp pentru  $\alpha = 0,25$  la diferiți curenți constanți de reglare 500 A, 595 A și 655 A.

Pentru regimul nominal utilizând pentru  $e_r$  relația (3.6) și pentru  $K_e$  relația (3.61) în care termenul din paranteză este  $\lambda$ , care practic se ia egal cu 4, rezultă:

$$\begin{aligned} e_{rn} &= K_e I_n \cdot n_n = \frac{W_s \cdot l_i \cdot N}{60 a} \cdot \lambda \cdot I_n \cdot n_n \cdot 10^{-8} = \\ &= \frac{78 \cdot 0,25 \cdot 600}{60 \cdot 3} \cdot 4 \cdot 820 \cdot 495 \cdot 10^{-8} = 1,05 [V] \end{aligned}$$

Pentru regimul cel mai intens de comutație, slăbire maximă de câmp și viteză maximă, în calculul t.e.m. reactive

maxime se utilizează relațiile (3.67) și (3.68).

Pentru curentul constant de reglare  $I_m = 500 [A]$  și  $\alpha = 0,25$ , utilizând datele din fig.4.15 rezultă:

$$e_{rmax} = e_{rn} \cdot \frac{I_{nmax}}{I_n} \cdot \frac{n_{max}}{n_n} = 1,05 \cdot \frac{500}{820} \cdot \frac{3900}{495} = 5,04 [V]$$

$$K_{er} = \frac{e_{rmax}}{I_m} = \frac{5,04}{1,05} = 4,8$$

Valoarea lui  $K_{er}$  depășește limitele admise, dar nici motorul nu admite un așa regim de slăbire, întrucât se depășește cu mult turația maximă admisă.

Pentru curentul constant de reglare

$I_m = 595 [A]$  și  $\alpha = 0,25$  rezultă:

$$e_{rmax} = 4,1 [V] \text{ și } K_{er} = 3,9$$

Valoarea lui  $K_{er}$  se încadrează în limite, dar se depășește turația maximă admisă a motorului.

Pentru curentul constant de reglare

$I_m = 655 [A]$  și  $\alpha = 0,25$  rezultă:

$$e_{rmax} = 3,74 [V] \text{ și } K_{er} = 3,56$$

Motorul nu depășește turația maximă admisă.

Din compararea rezultatelor se poate trage concluzia că, la reglarea continuă și pronunțată a cîmpului este avantajos să se meargă cu un curent constant de reglare apropiat de limita maximă a saltului de curent al reglării în trepte.

Prin aceasta se obține un regim de comutație mai avantajos și o utilizare mai bună a transmisiei ca urmare a utilizării motorului de tracțiune la o turație care nu depășește cea maximă admisă.

### 3.1.7. Determinarea slăbirii optime a cîmpului motoarelor de tracțiune

Din relația (3.19) reiese că, pentru o putere constantă

cel mai greu regim de funcționare este la viteza maximă și slăbirea maximă a fluxului.

În acest regim t.e.m. reactivă  $e_r$  și tensiunea dintre lamelele sau segmentii ai colectorului,  $U_k$ , atinge valorile maxime.

Valoarea tensiunii  $U_k$  limitează posibilitatea măririi tensiunii iar valoarea t.e.m.  $e_r$ , limitează gradul de slăbire a câmpului și mărimea curentului cerut de motor la viteză maximă. În cazul puterii constante, mărimea curentului cerut de motor este invers proporțională cu tensiunea și deci, mărimea tensiunii conduce practic la scăderea t.e.m. reactive  $e_r$ . Mărimea tensiunii  $U_k$  nu este proporțională cu tensiunea la motor  $U_m$ . La aceeași tensiune medie între lamelele colectorului, tensiunea între segmentii depinde foarte mult de curentul absorbit de motor, întrucât de acesta depinde, solenația de reacție a indusului și gradul de deformare al inducției pe cercul colectorului.

În acest regim de funcționare ( $U_m = U_{\max}$  și  $\alpha = \alpha_{\min}$ ), tensiunea  $U_{k\max}$  maximă dintre lamelele (segmentii) colectorului va fi: [26]

$$U_{k\max} = \frac{2 p U_{\max}}{K \alpha_p} \left( 1 + 0,67 \alpha_p \frac{K}{4 a p W_s \alpha_{\min}} \right) \quad (3.69)$$

unde:

$\alpha_p$  - coeficientul de acoperire polară

$$\text{Înlocuind } \frac{AW_a}{AW_{ex}} = \frac{K}{4 a p W_s \alpha_{\min}} \text{ și } U_{\max} = U_n \sqrt{\frac{K_v \cdot K_s \cdot \alpha}{\gamma}}$$

rezultă:

$$U_{k\max} = \frac{2 p \cdot U_n}{K \alpha_p} \sqrt{\frac{K_v \cdot K_s}{\gamma}} \sqrt{\alpha + 0,67 \alpha_p \frac{K}{4 a p W_s \sqrt{\alpha}}} \quad (3.70)$$

Egalînd cu zero valoarea derivatei întâia a funcției  $\frac{d U_k}{d \alpha} = 0$ , rezultă valoarea minimă a tensiunii dintre lamelele de colector.

$$U_{k0 \min} = \frac{4 p U_n \sqrt{\frac{K_v \cdot K_s \cdot \alpha_{\min}}{\gamma}}}{K \alpha_p} \quad (3.71)$$

. / .

Iar din aceasta se determină valoarea optimă a slăbirii maxime de câmp

$$\alpha_{o \min} = 0,67 \alpha_p \frac{K}{4ap W_s} \quad (3.72)$$

Din calcule rezultă că pentru motorul de tracțiune GDM-533, utilizat pe locomotiva diesel electrică a CFR 060-DA-1  $\alpha_{o \min} = 0,344$  iar tensiunea maximă între lamele corespunzătoare acestei slăbiri este  $U_{kmax} = 21,64$ .

În practică se poate utiliza slăbire mai adâncă de câmp fără să se înrăutățească condițiile de potențial la colector, privind tensiunea  $U_k$ .

În cazul că motorul dezvoltă o viteză maximă la  $\alpha_1 = 5\alpha_{o \max}$  și tensiunea la colector este:

$$U_1 = U_o \sqrt{S} = U_n \cdot \sqrt{\frac{K_v \cdot K_s \cdot \alpha_{o \min} S}{\delta}} \quad (3.73)$$

unde: [26]

$$U_o = U_n \cdot \sqrt{\frac{K_v \cdot K_s \cdot \alpha_o}{\delta}}, \text{ rezultă:}$$

$$U_{k1} = \frac{2p \cdot U_o \sqrt{S}}{K \alpha_p} \left( 1 + 0,67 \alpha_p \frac{K}{4ap W_s \cdot \alpha_o \cdot S} \right) =$$

$$= \frac{2p U_o \sqrt{S}}{K \alpha_p} \left( 1 + \frac{1}{S} \right) \quad (3.74)$$

Făcînd raportul între  $U_{k1}$  și  $U_{ko \min}$  găsim:

$$\frac{U_{k1}}{U_{ko \min}} = \sqrt{\frac{S}{2}} \left( 1 + \frac{1}{S} \right). \quad (3.75)$$

Dacă se admite chiar  $S = 0,5$  se obține  $\frac{U_{k1}}{U_{ko \min}} = 1,06$

deci o influență neesențială.

Valoarea tensiunii  $U_{kmax}$  în cel mai greu regim de funcționare nu trebuie să depășească 35 V [22].

Din acest punct de vedere motorul GDM-533 mai are rezerve și deci slăbirea de câmp poate să fie mai pronunțată de 0,34 ajungînd chiar sub 0,25 întrucît și tensiunea e.m.reactivă

$e_r$  determinată în paragraful 3.1.6 nu depășește limitele admise la slăbirea adâncă a cîmpului  $\alpha = 0,25$ .

### 3.2. MĂSURI CONSTRUCTIVE PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA COMUTAȚIEI MOTOARELOR ÎN REGIM DE SLĂBIRE PROFUNDTATEA A CÎMPULUI

#### 3.2.1. Generalități

Se cunoaște că, t.e.m. indusă într-o bobină a indusului poate fi descompusă în diferite componente fictive care în final, în zona de comutație a mașinilor electrice de c.c. cu poli de comutație se pot împărți în t.e.m. de mișcare  $e_k$  și t.e.m. reactivă  $e_r$ .

În fig.3.4 se arată un exemplu de t.e.m. de repaus ca funcție de mijlocul deschiderii creștăturii și curba cîmpului polilor de comutație  $B_k$  care induce o t.e.m. de mișcare  $e_k$  (punctat pentru bobinaj diametral) respectiv pentru bobinaj scurtat.

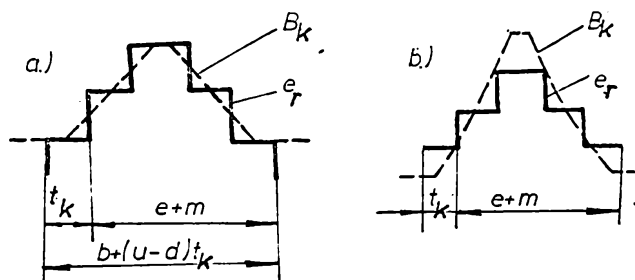


Fig.3.4

Valoarea admisibilă a lui  $e_{rn}$  depinde de reziduuul  $e_k + e_r$  din t.e.m. rezultantă care împiedică o comutație perfect liniară și poate prilejui în anumite condiții scînteii la colector.

. / .

Din cele de mai sus rezultă că în această problemă are un rol hotărâtor cîmpul transversal al creștăturii și permeanța specifică a ei.

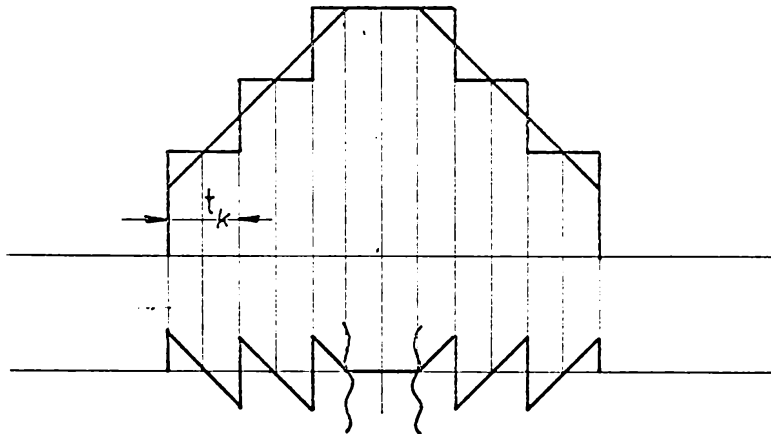


Fig. 3.5

3.2.2. Analiza frecvențelor extracurenților de comutație

Reziduul  $e_k + e_r$  din t.e.m. rezultantă are o formă în dinți de fierăstrău - fig. 3.5. - cu perioada  $t_k$ . Frecvența fundamentală a acestei tensiuni este deci:

$$f_1 = \frac{n_m K}{60} \quad [\text{Hz}] \quad (3.76)$$

unde:

$K$  - numărul lamelor de colector

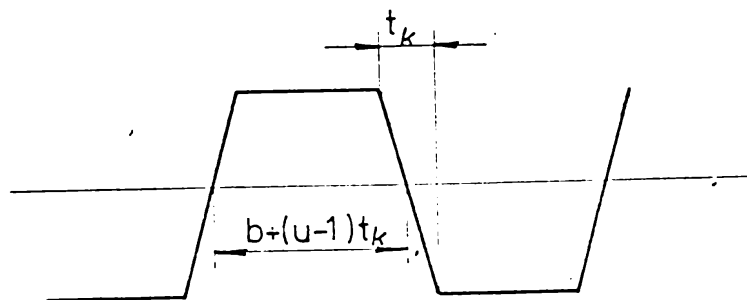


Fig. 3.6

. / .

Descompunerea în serie Fourier ne dă:

$$I_e = \frac{2}{\pi} I \sum_{v=1}^{\infty} \frac{(-1)^{v+1}}{v} \sin v\omega (t-t_0) \quad (3.77)$$

unde:

$v$  - ordinul armonicii;

$I$  - amplitudinea curentului sub formă de dinte;

$$T = \frac{1}{f} = \frac{60}{n_m K} - \text{perioada}$$

Se observă că vom avea similar

$$B_e = B \sum_{v=1}^{\infty} \frac{(-1)^{v+1}}{v} \sin v\omega (t-t_0) \quad (3.78)$$

adică componenta inducției transversale corespunzătoare extracurenților de comutație va avea amplitudinea armoniciilor invers proporțională cu ordinul armonicii.

Curentul dintr-un conductor al indusului, în cazul unei comutații perfect liniare, variază ca în fig.3.6.

Frecvența fundamentală este:

$$f_1 = \frac{n_m \cdot p}{60} \quad (3.79)$$

Descompus în serie Fourier avem:

$$I_0 = \frac{2 I_1 T}{\pi^2 S} \sum_{v=1}^{\infty} \frac{\sin v\omega S}{v^2} \sin v\omega (t-t_0) \quad (3.80)$$

unde:

$I_1$  - curentul prin secție

$$T = \frac{1}{f_1} = \frac{60}{n_m p}$$

$$S = \frac{t_k}{2} \frac{60}{n_m} \quad \begin{array}{l} \text{ timpul de parcurgere a unei jumătăți} \\ \text{ de lamelă} \end{array}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{ pulsația fundamentală.}$$

Se observă că similar

. / .

$$B_{qe} = B' \sum \frac{\sin v\omega S}{v^2} \sin v\omega(t-t_0) \quad (3.81)$$

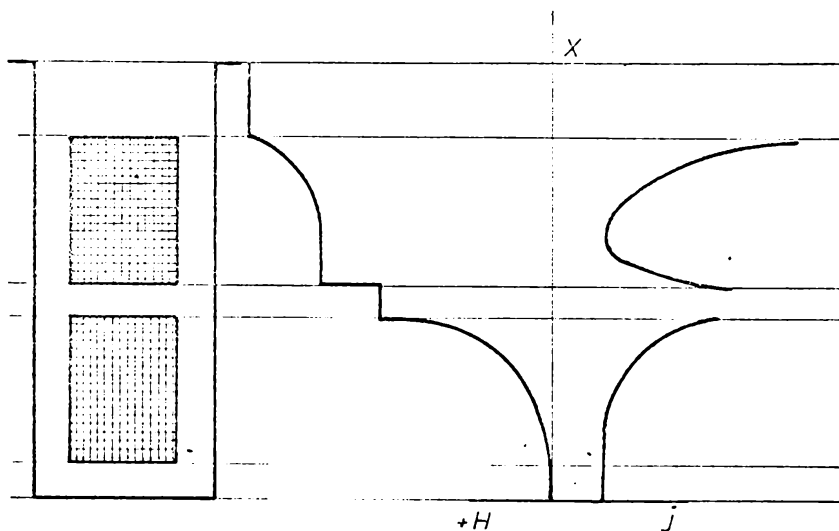


Fig. 3.7

Deci, inducția cîmpului transversal, corespunzătoare acestui curent, va avea amplitudinea armonicilor invers proporțională cu pătratul ordinului armonicii.

Fiind vorba de armonici impare se vor lua în considerare doar armonicile de ordinul 1 și 3.

Raportul celor două frecvențe fundamentale este:

$$\frac{f_1}{f_1'} = \frac{K}{p} \quad (3.82)$$

### 3.2.3. Calculul amortizării extracurenților

Factorul de majorare a rezistenței unui strat de conductoare așezate în creștătură este [9]

$$k_{cp} = \varphi(\xi) + \frac{I_n (I_n - I_p)}{I_p^2} \varphi(\xi) \quad (3.83)$$

unde:

$$\varphi(\xi) = \left(\frac{\xi}{j}\right) \frac{\text{sh } 2\xi + \sin 2\xi}{\text{ch } 2\xi - \cos 2\xi} \quad (3.84)$$



$$\varphi(\xi) = 2\xi \frac{\operatorname{sh} \xi - \sin \xi}{\operatorname{ch} \xi - \cos \xi} \quad (3.85)$$

iar  $\xi = \beta_{\text{r}}$  h - factorul de refulare (3.86)

unde:

$$\beta_{\text{r}} = 2\pi \sqrt{\frac{n_s \cdot b}{b_c} \cdot \frac{f}{\rho \cdot 10^5}} \quad (3.87)$$

unde:

- h - înălțimea benzii amortizoare în [cm;]
- b - grosimea benzii amortizoare - în [cm;]
- b<sub>c</sub> - lățimea creștăturii, în [cm;]
- f - frecvența în [Hz]
- n<sub>s</sub> - numărul benzilor pe strat.

Factorul mediu de majorare a rezistenței porțiunii de bobinaj așezată în creștătură cu n<sub>s</sub> straturi este:

$$k_{\infty} = 1 + \frac{4}{3\pi} n_s^2 \xi^2 \quad (3.88)$$

Curentul provocat de tensiunile reziduale va fi refulat mult mai puternic prin efectul pelicular înspre marginile conductoarelor, decât componenta corespunzătoare unei comutații perfect liniare.

În fig.3.7 s-a prezentat, în dreapta axei, repartiția densității de curent în cazul unui bobinaj în două straturi de bare și în stînga variația cîmpului magnetic transversal al creștăturii.

Se vede că datorită puternicei refulări a extracurentului de comutație din bare, cîmpul transversal va avea variații mai puternice în zonele de margine ale conductoarelor.

Pentru reducerea tensiunilor de comutație, teoretic [24] se pot folosi plăci frontale masive în ancosă.

În cazul unei mașini date cu poli de comutație introducerea unor astfel de plăci masive e dificilă și influențează negativ asupra comutației, modificînd inductivitatea transver-

sală a creștăturii a cărui efect este compensat de polii de comutație, ocupă mult spațiu și mărește pierderile suplimentare.

În aceste cazuri este indicat să se amortizeze doar extracurenții de comutație [25] prin limitarea variației brusce a fluxului magnetic la sfârșitul perioadei de comutație.

Intrucât asemenea ecrane trebuie să acționeze numai în decurs de circa  $10\mu$  sec, grosimea benzilor poate să fie foarte mică.

Stabilirea formei câmpului transversal în creștătură, respectiv a densității curentului în benzile amortizoare, este o problemă dificilă, ea a fost studiată teoretic introducând simplificări pentru a putea fi rezolvate ecuațiile diferențiale care descriu fenomenul.

În cele ce urmează vom acorda atenție mai mult unui alt aspect al fenomenelor.

#### 3.2.4 Determinarea pierderilor și dimensiunilor amortizoarelor

Cu cât pierderile în amortizor, datorită extracurenților de comutație vor fi mai mari, cu atât amortizarea va fi mai bună.

În același timp însă, trebuie ca amortizorul să nu influențeze curentul principal de comutație.

Pierderile într-un conductor, datorită curenților turbionari induși în câmpul transversal al creștăturii se determină cu expresia [9] :

$$P = \frac{I^2}{6} \frac{h^2}{\rho} \sum_{v=1}^{\infty} K_{Mv} (f_v B_{qv})^2 \quad (3.89)$$

unde:

$K_{Mv}$  - factor de reacție avînd valoarea care se poate exprima aproximativ:

$$K_{Mv} = \frac{6}{\xi^3} \frac{\operatorname{sh} \xi - \sin \xi}{\operatorname{ch} \xi - \cos \xi} \quad (3.90)$$

unde:

$\xi$  - factorul de refulare

. / .

Variația mai exactă a lui  $K_{Mv}$  funcție de  $\xi$  se poate vedea în fig.3.8.

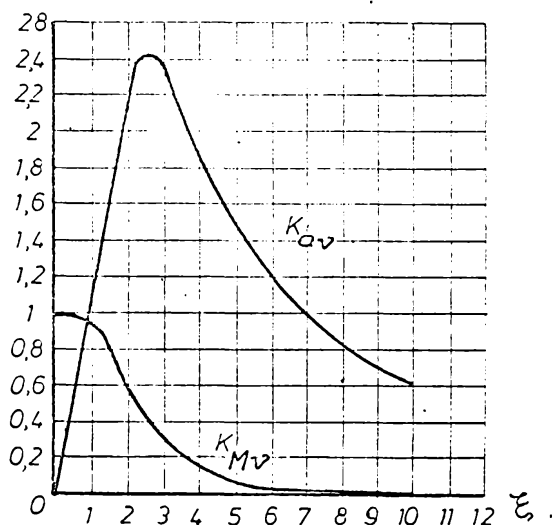


Fig.3.8

Se poate scrie deci, pentru una din armonici:

$$P_v = \frac{10^5}{24} \frac{bc}{nb} B_{qv}^2 \xi \left[ \frac{6}{\xi^3} \frac{\text{sh } \xi - \sin \xi}{\text{ch } \xi - \cos \xi} \right] f_v \quad (3.91)$$

vom nota factorul de amortizare:

$$K_{av} = \frac{6}{\xi} \frac{\text{sh } \xi - \sin \xi}{\text{ch } \xi - \cos \xi} \quad (3.92)$$

$$K_1 = \frac{10^5}{24} \frac{bc}{nb} \quad (3.93)$$

din:

$$P_v = K_1 B_{qv}^2 f_v K_{av} \quad (3.94)$$

Din fig.3.8 se observă că funcția  $k_{av}(\xi)$  are un maxim la  $\xi = 2,25$ .

Rézultă că, pentru o anumită frecvență amortizarea este maximă, dacă se aleg anumite dimensiuni ale plăcilor amortizoare introduse în creștături corespunzătoare lui  $\xi = 2,25$ .

./.

Din cele arătate anterior (3.89) (3.90) și (3.94) rezultă că puterea disipată în benzile amortizoare va fi pentru extracurenții de comutație

$$P_c = k_1 \sum_{v=1}^{\infty} \frac{1}{v} f_{av} K_{av} \quad (3.95)$$

iar pentru curentul fundamental:

$$P_c = k_2 \sum_{v=1}^{\infty} \frac{1}{v^3} f_{av} K_{av} \quad (3.96)$$

Din relațiile (3.86) și (3.87) și luând pentru factorul de refulare  $\xi$ , valoarea sa egală cu 2,25 corespunzător maximului funcției  $K_{av}(\xi)$ , obținem:

$$h = \sqrt{\frac{b_c}{n_s b} \frac{2,25^2 \rho \cdot 10^5}{4 \pi^2 f_1}} \quad (3.97)$$

Alegînd dimensiunile benzilor de amortizare din creștătură conform relației (3.97) unde  $f_1$  = frecvența armoniciei de ordinul întâi a extracurenților de comutație, se va obține o amortizare optimă scopului propus.

În cazul mașinilor alimentate cu tensiune mare raportul  $\frac{k}{p}$  este mare  $k \gg p$  ( $p$  fiind în general 1 sau 2) deci și  $f_1 / f_1'$  este mare.

Alegînd dimensiunile benzilor de amortizare în felul arătat, se va obține o valoare suficient de mică a lui  $P_c$  față de  $P_e$  datorită faptului că:

$$f_1 K_{av} \gg f_1' K_{av}'$$

iar armonicile superioare ale inducției datorită cîmpului transversal creat de curentul principal de comutație (liniar) care cu o frecvență apropiată de  $f_1$  sînt foarte slabe, (sînt invers proporționale cu puterea a treia a ordinului).

În relația (3.87) de obicei  $n = 2$  deoarece se vor amplasa benzi pe ambele fețe ale creștăturii iar  $0 < b < 1$  mm în funcție de spațiul disponibil din creștătură. Dacă benzile sînt din cupru se poate lua  $\rho = \frac{1}{50} [\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}]$ .

Astfel că înălțimea benzilor  $h$  se poate calcula funcție de lățimea creștăturii  $b_c$  și frecvența primei armonici a extracurenților de comutație  $f_1$ .

Din cele analizate mai rezultă că datorită refluxării curentului, este rațional să se amplaseze benzi în special în partea superioară a creștăturii începînd de la marginea superioară a stratului inferior de conductori.

Densitatea curentului  $j_0$ , care la repartiție uniformă în secțiunea benzii produce aceleași pierderi zonale ca și curenții turbionari pentru benzi de cupru este:

$$j_0 = 0,64 h \sqrt{\sum \left( \frac{f_y}{100} \frac{B_{qy}}{100} \right)^2} \quad [A/mm^2] \quad (3.98)$$

$f_y$  - frecvența în  $[Hz]$

$B_{qy}$  - inducția în  $[Gs]$

$h$  - în  $[cm]$

În cele prezentate nu s-a luat în considerare influența cîmpului transversal datorită cîmpului principal. Calculul curbei periferice a lui  $B_q$  se lovește de dificultăți considerabile. În fiecare caz în parte el se poate determina prin măsurători balistice efectuate asupra indusului în repaus [9].

La dimensionarea benzilor se va căuta ca pierderile ce apar din această cauză să fie cît mai mici prin alegerea cît mai mică a grosimii benzii.

### 3.2.5. Dimensionarea amortizoarelor de ancoșe pentru motoarele Cf- $\frac{300}{200}$ și GDM-533

Pentru ca amortizoarele de ancoșe să aibe efect maxim de amortizare a extracurenților pentru slăbiri pronunțate de cîmp dimensionarea lor trebuie făcută la o turajie corespunzătoare zonei de slăbire maximă practică în prezent ( $\alpha = 0,4$ ) sub turajia maximă constructivă.

Calculul amortizoarelor s-a făcut pentru motorul Cf- $\frac{300}{200}$  utilizat la încercări pe ștand și pentru motorul GDM-533 utilizat la locomotivele C60-DA-1, cu relațiile stabilite în capitolul 3.2.4.

Pentru motorul de probă Cf  $\frac{300}{200}$  calculul se face la turația de 1000 rot/min. În acest caz avem:

$$f_1 = \frac{n \cdot K}{60} = \frac{1000 \cdot 165}{60} = 2755 \text{ [Hz]}$$

Frecvența fundamentală a curentului principal la turația maximă admisă a motorului va fi:

$$f_1' = \frac{n' \cdot p}{60} = \frac{1200 \cdot 2}{60} = 40 \text{ [Hz]}$$

Raportul frecvențelor rezultă:

$$\frac{f_1}{f_1'} = \frac{2755}{40} \approx 69$$

iar

$$\frac{\xi_1}{\xi_1'} = \sqrt{69} = 8,3$$

Admițînd  $\xi_1 = 2,25$  la care funcția  $K_{av}(\xi)$  are maximum, vom avea:

$$\xi_1' = \frac{2,25}{8,3} \approx 0,27$$

Din diagrama fig. 3.8 acestei valori a lui  $\xi_1'$  îi corespunde  $K_{al}' = 0,3$ , față de  $K_{al} = 2,55$

Rezultă:

$$f_1 K_{al} = 2755 \cdot 2,55 = 7040$$

$$f_1' K_{al}' = 40 \cdot 0,3 = 12$$

Efectul de amortizare a curentului principal va fi de  $\frac{7040}{12} = 586$  ori mai slab, ca cel al armonicii principale a extracurenților de comutație.

Alegînd grosimea benzii  $\frac{b}{b_c} = \frac{0,3}{12}$  amplasată de-a lun-

. / .

gul ambelor fețe ale crestăturii, deci  $n = 2$ , rezultă:

$$h = \sqrt{\frac{b_c}{n^5} \frac{2,25^2 \rho \cdot 10^5}{4 \pi^2 f_1}} = \sqrt{\frac{12}{2 \cdot 0,5} \frac{2,25^2 \cdot \frac{1}{50} \cdot 10^5}{4 \cdot 5,14^2 \cdot 2755}} = 1,35 \text{ [cm]}$$

Asemenea platinzi se amplasează în ancoșă ca să fie în dreptul zonelor de densitate maximă a curentului din conductorii secției, conform fig.3.7.

Pentru motorul GDM-533 calculul se face la turația de 1750 rot/min, corespunzătoare treptei a doua de slăbire de câmp.

În acest caz folosind același procedeu avem:

$$f_1 = \frac{n \cdot K}{60} = \frac{1750 \cdot 300}{60} = 8775 \text{ [Hz]}$$

$$f_1' = \frac{n \cdot p}{60} = \frac{2300 \cdot 3}{60} = 115 \text{ [Hz]}$$

$$\frac{f_1}{f_1'} = \frac{8775}{115} = 76,4$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{\infty} i}{\sum_{i=1}^{\infty} i'} = \sqrt{76,4} = 8,7$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{\infty} i'}{\sum_{i=1}^{\infty} i} = \frac{2,25}{8,7} = 0,258$$

Din diagrama fig.3.8 rezultă:

$$K_{a1}' = 0,2$$

$$f_1 \cdot K_{a1}' = 8775 \cdot 2,55 = 22400$$

$$f_1' \cdot K_{a1}' = 115 \cdot 0,2 = 23$$

Efectul de amortizare al curentului principal va fi de  $\frac{22400}{23} = 1000$  ori mai slab ca cel al armonicii principale a

extracurenților de comutație.

Alegând grosimea benzii  $\frac{b_c}{b} = \frac{0,20}{25}$  amplasată de-a lungul ambelor fețe ale creștăturilor, avem:

$$h = \sqrt{\frac{b_c}{2b} \frac{2,25^2 \cdot \rho \cdot 10^5}{4\pi^2 r_1}} = \sqrt{\frac{23}{2 \cdot 0,2} \frac{2,25^2 \cdot \frac{1}{20} \cdot 10^5}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 3775}} = 1,16 \text{ [cm]}$$

Făcînd comparația rezultatelor obținute prin calcul la aceste două motoare, se trage concluzia că la motoarele de turație mare, avînd și raportul  $\frac{K}{p}$  mare, eficiența amortizoarelor de ancoșă sub formă de benzi este mai mare, decît la cele cu turație mai mică.

### 3.3. INFLUENȚA SLĂBIRII CONTINU A CÎMPULUI MOTOARELOR ELECTRICE DE TRACȚIUNE CU EXCITATIE SERIE ASUPRA COEFICIENTULUI DE REGLARE SI A GRĂUBĂȚII GENERATORULUI

#### 3.3.1. Stabilirea dependenței coeficientului de reglare al generatorului de numărul de trepte de slăbire a cîmpului

Reglarea turației motorului electric de tracțiune, care lucrează în transmisia electrică de pe locomotivele diesel, se realizează atît prin variația tensiunii la colector, cît și prin variația fluxului polilor principali.

Expresia generală a coeficientului de reglare a transmisiei electrice, respectiv a reglării vitezei locomotivei ( $K_V = K_G \cdot K_M \cdot K_O$ ) la schemă constantă de conectare a motoarelor electrice, este determinată de produsul dintre coeficientul de reglare al generatorului  $K_G$  și al motoarelor  $K_M$ , întrucît  $K_O=1$ :

$$K_V = K_G \cdot K_M \quad \text{de unde} \quad K_G = \frac{K_V}{K_M}$$

$$K_V = \frac{V_{\max}}{V_{\text{nom}}} \quad \text{iar} \quad K_M = \frac{\Phi_{m \text{ nom}}}{\Phi_{m \text{ min}}} \quad \text{rezultă:}$$

$$K_G = \frac{V_{\max} \cdot \Phi_{m \text{ min}}}{V_{\text{nom}} \cdot \Phi_{m \text{ nom}}} \quad (3.99)$$



Din această expresie, rezultă că valoarea coeficientului de reglare al generatorului  $K_g$ , la aceleași valori nominale ale caracteristicilor motorului, scade cu micșorarea fluxului.

De fapt, coeficientul de reglare al generatorului,  $K_g$ , reprezintă raportul dintre tensiunea sa maximă  $U_{g \max}$  și tensiunea regimului de durată  $U_{g \infty}$  sau nominală  $U_{gn}$ . ( $U_{g \infty} = U_{gn}$ )

$$K_g = \frac{U_{g \max}}{U_{gn}} \quad (3.100)$$

Valoarea acestui coeficient, în cazul schemei constante de legare a motoarelor de tracțiune, pentru a asigura reglarea vitezei în limitele cerute, depinde de anumiți parametri ai motorului.

Pentru momentul când se aplică la bornele motoarelor tensiunea maximă  $U_{g \max} = U_{m \max}$  și slăbirea de câmp este maximă  $\alpha = \alpha_{\min}$ , asigurându-se turajia maximă a motoarelor  $n_{\max}$ , avem următoarea expresie a echilibrului tensiunilor din circuit:

$$U_{m \max} = K_m \phi_{m \min} n_{m \max} + I_m R_m$$

Pentru regimul nominal, la câmp plin, expresia echilibrului tensiunilor din circuit are forma:

$$U_{m \text{ nom}} = K_m \phi_{m \text{ nom}} \cdot n_{m \text{ nom}} + I_m \text{ nom} R_m$$

Făcînd raportul acestor două expresii rezultă:

$$\begin{aligned} \frac{U_{m \max}}{U_{m \text{ nom}}} &= \frac{K_m \phi_{m \min} n_{m \max} + I_m R_m}{K_m \phi_{m \text{ nom}} n_{m \text{ nom}} + I_m \text{ nom} R_m} = \\ &= \frac{K_m \phi_{m \min} n_{m \max}}{K_m \phi_{m \text{ nom}} n_{m \text{ nom}} + I_m R_m} + \frac{I_m R_m}{K_m \phi_{m \text{ nom}} n_{m \text{ nom}} + I_m \text{ nom} R_m} \end{aligned}$$

Eliminînd factorul al doilea, avînd în vedere valoarea sa neglijabilă și înlocuind raportul tensiunilor prin coeficientul de reglare  $K_g$ , se obține următoarea relație:

$$\begin{aligned}
 K_G &= \frac{K_m \phi_m \min n_m \max}{K_m \phi_m \min n_m \max + I_m R_m} = \frac{K_m \phi_m \min n_m \max}{(K_m \phi_m \min n_m \max + I_m R_m) \frac{U_m \text{ nom}}{E_m \text{ nom}}} \\
 &= \frac{K_m \phi_m \min n_m \max}{U_m \text{ nom} \frac{U_m \text{ nom}}{E_m \text{ nom}}} = \frac{K_m \phi_m \min n_m \max}{E_m \text{ nom} \frac{U_m \text{ nom}}{E_m \text{ nom}}} = \frac{K_m \phi_m \min n_m \max}{K_m \phi_m \min n_m \max \gamma} = \\
 &= \frac{\phi_m \min n_m \max}{\gamma \cdot \phi_m \min n_m \max} = \frac{B_m \min n_m \max}{\gamma B_m \min n_m \max} \quad (3.101)
 \end{aligned}$$

unde:

$$\gamma = \frac{U_m \text{ nom}}{E_m \text{ nom}}$$

Se cunoaște [26] că, valoarea inducției în întrefier la viteză maximă are expresia:

$$B_m \min = \frac{B_m \text{ nom}}{K_G} \alpha \cdot K_S \quad (3.102)$$

Am introdus această valoare a inducției în expresia (3.101) și am obținut:

$$K_G = \frac{\frac{B_m \text{ nom}}{K_G} \alpha \cdot K_S \cdot n_m \max}{\gamma \cdot B_m \text{ nom} n_m \text{ nom}} = \frac{B_m \text{ nom} \alpha K_S n_m \max}{K_G \gamma B_m \text{ nom} n_m \text{ nom}}$$

$$K_G^2 = \frac{n_m \max K_S \cdot \alpha}{n_m \text{ nom} \gamma} \quad \text{iar}$$

$$K_G = \sqrt{\frac{n_m \max K_S \cdot \alpha}{n_m \text{ nom} \cdot \gamma}} \quad (3.103)$$

Pentru a determina pe  $K_G$  în funcție de numărul de trepte de slăbire de câmp, am recurs la construcția grafică din fig. 3.9 exprimând turcia maximă  $n_m \max$  prin:

$$n_{m \max} = n_{m \min} + \Delta n \cdot m \quad (3.104)$$

unde:

- $\Delta n$  - creșterea de turăție corespunzătoare unei trepte de slăbire a cîmpului;
- $m$  - numărul de trepte de slăbire a cîmpului
- $n_{m \min}$  - turăția minimă a motorului de la care se începe slăbirea de cîmp.  $\left[ \frac{\text{rot}}{\text{min}} \right]$

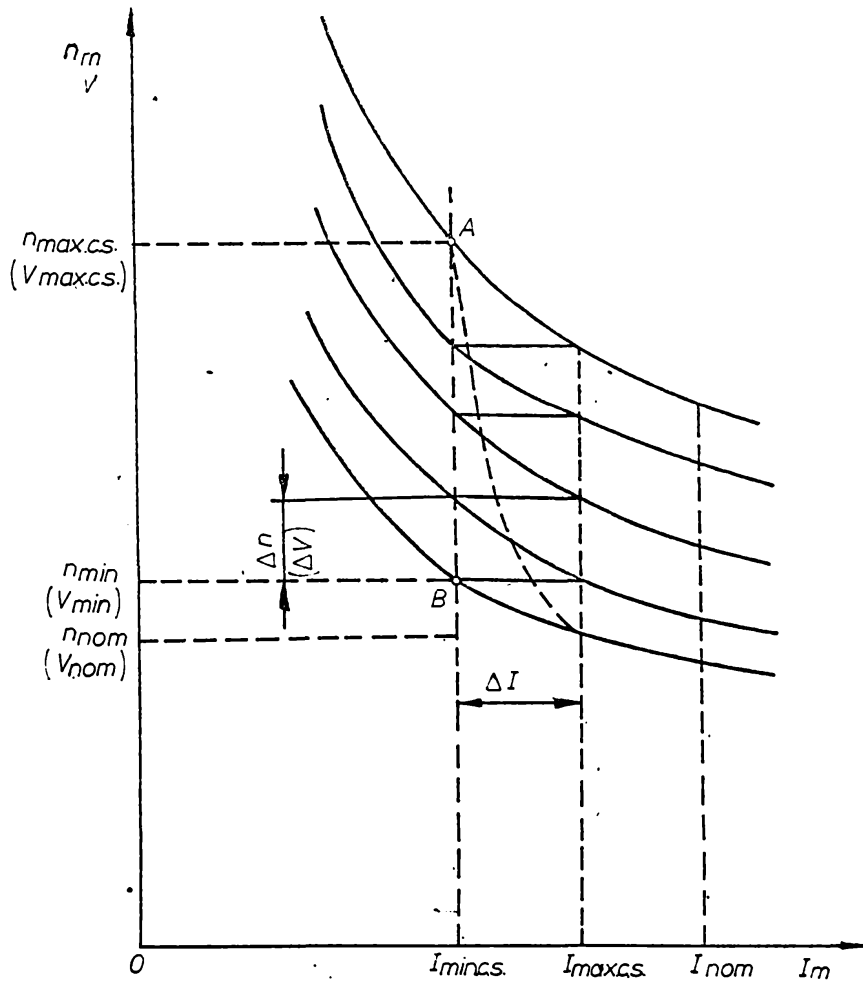


Fig. 3.9

Introducînd această valoare în expresia (3.103) am obține relația:

$$K_g = \sqrt{\frac{\Delta n \cdot m + n_{m \min}}{\gamma \cdot n_{m \text{ nom}}}} \cdot K_s \propto \quad (3.105)$$

• / •

care exprimată la viteza locomotivei va fi:

$$K_S = \sqrt{\frac{\Delta V \cdot m + V_{\min}}{\delta \cdot V_{\text{nom}}}} \quad K_S \propto \quad (3.106)$$

În această expresie,  $K_S$  reprezintă coeficientul de saturație al motorului electric de tracțiune, care se determină grafic [27] din curba fluxului magnetic  $\phi_m(I_m)$  reprezentată în fig.3.10.

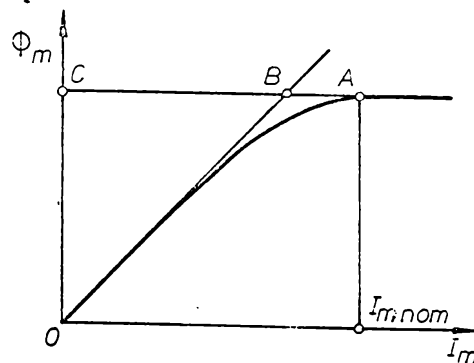


Fig.3.10

Valoarea lui  $K_S$  reprezintă raportul dintre segmentele AC și AB

$$K_S = \frac{AC}{AB}$$

Dând diferite valori lui  $m$  de la  $m = 1$  pînă la  $m = \infty$ , pentru diferiți  $\alpha$  se obține o familie de curbe, care reprezintă variația coeficientului de reglare  $K_G$  al generatorului în funcție de numărul de trepte de slăbire a cîmpului motoarelor electrice de tracțiune la diferiți  $\alpha$ .

Această familie de curbe, reprezentată în fig.3.11 am construit-o pentru transmisia electrică de pe locomotiva diesel electrică 060-DA-1, utilizînd caracteristicile motorului de tracțiune GDM-533.

Din aceste curbe se vede că,  $K_G$  scade cu creșterea numărului de trepte și că la  $m = \infty$ , ceea ce corespunde reglării continue, coeficientul de reglare  $K_G = 1$ , deci generatorul va lucra practic într-un singur punct pe caracteristica sa exten-

. / .

nă, la tensiunea corespunzătoare curentului de începere a slăbirii de câmp.

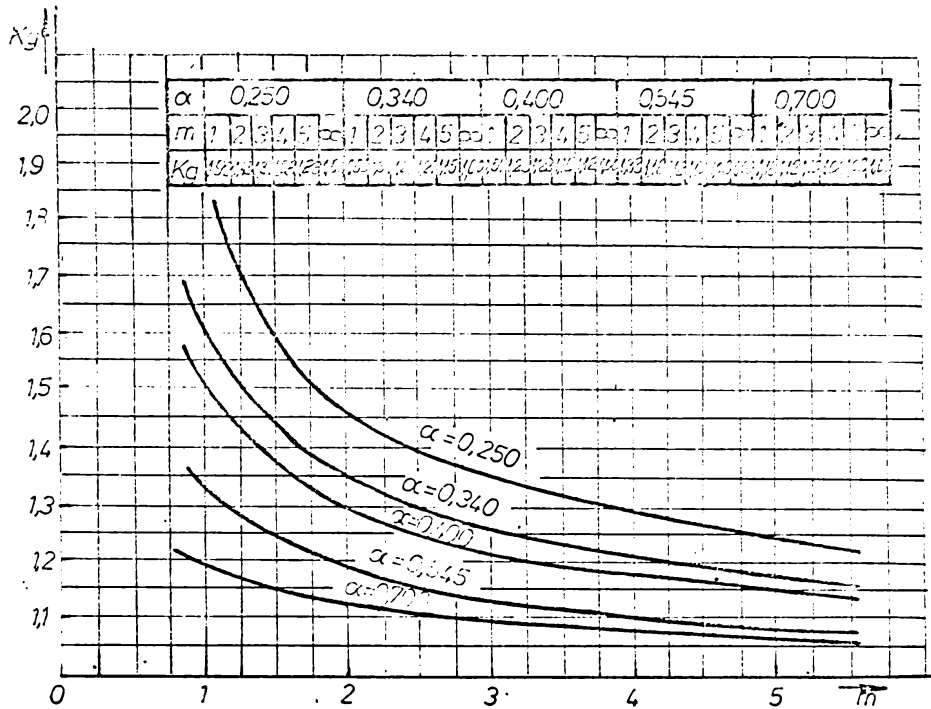


Fig. 3.11

În acest caz, nu mai este necesară reglarea tensiunii generatorului, slăbirea continuă a câmpului asigurând parametrii doriți ai locomotivei. La locomotivele existente, acest lucru conduce la o rezervă de putere în transmisie, iar la cele nou proiectate se poate reduce greutatea generatorului, prin calculul acestuia la o tensiune de  $K_g$  ori mai mică.

Aceste probleme sînt tratate în paragrafele următoare.

### 3.3.2. Influența coeficientului de reglare $K_g$ asupra reducerii greutății generatorului

Reducerea greutății generatorului electric de tracțiune pe unitatea de putere permite să se mărească esențial puterea locomotivelor la greutate și viteză de mers date, avînd celelalte condiții similare. În final, reducerea greutății are ca efect reducerea corespunzătoare a consumului de metal.

Greutatea generatorului electric este determinată de cuplul său nominal și sarcinile electromagnetice de bază - încărcarea lineară a indusului și inducția magnetică din întrefier.

Cuplul generatorului se exprimă cu relația:

$$C_g = \frac{974 P_g}{n_g} = 0,16 \alpha_p AS B_f D_{ag}^2 l_{ag} 10^{-8} \quad [\text{kgfm}] \quad (3.107)$$

unde:

$\alpha_p$  - coeficientul de acoperire polară;

AS - încărcarea lineară a indusului în [A/cm];

$B_f$  - inducția în întrefier în [Gs];

$D_{ag}, l_{ag}$  - corespunzător diametrul și lungimea activă a indusului în [cm]

La valori date AS,  $B_f$  și  $\alpha_p$ , rezultă

$$C_g = D_{ag}^2 l_{ag} \quad (3.108)$$

adică cuplul generatorului este proporțional cu volumul indusului. Greutatea generatorului [3] este aproximativ proporțională cu volumul indusului la puterea 2/3 întrucît greutatea celorlalte părți corespundente se schimbă mai puțin decît greutatea indusului.

$$G = (D_{ag}^2 l_{ag})^{2/3} \quad (3.109)$$

Deci, în calcule orientative se poate admite [23] că, greutatea generatorului este proporțională cu cuplul său la puterea 2/3.

$$G \equiv C_g^{2/3}; \quad (3.110)$$

O particularitate a generatoarelor de tracțiune de pe locomotivele diesel este valoarea scăzută a inducției magnetice în regim nominal datorită faptului că, în regimul curenților mici de sarcină generatorul trebuie să dezvolte, la turație constantă, o tensiune mai ridicată în comparație cu cea nominală. Normele inducției magnetice din circuitul magnetic al generatorului de tracțiune sînt raportate la regimul de tensiune maximă și nu la regimul nominal, deci în regim nominal, inducția va fi mai mică cu raportul tensiunilor, adică cu  $K_g$ .

Aceasta demonstrează că greutatea generatorului, la turația dată, este determinată nu de puterea sa nominală, ci de așa numita "putere tip", adică de produsul curentului de durată  $I_{g\infty} = I_{gn}$  și tensiunea maximă  $U_{gmax}$ :

$$P_{og} = I_{g\infty} \cdot U_{gmax} = I_{gn} \cdot U_{gmax}$$

Din relația  $K_g = \frac{U_{gmax}}{U_{gn}}$  rezultă  $U_{gmax} = K_g \cdot U_{gn}$

Înlocuind pe  $U_{gmax}$  cu valoarea determinată, obținem:

$$P_{og} = I_{gn} \cdot U_{gmax} = I_{gn} \cdot K_g \cdot U_{gn} = K_g \cdot P_{gn} \quad (3.111)$$

Puterea tip a generatorului  $P_{og}$  este de  $K_g$  ori mai mare ca puterea nominală  $P_{gn}$ .

Cuplul tip al generatorului la fel este mai mare de  $K_g$  ori decât cel nominal.

$$C_{og} = K_g \cdot C_{gn} \quad (3.112)$$

Din aceasta rezultă că în aceleași condiții, greutatea generatorului la puterea și turația date, este aproximativ proporțională cu coeficientul  $K_g$  la puterea  $2/3$ .

Așa după cum am dedus anterior, coeficientul de reglare este o variabilă dependentă de numărul de trepte utilizate în reglarea vitezei motoarelor, scăzând cu creșterea numărului acestora, atingând valoarea sa minimă  $K_g = 1$  la reglarea continuă.

În cazul locomotivei diesel electrice O60-DA-1, la care reglarea vitezei motoarelor se face în 3 trepte, la o slăbire a fluxului de  $\alpha = 0,4$  rezultă  $K_g = 1,22$ .

Din comparația acestor două valori, rezultă că greutatea generatorului, la reglarea în trepte poate fi redusă cu circa 14%.

Avînd în vedere însă faptul că se cere sporirea vitezei locomotivei, această rezervă în greutate, care practic este o rezervă în putere, se poate utiliza pentru sporul de putere al generatorului, care în acest caz ajunge la circa 22%.

3.4. MAȘINĂ FIABILITĂȚII COMPARTIMENTULUI ELECTRIC  
DE FORȚĂ AL LOCOMOTIVELI OSO-DA-1 ÎN CAZUL SEA-  
BIRII CONTINUI A CIMPULUI MOTOARELOR DE TRAC-  
ȚIUNE

3.4.1. Considerații generale

Durata de funcționare a echipamentului electric de forță - în speșă a generatorului principal, și a motoarelor de tracțiune - este determinată în primul rând de raportul dintre valoarea temperaturii de regim a înfășurărilor acestora față de valoarea temperaturii de stabilitate termică limitată de clasa de izolație a materialelor utilizate. Cu cât acest raport este mai subunitar, este îndeplinită mai mult una din condițiile de fiabilitate a mașinilor electrice.

Clasa de izolație a mașinilor circuitului de forță al locomotivei OSO-DA-1 este B (stabilitate termică 130°C).

Conform [28] și [29] în urma probelor de tip încălzirile înfășurărilor mașinilor electrice din circuitul de forță au următoarele valori pentru regimul uniozar:

- generatorul principal:

$$T_{CD} = 50^{\circ}\text{C} - \text{înfașurarea derivație}$$

$$T_{JK} = 100^{\circ}\text{C} - \text{înrașurarea separată}$$

$$T_{LF} = 70^{\circ}\text{C} - \text{înfașurarea serie}$$

$$T_{AB} = 90^{\circ}\text{C} - \text{înfașurarea rotorului}$$

- motoarele de tracțiune:

$$T_e = 130^{\circ}\text{C} - \text{înfașurarea de excitație}$$

$$T_r = 75^{\circ}\text{C} - \text{înfașurarea rotorului}$$

Considerînd faptul că la valorile mai sus indicate se adaugă temperatura mediului ambiant (cca. 35°C) se poate observa că înfășurările polilor principali ale motoarelor de tracțiune nu pot fi supuse decît foarte scurt timp regimului uniozar de funcționare, regim în care valoarea curentului este  $I_n = 900 \text{ A}$ .

În condițiile de funcționare din exploatare, aceste înfășurări ale polilor principali sînt supuse într-adevăr unor cu-





zenți  $I \geq 900$  A timp relativ scurt, adică numai la demarare (fapt pentru care uzina producătoare a dat derogare ca  $T_{\theta} = 130^{\circ}\text{C}$  pentru regimul unioară să fie valoare admisibilă), apoi curentul scade pe măsura creșterii vitezei); la viteza maximă valoarea curentului fiind de 500 A.

### 3.4.2. Determinarea încălzirii înfășurărilor polilor principali la câmp plin

În cazul câmpului plin, încălzirea înfășurărilor polilor principali va fi o funcție de curentul și rezistența de excitație

$$T_{\text{ex}} (R_{\text{ex}} I_{\text{ex}}^2) \quad (3.113)$$

### 3.4.3. Determinarea încălzirii înfășurărilor polilor principali la câmp slăbit în trepte

În cazul câmpului slăbit în trepte funcția va avea expresia:

$$T_{\text{ex}\alpha} (R_{\text{ex}\alpha} I_{\text{med}}^2) \quad (3.114)$$

unde:

-  $R_{\text{ex}\alpha}$  - rezistența înfășurării de excitație, prin care trece curentul de excitație de valoare variabilă între  $I_{\text{min}} = 500 \text{ [A]}$ , și  $I_{\text{max}} = 585 \text{ [A]}$

$I_{\text{med}}$  - valoarea medie a curentului variabil de slăbire de câmp.

Din caracteristica motorului fig.4.16 rezultă - prin determinare grafică -  $I_{\text{med}} = 535 \text{ [A]}$  în cazul slăbirii câmpului în 4 trepte (a 4-a treaptă fiind introdusă în prezenta lucrare).

Din fig.4.5 corespunde acestui curent o rezistență  $R_{\text{ex}} = 0,75 \cdot 10^{-2} \text{ [\Omega]}$  ca valoare medie în domeniul  $\alpha = (0,34-1)$ .

### 3.4.4. Determinarea încălzirii înfășurărilor polilor principali la câmp slăbit continuu

În cazul câmpului slăbit continuu:

$$T_{ex\alpha c} \left( R_{ex\alpha c} \alpha^2 I_{mc}^2 \right) \quad (3.115)$$

unde:

$R_{ex\alpha c}$  - rezistența înfășurării de excitație

în cazul când prin acesta trece curentul  $I_{mc}$  de reglare continuă care are o valoare aproximativ constantă.

$$R_{ex\alpha c} \cong R_{ex} = 0,75 \cdot 10^{-2} [\Omega]$$

$$I_{mc} = 500 [A]$$

#### 3.4.5. Raportul de fiabilitate

Raportul  $T_{ex\alpha} / T_{ex\alpha c}$  poate fi considerat ca un criteriu de mărire a fiabilității motorului de tracțiune.

$$\frac{T_{ex\alpha}}{T_{ex\alpha c}} \cong \frac{I_{med}^2}{I_{mc}^2} = \frac{535^2}{500^2} = \frac{2.86225 \cdot 10^5}{2,5 \cdot 10^5} = 1,1445$$

#### 3.4.6. C o n c l u z i i

Luându-se în considerare cele indicate mai sus cât și faptul că înfășurările mașinilor electrice, în cazul reglării continue a slăbirii câmpului, nu mai sînt supuse șocurilor de curent, se poate aprecia că fiabilitatea acestor mașini crește cu circa 15% față de aplicarea metodei de slăbire în 4 trepte.

Față de cazul utilizării a 3 trepte de slăbire de câmp - situația actuală de la locomotiva 060-DA-1 - reglarea continuă apare și mai avantajoasă și din punct de vedere al fiabilității echipamentului electric.

## CAPITOLUL- 4

STUDIUL INFLUENȚEI SLĂBIRII CONTINUI  
A CÎMPULUI MOTOARELOR ELECTRICE  
DE TRACȚIUNE CU EXCITAȚIE SERIE  
ASUPRA PERFORMANȚELOR DE TRAC-  
ȚIUNE ALE LOCOMOTIVEI DIESEL.

4.1. DETERMINAREA INFLUENȚEI SLĂBIRII CÂMPULUI  
CÂMPULUI MOTOARELOR ELECTRICE DE TRACȚIUNE  
CU EXCITATIE SERIE ASUPRA REDUCERII SOCURILOR  
FORȚEI DE TRACȚIUNE A LOCOMOTIVELI DIESEL

Slăbirea câmpului motoarelor electrice de tracțiune are ca efect schimbarea turății și a cuplului acestora, respectiv schimbarea vitezei și a forței de tracțiune a locomotivei.

Sporirea performanțelor transmisiei electrice respectiv a locomotivei, se poate realiza printr-o slăbire mai adâncă a câmpului.

Caracteristica motorului cu slăbire de câmp se situează deasupra caracteristicii naturale, iar trecerea de pe o caracteristică pe alta la sistemele de reglare clasice se face în trepte, producându-se salturi ale forței de tracțiune, care sînt caracterizate de coeficientul de neuniformitate  $K_{np}$ .

Cu cît caracteristica naturală a motorului este mai joasă și cu cît slăbirea de câmp este mai adâncă, trecerea funcționării de pe o caracteristică pe alta, în cazul reglării fluxului în trepte, se face cu salturi mai mari ale curentului. salturile de curent se produc de la  $I_{min}$  la  $I_{max}$  oscilînd corespunzător și forța de tracțiune de la  $F_{min}$  la  $F_{max}$ . Spre exemplu de pe caracteristica 1 pe caracteristica 2 și de pe caracteristica 2 pe caracteristica 3 ca în fig.4.1.

Din aceasta se deduce că, forța de tracțiune care acționează în acest caz,  $F_a$ , dă naștere la o oarecare accelerație medie.

$$a_m = \frac{V_2 - V_1}{\Delta t} \quad [m/sec^2] \quad (4.1)$$

unde:

$\Delta t$  - timpul în care are loc creșterea vitezei cu  $\Delta V$ .

Forța de tracțiune care accelerează trenul se determină din expresia generală a ecuației de mișcare,

$$M \cdot a_m = F_a - W \quad [\text{kgf}] \quad (4.2)$$

de unde deducem:

$$F_a = M \cdot a_m + W = M \frac{dv}{dt} + W \quad (4.3)$$

unde:

$a_m = \frac{dv}{dt}$  - accelerație medie  $[m/s]$ .

$M$  - masa trenului  $\frac{[tfs^2]}{m}$

$W$  - rezistența la înaintare a trenului  $[kgf]$ .

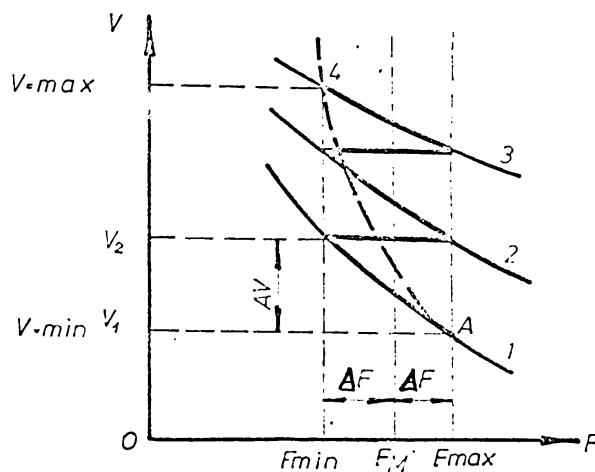


Fig. 4.1

Pentru deducerea relațiilor care arată de ce factori depinde neuniformitatea reglării, porțiunea caracteristicii de tracțiune  $v(F_a)$  curba 1 din fig. 4.1, în care are loc reglarea, se liniarizează. În acest caz dependența analitică  $v(F_a)$  poate fi exprimată prin ecuația:

$$F_a = F_{max} - K_1 (v_2 - v_1) \quad [\text{kgf}] \quad (4.4)$$

unde:

$F_{max}$  - valoarea forței de tracțiune în primul moment după trecerea pe caracteristica 1 (punctul A);

$K_1$  - coeficient unghiular care caracterizează înclinația acestei drepte;

. / .

Rezistența la înaintare se admite constantă și egală cu valoarea medie  $W$  între vitezele  $v_1$  și  $v_2$ .

Introducînd în ecuația de mișcare a trenului expresia lui  $F_a$  rezultă:

$$M \frac{dv}{dt} = F_a - W = F_{\max} - K_1 (v_2 - v_1) - W \quad (4.5)$$

Făcînd integrarea, se obține timpul, în decursul căruia viteza se schimbă de la  $v_1$  la  $v_2$ .

$$M \frac{dv}{dt} = F_{\max} - K_1 (v - v_1) - W = F_{\max} - K_1 v - K_1 v_1 - W$$

$$A = F_{\max} - K_1 v_1 - W$$

$$M \frac{dv}{dt} = A - K_1 v$$

$$dt = \frac{M dv}{A - K_1 v} = \frac{dv}{\frac{A}{M} - \frac{K_1}{M} \cdot v}$$

$$\int dt = \int \frac{M dv}{A - K_1 \cdot v} = \int \frac{dv}{\frac{A}{M} - \frac{K_1}{M} \cdot v}$$

Soluții:

$$t = - \frac{1}{\frac{K_1}{M}} \ln \left( \frac{A}{M} - \frac{K_1}{M} \cdot v \right) + C$$

$$C = \frac{M}{K_1} \ln \left( \frac{A}{M} - \frac{K_1}{M} \cdot v \right)$$

la  $t = 0: v = v_1$

$$t = \frac{M}{K_1} \cdot \ln \left( \frac{A}{M} - \frac{K_1}{M} v_1 \right) - \frac{M}{K_1} \ln \left( \frac{A}{M} - \frac{K_1}{M} v \right)$$

$$t = \frac{M}{K_1} \ln \frac{\frac{A - K_1 \cdot v_1}{M}}{\frac{A - K_1 \cdot v}{M}} = \frac{M}{K_1} \ln \frac{A - K_1 \cdot v_1}{A - K_1 \cdot v}$$

. / .

$$la.t = t_1 : v = v_2;$$

$$t_1 = \frac{M}{K_1} \cdot \ln \frac{A - K_1 \cdot v_1}{A - K_1 \cdot v_2}$$

$$t_1 = \frac{M}{K_1} \ln \frac{F_{\max} + K_1 v_1 - W - K_1 v_1}{F_{\max} + K_1 v_1 - W - K_1 v_2} = \frac{M}{K_1} \cdot \ln \frac{F_{\max} - W}{F_{\max} - W - K_1 (v_2 - v_1)}$$

$$F_{\max} - K_1 (v_2 - v_1) = F_{\min}$$

$$t_1 = \frac{M}{K_1} \ln \frac{F_{\max} - W}{F_{\min} - W} = \Delta t$$

deci:

$$\Delta t = \frac{M}{K_1} \ln \frac{F_{\max} - W}{F_{\min} - W} \quad (4.6)$$

iar accelerația medie în acest interval va fi:

$$a_m = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} \quad (4.7)$$

Din expresia (4.4) și fig.4.1 deducem:

$$v_2 - v_1 = \frac{2 \Delta F}{K_1} \quad (4.8)$$

Introducînd în expresia(4.7) expresia (4.6) și (4.8) rezultă valoarea accelerației medii:

$$a_m = \frac{2 \Delta F}{M \cdot \ln \frac{F_{\max} - W}{F_{\min} - W}} \quad (4.9)$$

din care rezultă:

$$\Delta F = \frac{1}{2} a_m \cdot M \cdot \ln \frac{F_{\max} - W}{F_{\min} - W} \quad (4.10)$$

$\Delta F$  este abaterea forței de tracțiune de la valoarea medie:

$$F_m = \frac{F_{\max} + F_{\min}}{2}$$

. / .

Neuniformitatea reglării vitezei prin slăbire de câmp în trepte ca și cazul pornirii în trepte poate fi caracterizată prin coeficientul de neuniformitate  $K_{FT}$ .

$$K_{FT} = \frac{\Delta F}{F_m} \quad (4.11)$$

Introducând valoarea lui  $\Delta F$  din (4.10) și valoarea lui  $F_m$  se obține:

$$K_{FT} = a_m M \cdot \frac{\ln \frac{F_{max} - W}{F_{min} - W}}{F_{max} + F_{min}} \quad \text{s a u}$$

$$K_{FT} = \frac{\Delta v}{\Delta t} M \frac{\ln \frac{F_{max} - W}{F_{min} - W}}{F_{max} + F_{min}} \quad (4.12)$$

Pentru determinarea legăturii dintre numărul de trepte de slăbire de câmp și viteza locomotivei, se notează cu  $v_{min}$  viteza minimă de la care se începe slăbirea de câmp, cu  $v_{max}$  viteza maximă care se obține prin slăbirea maximă de câmp și cu "m" numărul de trepte de slăbire a câmpului.

Pentru simplificarea calculelor se admite o legătură lineară între numărul de trepte de slăbire și creșterea de viteză. Astfel că din fig.4.1. determinăm:

$$V_{max} - V_{min} = m \Delta v$$

de aici:

$$\Delta v = \frac{V_{max} - V_{min}}{m} \quad (4.13)$$

Introducând această valoare în expresia (4.12) rezultă:

$$K_{FT} = \frac{V_{max} - V_{min}}{\Delta t} \cdot M \cdot \frac{\ln \frac{F_{max} - W}{F_{min} - W}}{F_{max} + F_{min}} \quad (4.14)$$

Din această expresie rezultă următoarele:

cînd:

. / ,



$$\lim_{m \rightarrow \infty} K_{FT} = 0$$

$$m \rightarrow \infty$$

$$\lim_{m \rightarrow 0} K_{FT} = \infty \text{ (a plus fixa are)}$$

$$m = 0$$

Luându-se valori pentru  $m$  se obține curba  $K_{FT}(m)$  din fig.4.2.

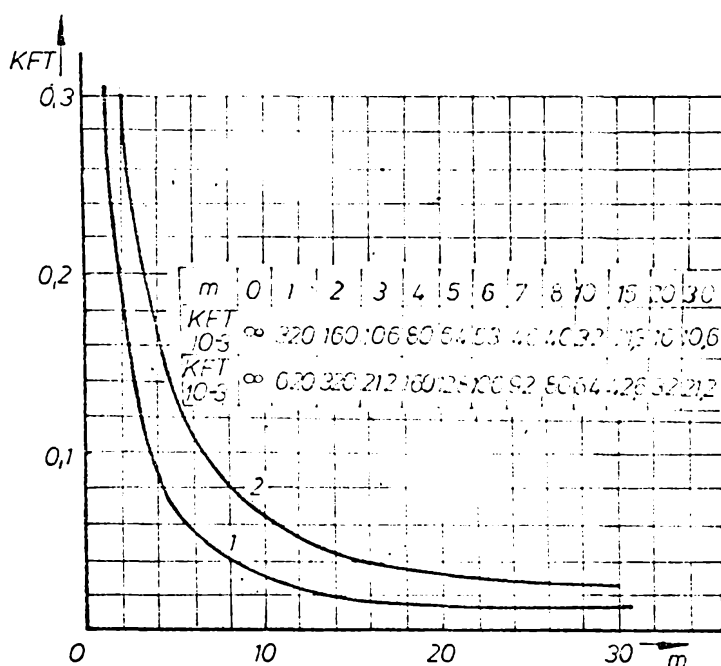


Fig.4.2

La calculul lui  $K_{FT}$  din expresia (4.14) se iau:

$$V_{max} = 38,9 [m/s]$$

$$V_{min} = 15,3 [m/s]$$

$$\Delta t = 1950 - 66 = 1884 [s]$$

$$\hat{M} = 316.000 [kg]$$

$$F_{max} = W = 10.500 [kgf]$$

$$F_{min} = W = 630 [kgf]$$

$$F_{max} - F_{min} = 14.980 [kgf]$$

. / .

Ridicarea diagramei s-a făcut în ipoteza  $P = 225$  kW și un tren standard de 200 și 400 tf. Din aceasta rezultă că pentru  $m < 6$ ,  $K_{PT}$  crește foarte repede, deci cresc și șocurile.

La  $m = \infty$  (reglare continuă) coeficientul de neuniformitate tinde spre zero, reglarea făcându-se lin, deci și creșterea vitezei se face lin după curba "4" din fig.4.1.

Prin aceasta se elimină total eforturile suplimentare ce apar în aparatele de tracțiune și părțile mecanice ale transmisiei în cazul șocurilor, reducându-se și uzura acestora.

#### 4.2. DETERMINAREA INFLUENȚEI SLABIRII CONTINUTULUI CIL- PULUI MOTOARELOR ELECTRICE DE TRACȚIUNE CU EXCH- TĂȚIE SERIE ASUPRA ÎMBUNĂȚĂȚII PARAMETRILOR DE TRACȚIUNE AI LOCOMOTIVEI DIESEL ELECTRICE 060-DA-1

##### 4.2.1. Considerații generale asupra parametrilor de tracțiune ai locomotivei diesel electrice

Proprietățile de tracțiune ale locomotivei sînt caracterizate de doi parametri: forța de tracțiune  $F$  și viteza  $V$  a locomotivei iar aceștia, la rîndul lor, sînt determinați de către motorul electric de tracțiune în limita parametrilor dați ai generatorului și motorului diesel. La calculul acestor parametri se ia ca regim de bază, regimul de durată.

Legătura dintre parametrii de tracțiune ai locomotivei și parametrii motorului electric de tracțiune este dată de relațiile:

$$F = \frac{2 \cdot C_m \cdot i \cdot \eta_{tr}}{D_r} \quad \left[ \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right] \quad (4.15)$$

$$V = \frac{n_m \cdot D_r}{5,3 \cdot i} \quad \left[ \frac{\text{km}}{\text{h}} \right] \quad (4.16)$$

Din aceasta se vede că, îmbunătățirea parametrilor de tracțiune ai locomotivei în sensul sporirii lor, depinde direct de turația și cuplul motoarelor de tracțiune, precum și de raportul de transmisie  $i$ , considerîndu-se diametrul roții dat.

Practic, pentru alegerea parametrilor de bază ai transmisiei este suficient să se dea trei parametrii de bază ai locomotivei:

. / .

- forța nominală de tracțiune  $F_n$  - în [tf];
- viteza maximă  $V_{max}$  - în [km/h]; și
- puterea motorului diesel  $P_e$  - în [CP].

Acești parametri determină în final capacitatea de trafic a locomotivei.

Factorul de bază care influențează sporirea capacității de trafic a locomotivei este forța de tracțiune  $F_0$ , întrucât de aceasta depinde tonajul remorcat  $G_{tr}$  al trenului. Limitarea performanțelor de mers în palier și aliniament este dată și de rezistența totală  $W = W_L + W_V$  la înaintare unde  $W_L$  este rezistența la înaintare a locomotivei și  $W_V$  a vagoanelor (4.17). Valorile acestor rezistențe se determină cu expresiile [30] [32]

$$W_L = 3,5 G_L + 0,4 S \left( \frac{V + 12}{10} \right)^2 \quad [\text{kgf}] \quad (4.18)$$

unde:

$G_L$  - greutatea locomotivei în tf;

$S$  - suprafața frontală a locomotivei în  $m^2$ .

$$W_V = G_V \cdot \left( 1,65 + \frac{V^2}{4000} \right) \quad [\text{kgf}] \quad (4.19)$$

unde:

$G_V$  - greutatea vagoanelor în [tf]

Rezistența specifică  $W_V = 1,65 + \frac{V^2}{4000}$  este dată pentru vagoanele tip 74.000.-

Această rezistență la înaintare manifestă o acțiune mai puternică în zona vitezelor mari, întrucât ea depinde de pătratul acesteia.

Forța de tracțiune care duce la accelerarea trenului este:

$$F_a = F_0 - W \quad [\text{kgf}] \quad (4.20)$$

Intrucât, în lucrare se studiază fenomenele cuprinse în limita vitezelor mari de funcționare a locomotivei, problema aderenței nu se tratează.

La o locomotivă existentă, problema îmbunătățirii performanțelor ei este legată de posibilitățile de îmbunătățire a parametrilor motorului diesel, transmisiei electrice și chiar a elementelor constructive ale locomotivei însăși.

În cazul de față, reglarea continuă a câmpului magnetoreluctanțelor electrice de tracțiune constituie un mijloc de îmbunătățire a parametrilor de tracțiune ai locomotivei.

Prin această metodă de reglare, așa cum s-a detorminat în cap.III, se crează o rezervă de putere în transmisie, care se poate utiliza la sporirea performanțelor de tracțiune a locomotivei. Aceste performanțe sporite însă cer, la rândul lor, anumite modificări în lanțul transmisiei și chiar transformări în elementele constructive ale locomotivei.

#### 4.2.2. Determinarea caracteristicilor electromecanice la arborele motorului GDM-533.

##### 4.2.2.1. Parametrii de bază ai motorului GDM-533

Parametrii de bază ai motorului la diferite regimuri de funcționare și datele constructive ale sale sînt prezentate în cele ce urmează:

- regim uniorar:  $I_{mh} = 900 [A]$ ,  $U_{mh} = 250 [V]$ ,  $n_{mh} = 425 [rot/min.]$
- regim de durată:  $I_{m\infty} = 820 [A]$ ,  $U_{m\infty} = 275 [V]$ ,  $n_{m\infty} = 490 [rot/min.]$

$D_a = 542 \text{ mm}$  - diametrul rotorului;

$2p \hat{=} 2a = 6$  - numărul polilor, respectiv a căilor de curent;

$f_o \hat{=} 7,5 \text{ mm}$  - întrefierul în axa polilor principali;

$\alpha \hat{=} 0,63$  - factorul de acoperire polar;

$N \hat{=} 600$  - numărul conductorilor din rotor;

$W_e \hat{=} 13$  - numărul de spire pe un pol principal;

$W_{pa} \hat{=} 11$  - numărul de spire pe un pol auxiliar;

$B_{f_o} \hat{=} 1,02 \text{ T}$  - inducția în întrefierul principal;

$B_{d_{max}} = 2,34 \text{ T}$  - inducția maximă în dinți;

$B_{d^{1/3}} = 2,14 \text{ T}$  - inducția medie în dinți

Determinarea valorii rezistențelor interioare a fost făcută pe standul de probă la uzina Electroputere Craiova la un motor de tracțiune etalon [29].

La  $75^{\circ}\text{C}$  acestea au valorile:

. / .

$R_a = 0,014[\Omega]$  - rezistența înfășurării motorului  
 $R_{pa} = 0,0022[\Omega]$  - " " poliilor auxiliari  
 $R_{ex} = 0,0086[\Omega]$  - " " " principali  
 Incălzirile înfășurărilor în regim unicat ( $I_{mh} = 900$  A)  
 $T_{ex} = 130^\circ\text{C}$  - temperatura poliilor principali  
 $T_a = 75^\circ\text{C}$  - temperatura înfășurării rotorului.

Datele caracteristicii de magnetizare, ridicată la turația de 1000 rot/min sînt redată în tabela 4.1.

- Tabela 4.1 -

$I_{ex}$ (A)	160	290	357	403	499	592	683	788	825
$U_0$ (V)	166,5	283,5	239	370	418	455	478	503	507
$I_{ex}$ (A)	695	602	500	389	386	197	80		
$U_0$ (V)	483	463	425	366	336	185	84		

Aici cu  $I_{ex}$  s-a notat curentul din înfășurarea de excitație a motorului și cu  $U_0$  tensiunea de mers în gol.

Datele pentru caracteristica turației  $n_m$  ( $I_m$ ) la cîmp plin și tensiunea la borne  $U_m = 275$  V sînt prezentate în tabela 4.2.

- Tabela 4.2 -

$I_m$ (A)	600	700	820	950	1100
$n_m^{+3\%}$	592	556	519	486	453
$n_m$	575	540	500	472	445
$n_m^{-3\%}$	558	524	485	458	432

Datele pentru caracteristica de turație la cîmp slăbit  $n_m$  ( $I_m$ ) la  $\alpha = 0,4$  și tensiunea la borne de  $U_m = 275$  V sînt prezentate în tabela 4.3.

- Tabela 4.3. -

$I_m$ (A)	600	700	820	950	1100
$n_m^{+4\%}$	1177	1045	926	899	746
$n_m$	1132	1005	890	797	717
$n_m^{-4\%}$	1087	965	854	765	688

4.2.2.2.- Calculul și construcția caracteristicilor electromecanice

Pentru crearea posibilităților de analiză a fenomenelor, este necesar să se determine caracteristica turației  $n_m = (I_m)$  și caracteristica câmpului  $C_m (I_m)$  la câmp plin și la câmp slăbit pentru treptele existente de slăbire  $\alpha = 0,74$ ;  $\alpha = 54$ ,  $\alpha = 0,4$  la locomotivă cât și pentru câteva trepte noi din limitele  $0,4 > \alpha \geq 0,25$ .

Calcululele pentru turație se fac cu excepția:

$$n_m = \frac{U_m - I_m \sum R_m}{K_m \phi_m} = \frac{E_m}{K_m \phi_m} \quad \left[ \frac{\text{rot}}{\text{min}} \right] \quad (4.21)$$

iar pentru cuplu cu expresia:

$$C_m = K_c \cdot \phi_m \cdot I_m \quad [\text{kgfm}] \quad (4.22)$$

În expresia de calcul a t.e.m.  $E_m = U_m - I_m \sum R_m$  intră valoarea tensiunii  $U_m$  aplicate la bornele motorului și căderile totale de tensiune  $\Delta U = I_m \sum R_m$ , din înfășurările motorului.

Tensiunea  $U_m$  se determină din caracteristica externă a generatorului principal - raportată la un motor în funcție de curentul de sarcină  $I_m$ . Această caracteristică este redată în fig.4.3.

La determinarea căderilor de tensiune, din motor, se iau în considerare rezistențele sporite datorită încălzirii înfășurărilor.

Pe baza încălzirilor înfășurărilor, măsurate pe stand în regim unioară, la  $I_h = I_{ex} = 900 \text{ A}$ , se aproximează încălzirea înfășurărilor la curentul de calcul  $I_m$ , cu expresia

$$T_{I_m} \approx \frac{I_m^2}{I_h^2} \cdot T_{I_h} \quad (4.23)$$

Pentru bobinajul de excitație expresia temperaturii de încălzire ia forma:

$$T_{I_{ox}} = \frac{I_{ex}^2}{900^2} \cdot 130 [^\circ\text{C}] \quad (4.24)$$

. / .

iar pentru bobinajul din rotor

$$T_{I_m} = \frac{I_m^2}{900^2} \cdot 75 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4.25)$$

Rezultatele calculelor sînt prezentate sub formă de diagrame în fig.4.4.

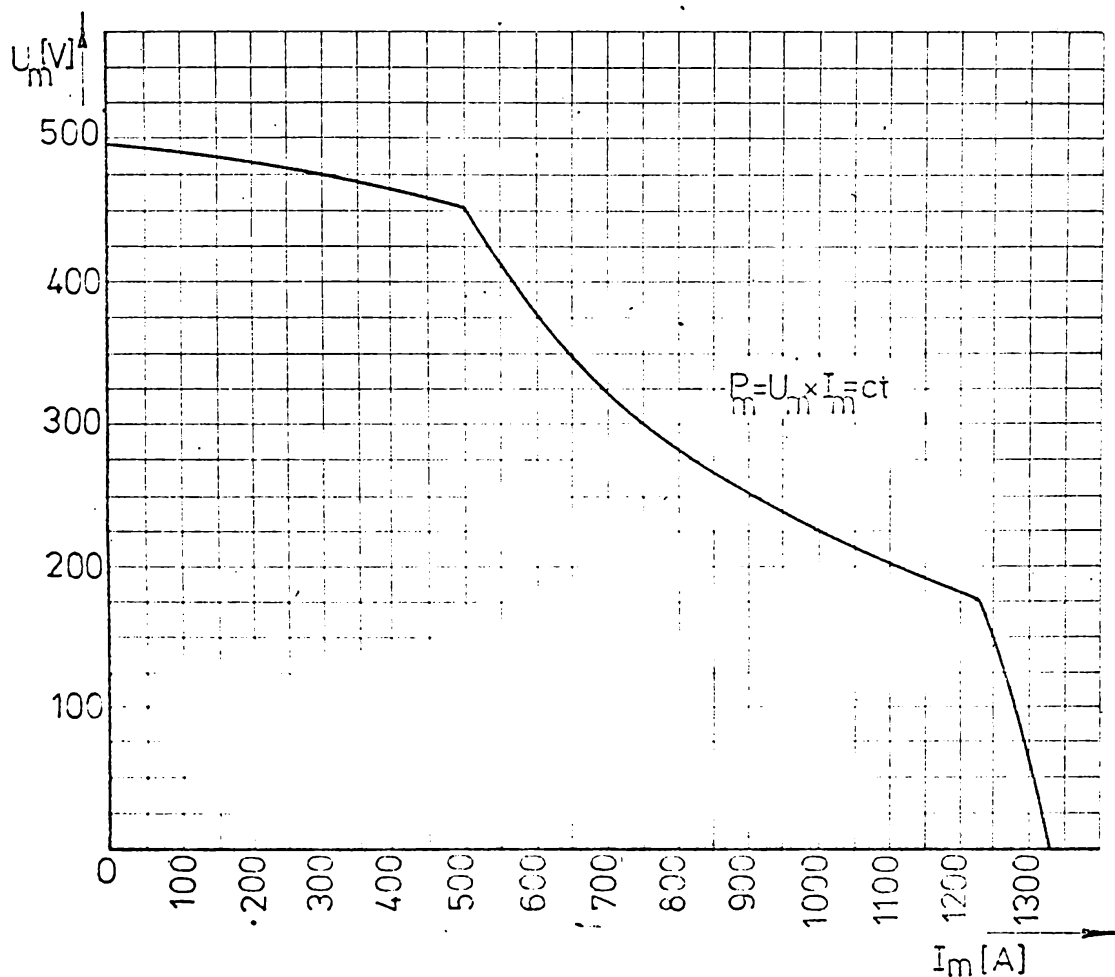


Fig. 4.3

• / •

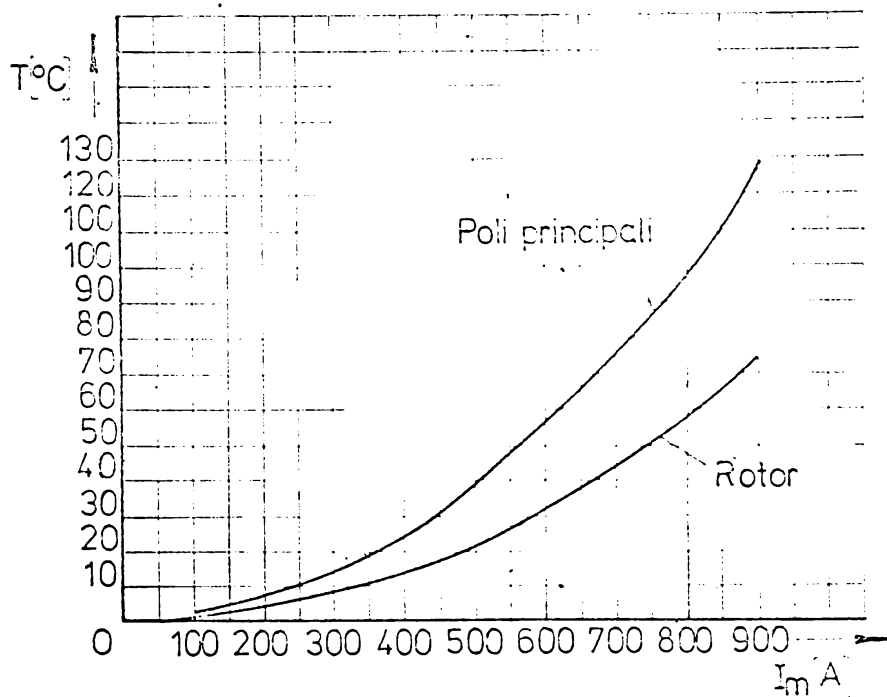


Fig. 4.4

Avînd măsurate valorile rezistențelor înfășurărilor la temperatura de  $75^{\circ}\text{C}$ , se pot determina, cu expresiile (4.24) și (4.25), valorile acestora la diferite regimuri termice.

Rézultatele calculelor sînt reprezentate sub formă de diagramă în fig.4.5 iar datele de calcul sînt redată în tabelele 4.4 - 4.10.

S-a notat cu  $R_r = R_{ir} + R_{pa}$  - valoarea rezistenței înfășurării rotorului și a polilor auxiliari și cu  $R_{ex}$ , valoarea rezistenței de excitație prin care trece curentul de excitație  $I_{ex} = \alpha I_m$ .

. / .



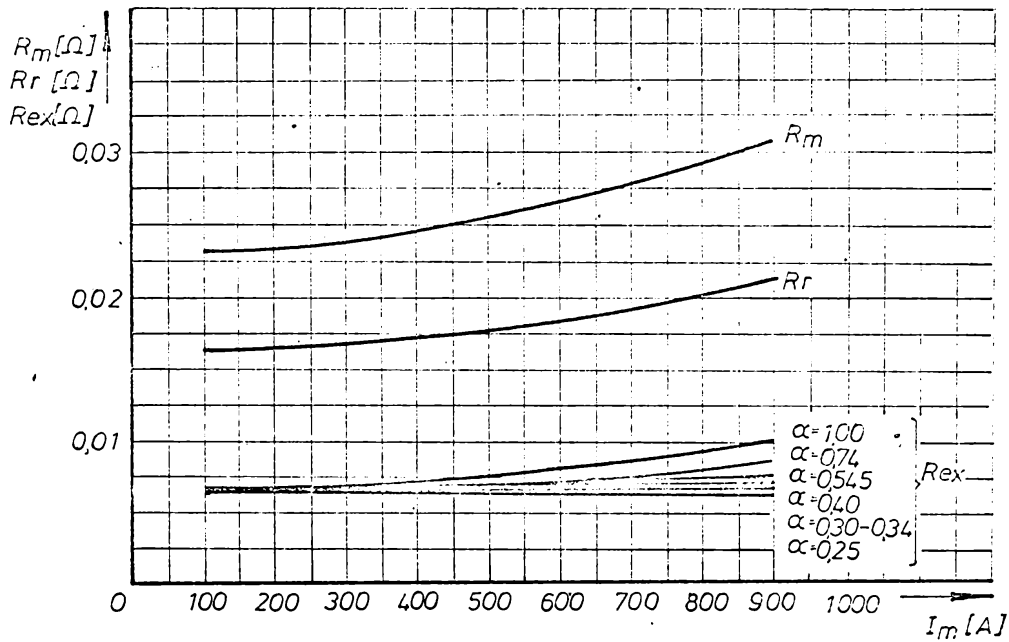


Fig.4.5

Căderile de tensiune  $\Delta U_m$  la diferite trepte de slăbire de câmp au fost determinate cu relația:

$$\Delta U_m = I_m \cdot I_{ir} + I_{ex} \cdot R_{ex} = I_m \cdot R_{ir} + I_m \cdot R_{ex} = I_m (R_{ir} + \alpha R_{ex}) \quad (4.26)$$

și sînt date în tabelele 4.4-4.10.

Calculul fluxurilor motorului pentru diferite regimuri de funcționare pornește de la determinarea fluxului  $\phi_{om}$  al regimului de mers în gol utilizînd expresia (4.21) fără termenul al doilea de la numărător.

$$\phi_{om} = \frac{E_{om}(l)}{K_m \cdot n_{om}} = \frac{U_{om}}{K_m \cdot n_{om}} \quad [Wb] \quad (4.27)$$

unde:

• / •

$$\phi = \frac{U \cdot n}{K_m} \approx \frac{E}{n_{om}}$$

TAB-LUL 4.4

	A	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$I_m = I_{ex}$										
$R_r = R_i + R_{pa}$		0,0165	0,0167	0,0168	0,0172	0,0178	0,0184	0,0192	0,0202	0,0215
$R_{ex}$		0,0069	0,0070	0,0071	0,0075	0,0076	0,0081	0,0087	0,0093	0,0104
$R_m = R_r + R_{ex}$		0,0234	0,0237	0,0239	0,0247	0,0254	0,0265	0,0279	0,0295	0,0319
$\Delta U_m = I_m R_m$	v	2	5	7	10	13	16	20	24	29
$\phi_{0m} \times 10^2$	W/v	1	2,05	2,95	3,7	4,2	4,6	4,85	5,05	5,15
$\theta_{ex} = 13 I_{ex}$	A	1,300	2600	3900	5200	6500	7800	9100	10400	11700
$A = \frac{NI}{2\pi D a} = 0,588 I_m$	A/cm	59	117	176	235	294	353	412	470	530
$\theta_r = \frac{AI_D}{2}$	A	825	1680	2520	3350	4200	5050	5870	6710	7570
$\theta_r / \theta_{ex}$	-	-	-	-	0,645	-	-	-	-	-
$k_r$ (pt. Bd/3 = 2,2 T)	-	-	-	-	0,118	-	-	-	-	-
$\theta_{rr} = k_r \theta_r$	A	98	198	298	396	498	596	694	795	895
$\phi_m \times 10^2$	W/v	0,95	1,9	2,75	3,5	4,05	4,45	4,75	4,95	5,05

TABELUL 4.5

	$\alpha = 0,74$									
$I_m$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	
$I_{ex} \propto I_m$	74	148	222	296	370	444	518	592	666	
$R_r$	0,0165	0,0167	0,0168	0,0172	0,0178	0,0184	0,0192	0,0202	0,0215	
$R_{ex}$	0,0068	0,00695	0,0070	0,0075	0,0073	0,0075	0,0077	0,0080	0,0084	
$\alpha R_{ex}$	0,0050	0,0051	0,0052	0,0053	0,0054	0,0055	0,0057	0,0059	0,0062	
$R_m = R_r + \alpha R_{ex}$	0,0215	0,0218	0,0220	0,0225	0,0232	0,0239	0,0249	0,0261	0,0277	
$\Delta U_m = I_m R_m$	2	4	7	9	12	14	17	21	25	
$\Phi_{om} \times 10^2$	0,75	1,53	2,28	2,95	3,50	3,95	4,30	4,55	4,80	
$\theta_{ex} = V_{eff} I_{ex}$	960	1920	2880	3840	4800	5760	6720	7700	8640	
$\theta_r$	825	1680	2520	3350	4200	5050	5870	6710	7570	
$\theta_r / \theta_{ex}$				0,875						
$k_r(p \pm B_d = 1,8 T)$				0,115						
$\theta_{rr} = k_r \theta_r$	95	193	290	386	473	580	676	771	870	
$\phi_m \times 10^2$	0,675	1,35	2,075	2,68	3,25	3,71	4,075	4,35	4,575	

TABLE 4.6.

	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$I_m$					$\alpha = 0,275$				
$I_{ex} = \alpha I_m$	54,5	109	163,5	218	272,5	327	381,5	436	490,5
$R_r$	0,0165	0,0167	0,0168	0,0172	0,0178	0,0184	0,0192	0,0202	0,0215
$R_{ex}$	0,0068	0,0069	0,0069	0,0070	0,0071	0,0072	0,0073	0,0074	0,0076
$\alpha R_{ex}$	0,0037	0,0038	0,0038	0,0038	0,0039	0,0039	0,0040	0,0040	0,0041
$R_m = R_r + \alpha R_{ex}$	0,0202	0,0205	0,0206	0,0210	0,0217	0,0223	0,0232	0,0242	0,0256
$\Delta U_{rd} = I_m R_m$	2	4	6	8	11	13	16	19	23
$\Phi_{om} \times 10^2$	0,55	1,1	1,65	2,25	2,75	3,20	3,55	3,90	4,20
$\Theta_{ex} = W_{ex} I_{ex}$	709	1420	2120	2830	3540	4250	4950	5680	6380
$\Theta_r =$	825	1680	2520	3350	4200	5050	5870	6710	7570
$\Theta_r / \Theta_{ex}$				1,18					
$k_r$ (p.u. $B_d=1,3 \text{ M}$ )				0,07					
$\Theta_{rr} = k_r \Theta_r$	58	139	208	277	346	417	485	555	625
$\Phi_m \times 10^2$	0,475	1	1,5	2	2,55	2,925	3,3	3,65	3,95

TABLEUL 4.7

	$\alpha = 0,4$									
$I_m$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	
$I_{ex} = \alpha I_m$	40	80	120	160	200	240	280	320	360	
$R_T$	0,0165	0,0167	0,0168	0,0172	0,0178	0,0184	0,0192	0,0202	0,0215	
$R_{ex}$	0,0068	0,0068	0,0069	0,0069	0,0070	0,0070	0,0071	0,0071	0,0072	
$\alpha R_{ex}$	0,0027	0,0027	0,0028	0,0028	0,0028	0,0028	0,0028	0,0028	0,0029	
$R_m = R_T + \alpha R_{ex}$	0,0192	0,0194	0,0196	0,0200	0,0206	0,0212	0,0220	0,0230	0,0244	
$\Delta U_m = I_m R_m$	2	4	6	8	10	12	15	18	22	
$\Phi_{on} \times 10^2$	0,4	0,8	1,2	1,62	2,05	2,45	2,80	3,15	3,45	
$\Theta_{ex} = W_{ex} I_{ex}$	520	1040	1560	2080	2600	3120	3640	4160	4680	
$\Theta_T$	825	1650	2520	3350	4200	5050	5870	6710	7570	
$\Theta_T / \Theta_{ex}$				1,62						
$k_T$ (pt.Bd=1 T)				0,06						
$\Theta_{TR} = k_T \Theta_T$	50	100	150	200	250	300	350	400	450	
$\Phi_m \times 10^2$	0,37	0,725	1,1	1,475	1,85	2,225	2,575	2,875	3,175	

TABELUL 4.8

	$\alpha = 0,74$									
$I_m$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	
$I_{ex} \propto I_m$	34	68	102	136	170	204	238	276	306	
$R_T$	0,0165	0,0167	0,0168	0,0172	0,0178	0,0184	0,0192	0,0202	0,0215	
$\alpha R_{ex}$	0,0067	0,0068	0,0068	0,0069	0,0069	0,0070	0,0070	0,0071	0,0071	
$R_e$	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0024	0,0024	0,0024	0,0024	
$R_m = R_T + \alpha R_{ex}$	0,0188	0,0190	0,0191	0,0195	0,0201	0,0208	0,0216	0,0226	0,0239	
$\Delta U_m = I_m R_m$	2	4	6	8	10	12	15	18	22	-120
$\Phi_{om} \times 10^2$	0,35	0,70	1,03	1,35	1,75	2,10	2,45	2,75	3,05	
$\Theta_{ex} = W_{ex} I_{ex}$	442	885	1325	1770	2210	2650	3100	3580	3980	
$\Theta_T$	825	1680	2520	3350	4200	5050	5870	6710	7570	
$\Theta_T / \Theta_{ex}$				1,90						
$k_T$ (pt.Bd = 0,8 m)				0,04						
$\Theta_{TT} = k_T \Theta_T$	33	68	100	134	168	202	235	270	300	
$\Phi_m \times 10^2$	0,31	0,625	0,95	1,275	1,59	1,90	2,25	2,575	2,885	

TABELLUL 4.9

	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$I_m$	30	60	90	120	150	180	210	240	270
$I_{ex} = \alpha I_m$	0,0165	0,0167	0,0168	0,0172	0,0178	0,0184	0,0192	0,0202	0,0215
$R_T$	0,0067	0,0068	0,0068	0,0069	0,0069	0,0070	0,0070	0,0071	0,0071
$R_{ez}$	0,0020	0,0020	0,0020	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021
$\alpha R_e$	0,0185	0,0187	0,0188	0,0193	0,0199	0,0205	0,0213	0,0223	0,0236
$R_m = R_T + \alpha R_{ex}$	2	4	6	8	10	12	15	18	21
$\Delta U_m = I_m R_m$	0,30	0,60	0,90	1,20	1,50	1,85	2,15	2,45	2,75
$\phi_{on} \times 10^2$	390	780	1170	1560	1950	2340	2730	3120	3510
$\theta_{ex} = W_{ex} I_{ex}$	825	1680	2520	3350	4200	5050	5870	6710	7570
$\theta_T$				2,15					
$\theta_T / \theta_{ex}$				0,037					
$k_T$ (pt.Bd = 0,72 T)				124	155	187	218	249	280
$\theta_{TT} = k_T \theta_T$	30	62	93	124	155	187	218	249	280
$\phi_m \times 10^2$	0,275	0,55	0,825	1,1	1,40	1,675	1,975	2,25	2,55

	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$I_m$	25	50	75	100	125	150	175	200	225
$I_{ex} = \alpha I_m$									
$R_T$	0,0165	0,0167	0,0168	0,0172	0,0178	0,0184	0,0192	0,0202	0,0215
$R_{ex}$	0,0067	0,0068	0,0069	0,0069	0,0069	0,0069	0,0069	0,0070	0,0070
$\alpha R_c$	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017
$R_m = R_T + \alpha R_{ex}$	0,0182	0,0184	0,0185	0,0189	0,0195	0,0201	0,0209	0,0219	0,0232
$\Delta U_m = I_m R_m$	2	4	6	8	10	12	14	16	18
$\Phi_{ort} \times 10^2$	0,25	0,50	0,75	1	1,25	1,525	1,8	2,05	2,30
$\Theta_{ex} = W_{ex} I_{ex}$	325	650	975	1300	1625	1950	2275	2600	2925
$\Theta_r$	825	1650	2520	3350	4200	5050	5870	6710	7570
$\Theta_r / \Theta_{ex}$				2,58					
$k_T$ (p.t. Dd=0,6 T)				0,03					
$\Theta_{rr} = k_T \Theta_r$	25	50	75	100	126	151	176	201	227
$\Phi_m \times 10^2$	0,225	0,45	0,675	0,90	1,135	1,375	1,625	1,875	2,125



$$K_m = \frac{p \cdot N \cdot 10^{-8}}{60 \cdot a} = \frac{2 \cdot 500 \cdot 10^{-8}}{60 \cdot 3} = 10 \cdot 10^{-8}$$

Deci, în cazul măsurătorilor efectuate la  $n_0 = 1000$  rot/minut,

$$\phi_{cm} = \frac{U_0}{10 \cdot 10^{-8} \cdot 1000} = U_{cm} \cdot 10^{-4} \quad [\text{wb}] \quad (4.28)$$

caracteristica  $U_{cm}(I_{ex})$ , redată în tabela 4.1 reprezintă la altă scară  $\phi_{cm}(I_{ex})$  la cîmp plin. Această caracteristică este reprezentată în fig.4.6 și din aceasta se pot citi valorile fluxului de mers în gol  $\phi_{cm}$  și pentru diferite trepte de slăbire a cîmpului, valori ce sînt redată în tabelele 4.4 ... 4.10.-

Solenajia care produce fluxul  $\phi_0$  se calculează cu relația:

$$\theta_{ex} = I_{ex} \cdot W_e \quad [A] \quad (4.29)$$

iar rezultatele sînt trecute în tabelele 4.4 - 4.10 iar grafic în fig. 4.6 - 4.12.

Calculul solenajiei reale de reacție a indusului se face cu relația:

$$\theta_{rr} = K_r \cdot \theta_r = \frac{K_r \cdot A \tilde{l}_p}{2} \quad (4.30)$$

unde:

$$A = \frac{N I_m}{2 \pi a \cdot Da} = \frac{600 \cdot I_m}{\pi \cdot 6 \cdot 54,2} = 0,588 I_m \quad [A/cm]$$

este încărcarea lineară a rotorului;

$$\tilde{l}_p = \frac{\tilde{l} \cdot Da}{2p} = \frac{\tilde{l} \cdot 54,2}{6} = 28,4 \quad [cm] \quad - \text{pasul polar,}$$

$$\theta_r = \frac{A \tilde{l}_p}{2} = 14,2 I_m \quad [A] \quad - \text{solenajia de calcul}$$

$K_r = f\left(\frac{\theta_r}{\theta_{ex}}\right)$  - coeficient de demagnetizare, care se determină după diagramele din fig.4.13 în funcție de valoarea inducției medii în dinții indusului.

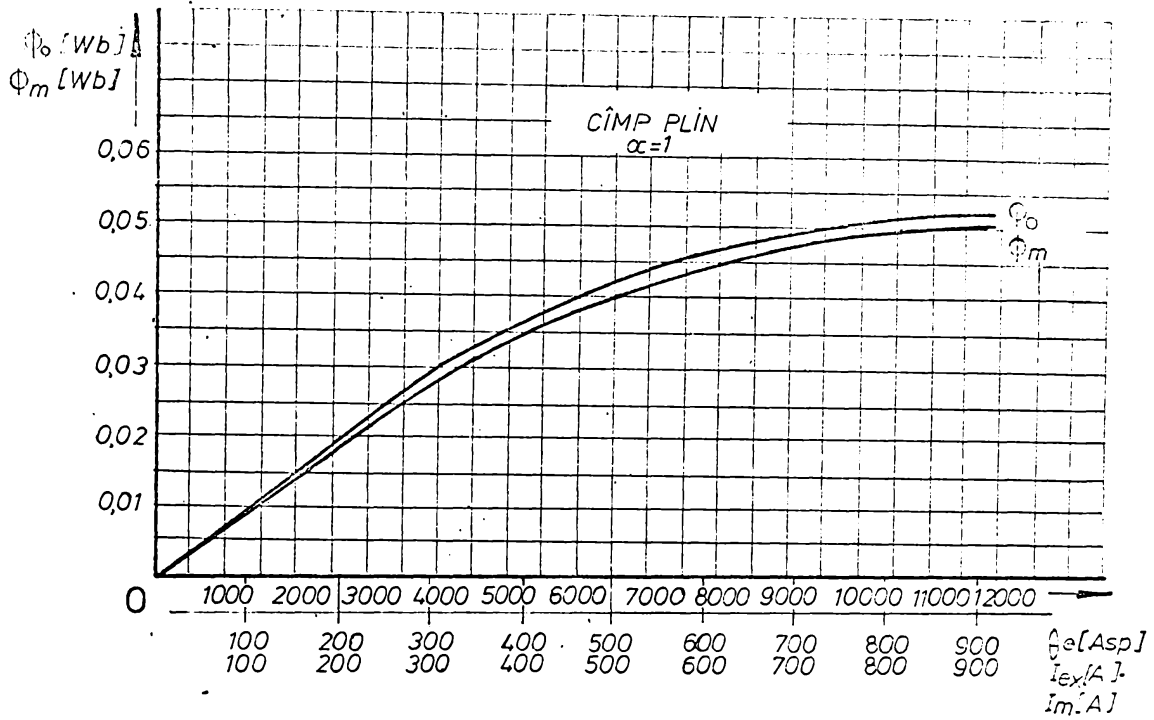


Fig. 4.6

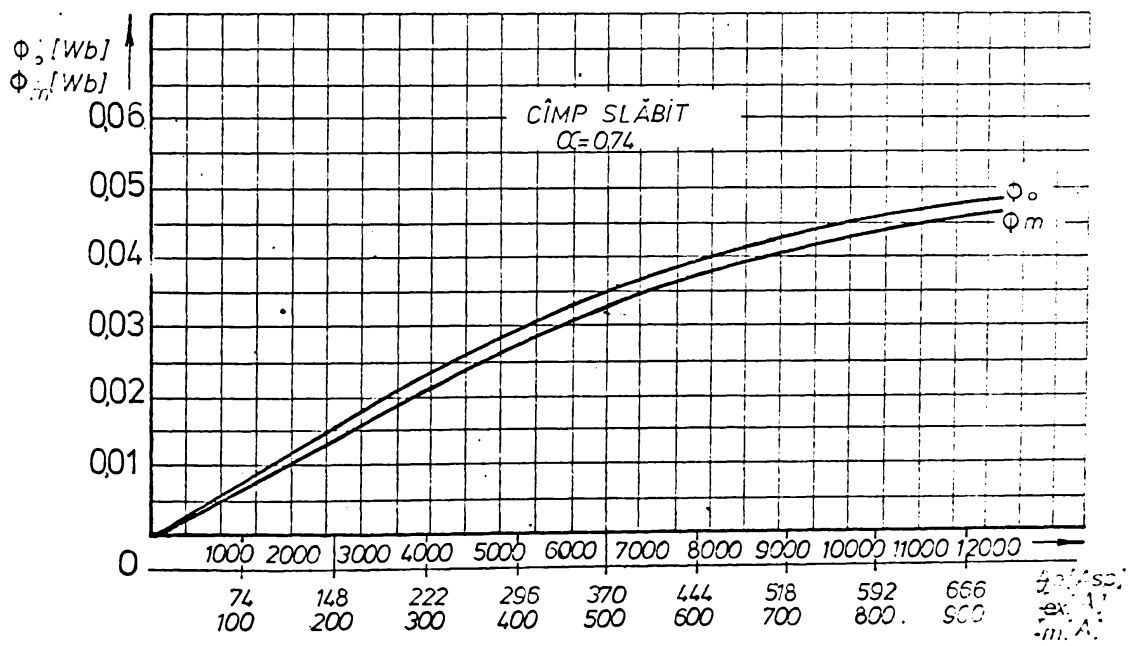


Fig. 4.7

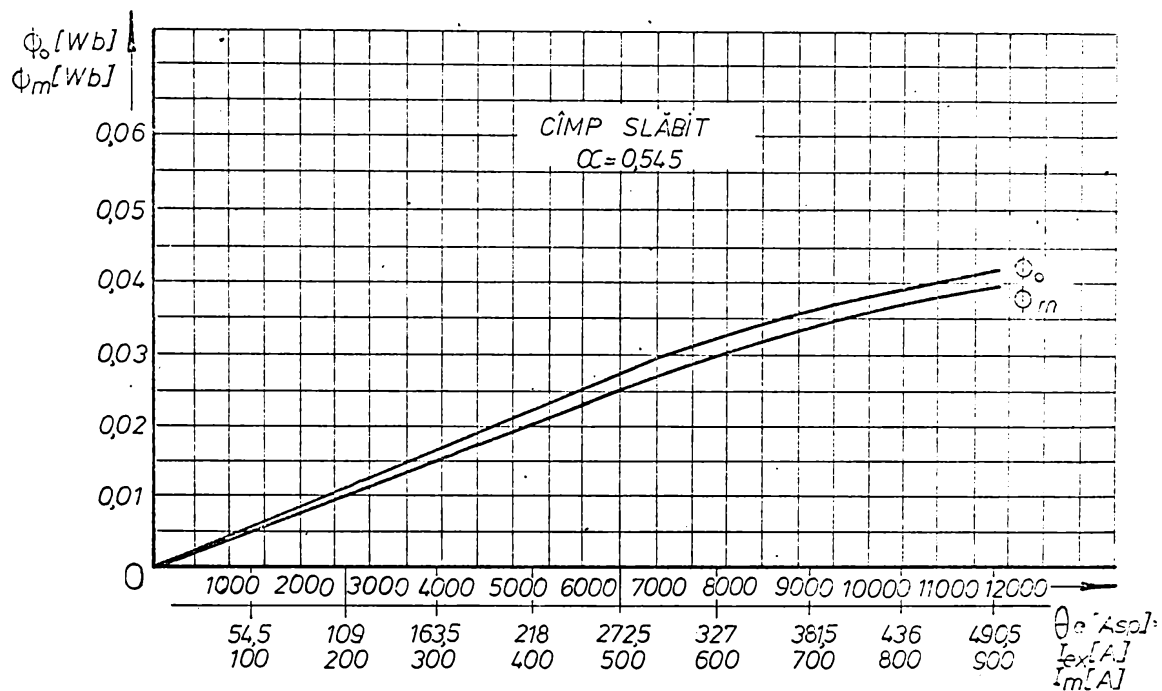


Fig. 4.8

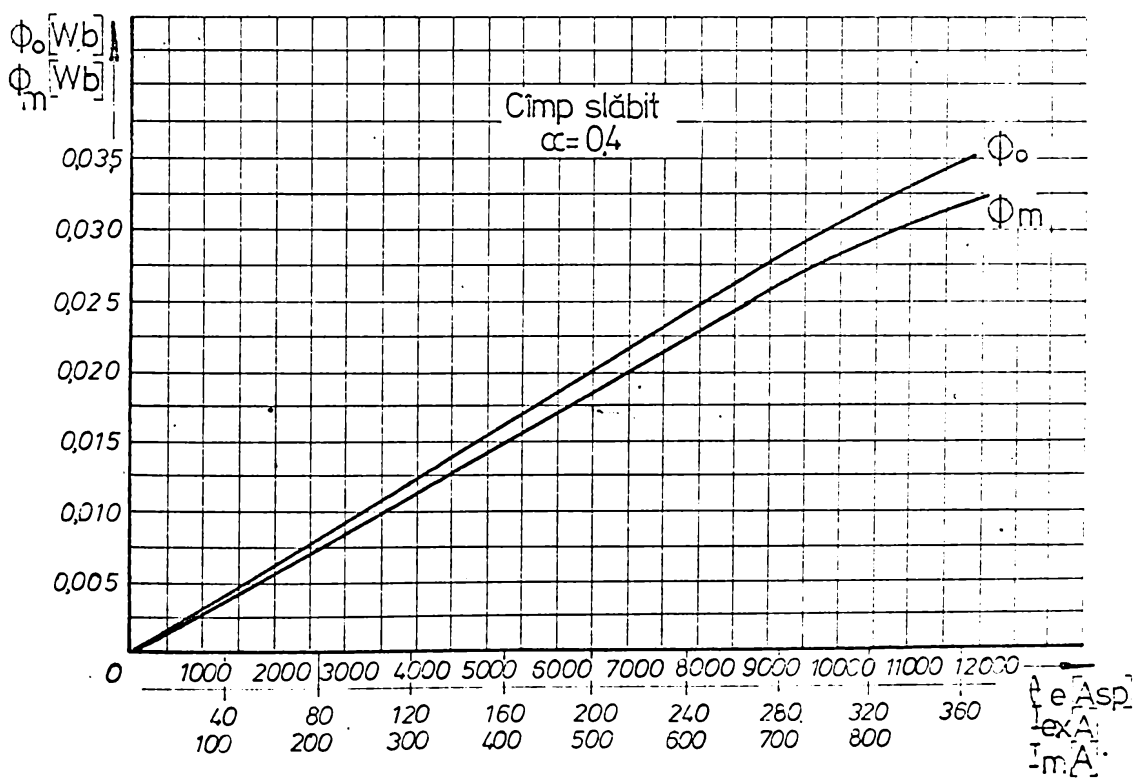


Fig. 4.9

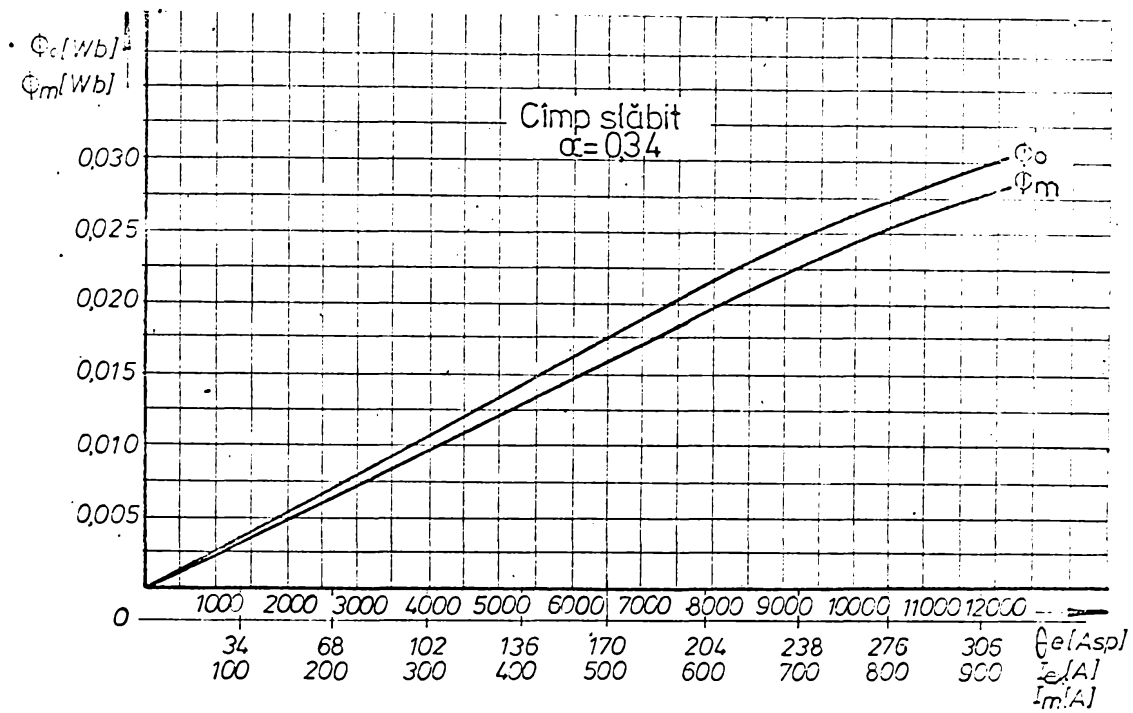


Fig. 4.10

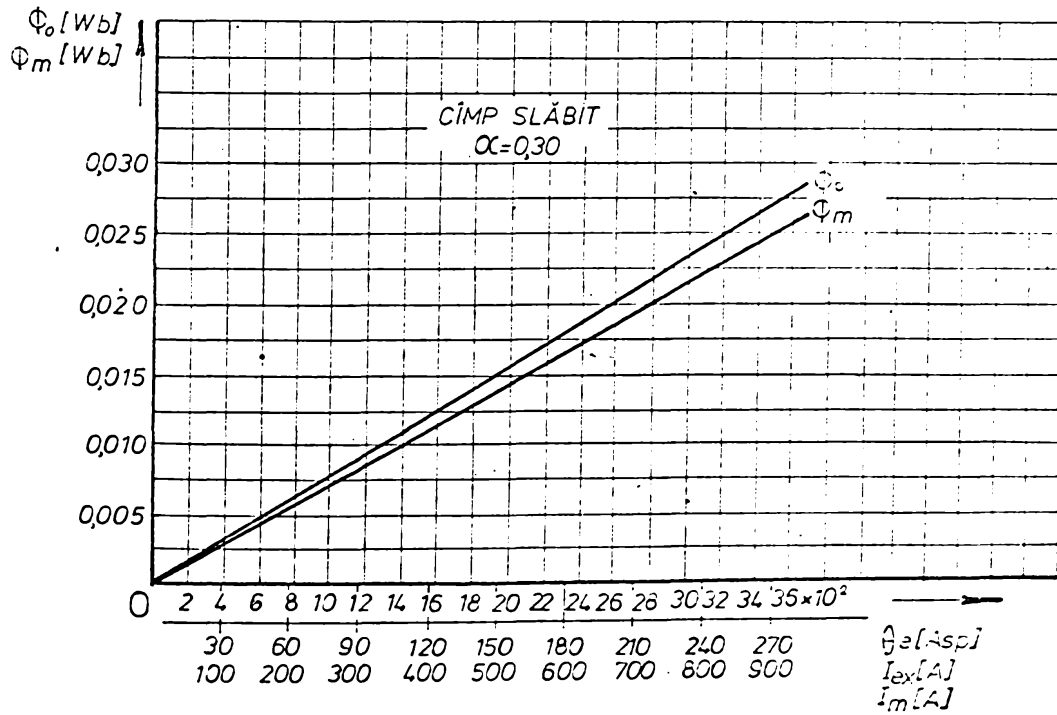


Fig. 4.11

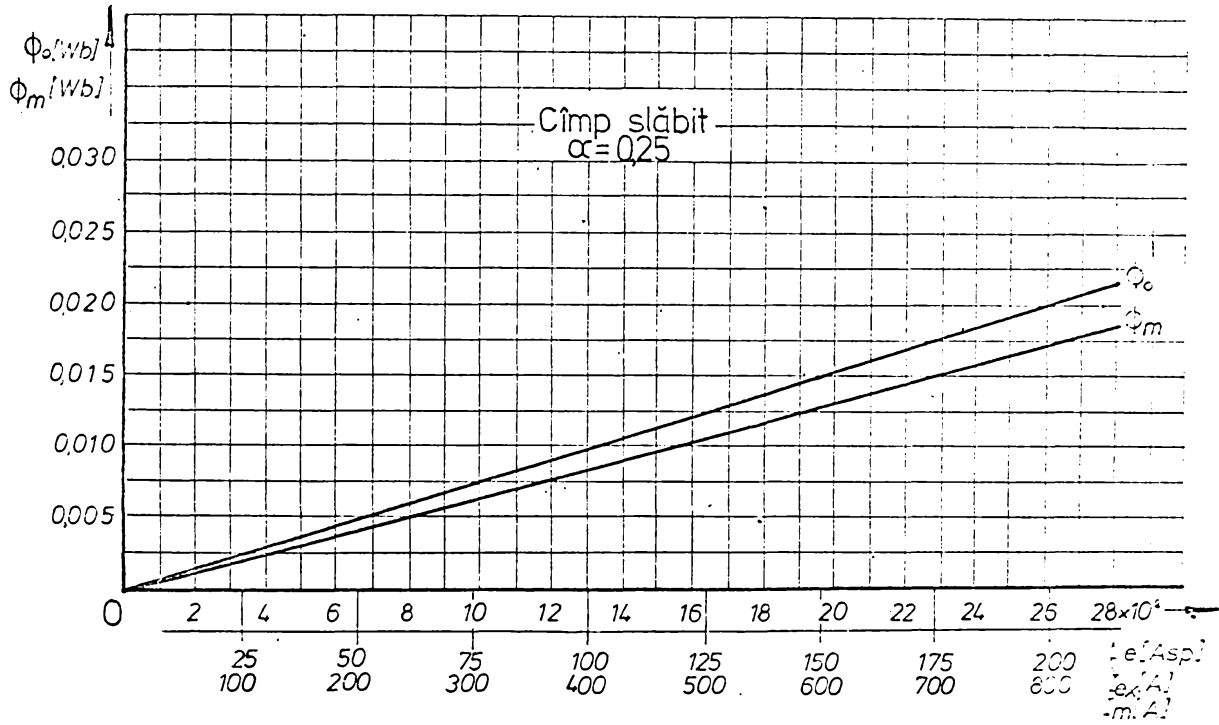


Fig. 4.12

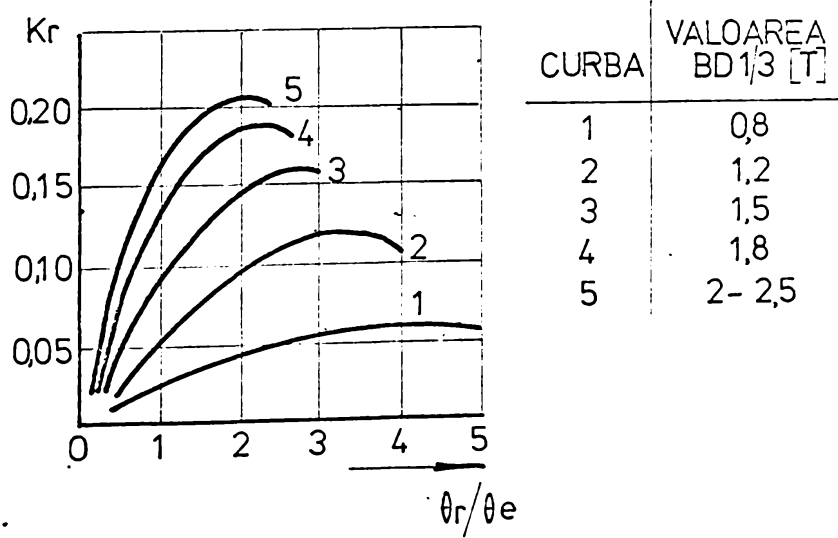


Fig. 4.13

Valorile rezultate din calcule ale solenăției reale sînt date în tabelele 4.4 .... 4.10; iar diagramele  $\theta_{rr}(I_m)$  pentru diferiți  $\alpha$  sînt reprezentate în fig.4.14.

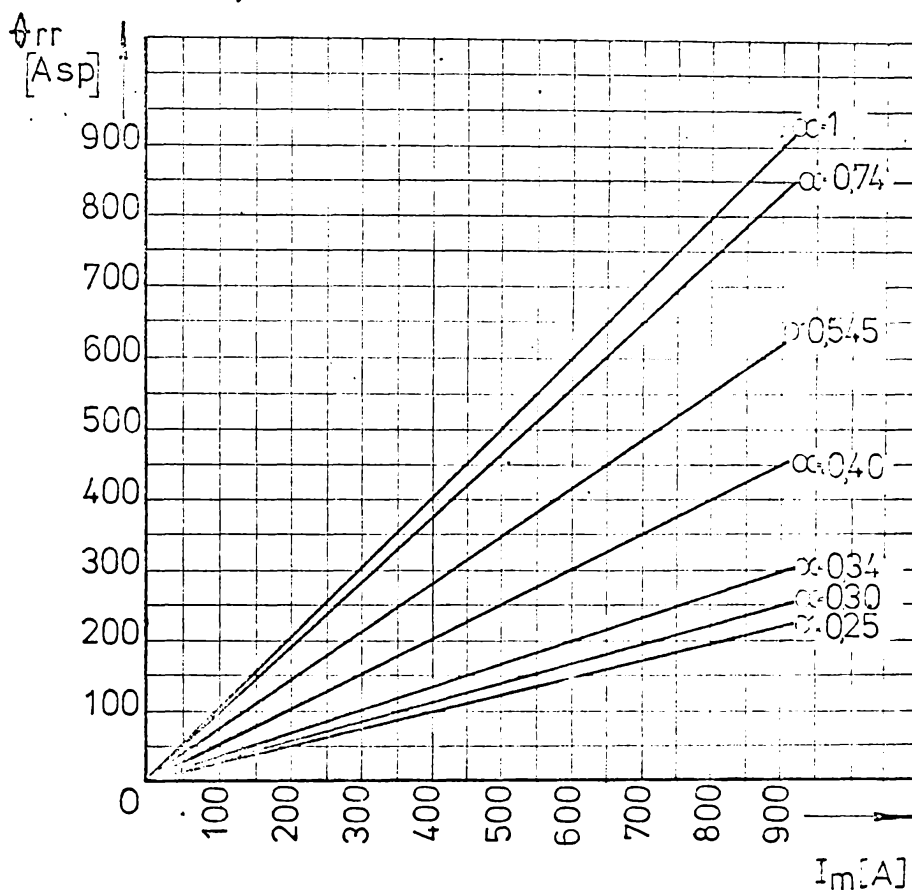


Fig.4.14

Valorile fluxului de sarcină  $\phi_m$  se determină grafic din diagramele fig.4.6 a fluxului de mers în gol  $\phi_{om}(I_{ex})$ . Pe aceste diagrame se trec în abscisă valorile curenților  $I_m$  și a solenățiilor  $\theta_{ex}$ , din care se scad solenățiile  $\theta_{rr}$  calculate, diferență pentru care corespunde la același curent  $I_{ex}$  fluxul  $\phi_{cm}$ .

Valorile rezultate ale fluxului  $\phi_m(I_m, I_{ex})$  sînt date în tabelele 4.4....4.10.

. / .

Pe baza rezultatelor obținute, se calculează turația motorului în diferite regimuri de încărcare și slăbire de câmp.

Rezultatele calculelor sînt redată în tabelele nr.4.11 și 4.12 care verifică valorile ridicate pe stand, indicate în tabelele 4.2 și 4.3 pentru tensiunea  $U_m = 275$  V.

Pentru studierea fenomenelor, este necesar să determinăm turația motorului pentru două ipoteze și anume: la tensiune const; și  $P_m \neq$  const. (U maximă aplicată  $U_m = 450$  V) la diferite grade de slăbire a câmpului.

Rezultatele calculelor sînt date în tabela 4.13 iar caracteristicile în fig.4.15.

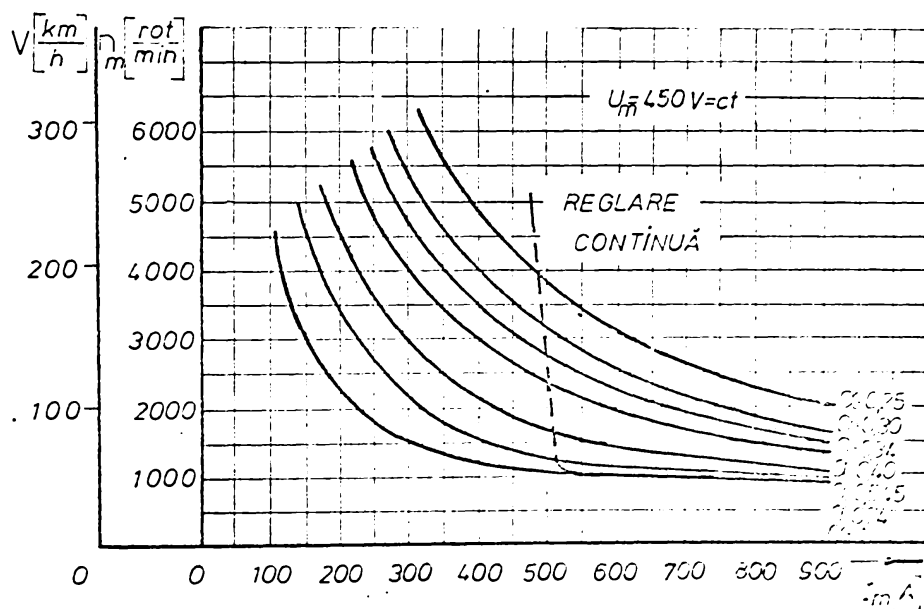


Fig.4.15

De asemenea se calculează turația, pentru cazul  $P_m = 225$  kW = const, și  $U_m \neq$  constant, regimul real de funcționare, al motorului electric de tracțiune, în domeniul curenților de la 500 A la 900 A. Rezultatele calculelor sînt date în tabela 4.14.

. / .

TAB. JUL 4.11

	$\alpha = 1$									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	900
$I_m = I_e$	A									
$\Delta U_m$	V	2	5	7	10	13	16	20	24	29
$U_m$	V				275					
$E = U_m \Delta U_m$	V	273	270	268	265	262	259	255	251	246
$\Phi_m \times 10^2$	wb	0,95	1,9	2,75	3,5	4,05	4,45	4,75	4,95	5,05
$n_m = \frac{E_{om}}{\Phi_m} \cdot 10^7$ rot/min		2900	1400	940	755	645	582	536	505	485

TABELUL 4.12

	$\alpha = 0,4$									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	900
$I_m$	A									
$I_{ox} = I_m$	A	40	80	120	160	200	240	280	320	360
$\Delta U_m$	V	2	4	6	8	10	12	15	18	22
$U_m$	V				275					
$E_{om} = U_m \Delta U$	V	273	271	269	267	265	263	260	257	253
$\Phi_m \times 10^2$	wb	0,27	0,725	1,1	1,475	1,85	2,225	2,575	2,875	3,175
$n_m = \frac{E_{om}}{\Phi_m} \cdot 10^7$ rot/min		7400	3700	2420	1800	1420	1180	1020	895	800



TABLE 4.13

$I_m$ (A)	$U_m = 450$ V								
	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$\alpha = 1$									
$\Delta U_m$ (v)	2	5	7	10	13	16	20	24	29
$E_{cm}$ (v)	448	445	443	440	437	434	430	426	421
$\Phi_m \times 10^2$ (wb)	0,95	1,90	2,75	3,5	4,05	4,45	4,75	4,95	5,05
$n_m$ (rot/min)	4700	2340	1600	1250	1080	975	906	865	835
$\alpha = 0,74$									
$\Delta U_m$	2	4	7	9	12	14	17	21	25
$E_{cm}$	448	446	443	441	438	436	433	429	425
$\Phi_m \times 10^2$	0,675	1,35	2,075	2,68	3,25	3,71	4,075	4,35	4,575
$n_m$	6660	3300	2140	1640	1350	1175	1050	990	930
$\alpha = 0,545$									
$\Delta U_m$	2	4	6	8	11	13	15	19	23
$E_{cm}$	448	446	444	442	439	437	434	431	427
$\Phi_m \times 10^2$	0,475	1	1,5	2	2,55	2,925	3,3	3,65	3,95
$n_m$	9400	4460	2940	2200	1720	1490	1310	1180	1080
$\alpha = 0,4$									
$\Delta U_m$	2	4	6	8	10	12	15	18	22
$E_{cm}$	448	446	444	442	440	438	435	432	428
$\Phi_m \times 10^2$	0,37	0,725	1,1	1,475	1,85	2,225	2,575	2,875	3,175
$n_m$	12100	6160	4040	3000	2380	1950	1630	1400	1250
$\alpha = 0,34$									
$\Delta U_m$	2	4	6	8	10	12	15	18	22
$E_{cm}$	448	446	444	442	440	438	435	432	428
$\Phi_m \times 10^2$	0,31	0,625	0,95	1,275	1,59	1,90	2,25	2,575	2,825
$n_m$	14400	7110	4660	3470	2760	2300	1940	1680	1510
$\alpha = 0,3$									
$\Delta U_m$	2	4	6	8	10	12	15	18	22
$E_{cm}$	448	446	444	442	440	438	435	432	429
$\Phi_m \times 10^2$	0,275	0,55	0,825	1,1	1,4	1,675	1,975	2,25	2,55
$n_m$	16300	8150	5380	4000	3140	2620	2200	1920	1680
$\alpha = 0,25$									
$\Delta U_m$	2	4	6	8	10	12	14	16	18
$E_{cm}$	448	446	444	442	440	438	436	434	432
$\Phi_m \times 10^2$	0,225	0,45	0,675	0,9	1,125	1,375	1,625	1,875	2,125
$n_m$	20000	9900	6600	4900	3880	3200	2700	2300	2030

2200 UT = 2205 km const.

I <sub>II</sub>	U <sub>II</sub>	ΔU <sub>II</sub>	R <sub>0II</sub>	α = 0,1		n <sub>II</sub>	ΔU <sub>II</sub>	α = 0,24		n <sub>II</sub>	ΔU <sub>II</sub>	α = 0,245		n <sub>II</sub>
				Φ <sub>II</sub> · 10 <sup>2</sup>	R <sub>0II</sub>			Φ <sub>II</sub> · 10 <sup>2</sup>	R <sub>0II</sub>			Φ <sub>II</sub> · 10 <sup>2</sup>	R <sub>0II</sub>	
500	450	13	437	4,05	1080	12	436	3,25	1350	11	439	2,55	1720	
600	375	16	359	4,45	806	14	361	3,71	970	13	362	2,925	1240	
700	322	20	302	4,75	630	17	305	4,075	740	16	306	3,3	920	
800	282	24	258	4,95	520									
900	250	29	221	5,05	440									

I <sub>II</sub>	U <sub>II</sub>	ΔU <sub>II</sub>	R <sub>0II</sub>	α = 0,4		n <sub>II</sub>	ΔU <sub>II</sub>	α = 0,24		n <sub>II</sub>	ΔU <sub>II</sub>	α = 0,25		n <sub>II</sub>
				Φ <sub>II</sub> · 10 <sup>2</sup>	R <sub>0II</sub>			Φ <sub>II</sub> · 10 <sup>2</sup>	R <sub>0II</sub>			Φ <sub>II</sub> · 10 <sup>2</sup>	R <sub>0II</sub>	
500	450	10	440	1,85	2380	10	440	1,59	2760	10	440	1,125	3900	
600	375	12	363	2,225	1650	12	363	1,90	1910	12	363	1,375	2640	
700	322	15	307	2,575	1180	15	307	2,25	1350	14	308	1,625	1880	

Caracteristicile calculate sînt redade în fig.4.16.-

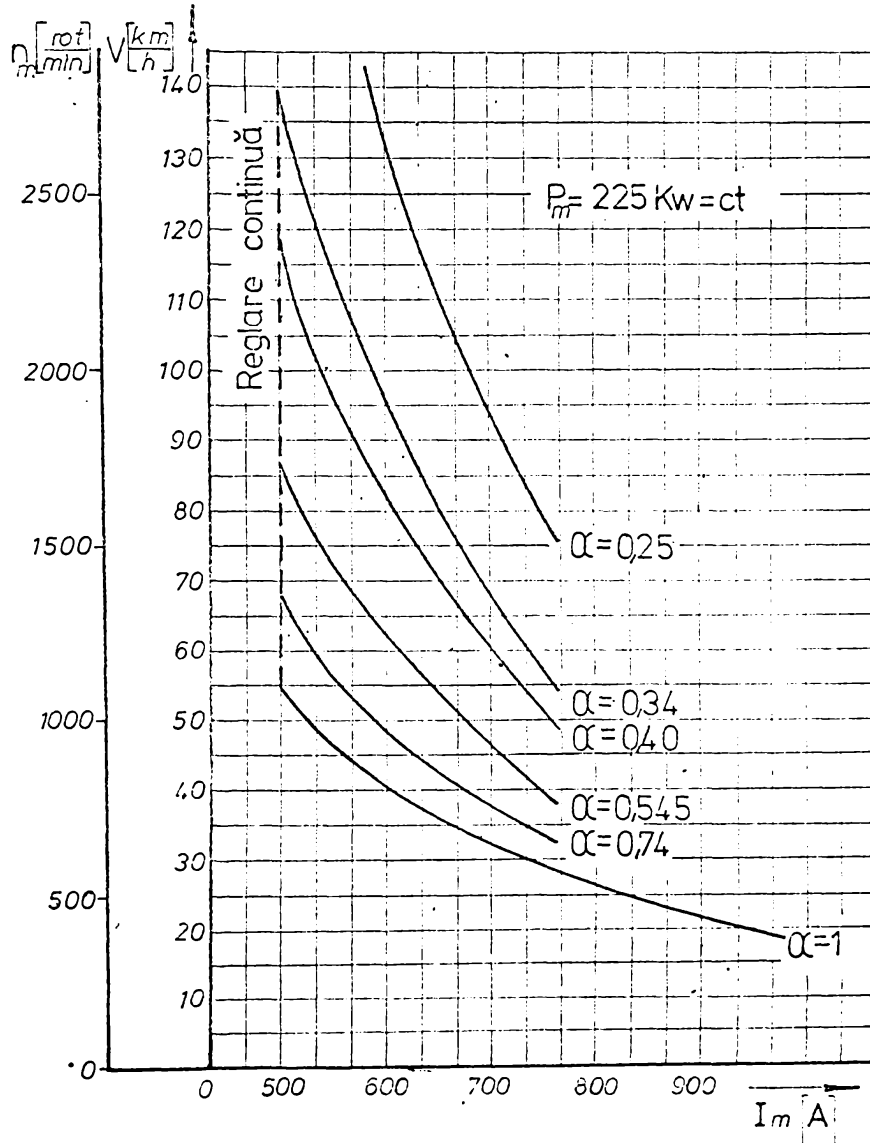


Fig. 4.16

Aşa cum rezultă din caracteristica  $U_m(I)_m$  din fig.4.5 pentru a se utiliza puterea maximă a motorului în orice condiții de funcționare, inclusiv de slăbire de câmp, curentul minim absorbit nu trebuie să scadă sub  $I_{\min} = 500 \text{ A}$ .

. / .

Din fig.4.15 și 4.16 se poate observa că pentru  $I = 500$  A corespunde aceeași viteză la anumit grad de slăbire de câmp, în cazul ambelor ipoteze.

Astfel, pentru  $\alpha = 1$  la  $I = 500$ ,  $n = 1080$  rot/min, aștit în ipoteza  $U_m = \text{const}$  cât și în ipoteza  $P_m = \text{const}$ .

Deci, pentru a se utiliza puterea maximă a motorului, acesta va fi lăsat să funcționeze pe caracteristica sa naturală,  $\alpha = 1$ , de la pornire pînă la turația de 1080 rot/min, de la care se vor introduce treptele de slăbire de câmp.

Slăbirea maximă de câmp ( $\alpha = \alpha_{\min}$ ) este limitată de turația maximă a motorului.

Cuplul motorului la diferite încărcări și trepte de slăbire de câmp se calculează conform relației (4.22).

$$C_m = K_c \Phi_m I_m$$

unde:

$$K_c = 9,75$$

Rezultă:

$$C_m = 9,75 \Phi_m I_m \quad [\text{kgf m}] \quad (4.31)$$

Rezultatele calculelor sînt date în tabelă 4.15 și diagramele fig.4.17.

#### 4.2.3. Determinarea caracteristicilor electrodinamice ale motorului GDM-533 raportate la obada roților motoare

##### 4.2.3.1. Determinarea caracteristicii $V(I)$

Caracteristica vitezei de înaintare a trenului  $V(I)$  se determină cu relația:

$$V = \frac{\pi D_r 3,6}{60 i} n_m \quad [\text{km/h}] \quad \text{unde} \quad (4.32)$$

$$D_r = 1,06 \quad [\text{m}] \quad \text{diametrul roților motoare}$$

$$i = \frac{67}{17} = 3,94 \quad \text{- raportul de transmisie}$$

$$v = 0,0507 n_m \quad [\text{km/h}] \quad (4.33)$$

. / .

TABELUL 4.15

$I_m$ A	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$\alpha = 1$									
$\Phi_m \cdot 10^2$ wb	0,95	1,90	2,75	3,5	4,05	4,45	4,75	4,95	5,05
$C_m$ kgfm	9,3	37	80	136	197	260	324	386	442
$\alpha = 0,75$									
$\Phi_m \cdot 10^2$ wb	0,675	1,35	2,075	2,68	3,25	3,71	4,075	4,35	4,575
$C_m$ kgfm	6,6	26,4	60,6	104	158	216	279	340	400
$\alpha = 0,545$									
$\Phi_m \cdot 10^2$ wb	0,475	1	1,5	2	2,55	2,925	3,3	3,65	3,958
$C_m$ kgfm	4,6	19,5	43,8	78	124	170	225	284	345
$\alpha = 0,4$									
$\Phi_m \cdot 10^2$ wb	0,37	0,725	1,1	1,475	1,85	2,225	2,575	2,875	3,175
$C_m$ kgfm	3,6	14,2	32	57,2	90	130	176	224	279
$\alpha = 0,34$									
$\Phi_m \cdot 10^2$ wb	0,31	0,625	0,95	1,275	1,59	1,90	2,25	2,575	2,88
$C_m$ kgfm	3	12,2	27,9	50	78	111	153	200	247
$\alpha = 30$									
$\Phi_m \cdot 10^2$ wb	0,275	0,55	0,825	1,1	1,4	1,675	1,975	2,25	2,55
$C_m$ kgfm	2,7	10,7	24	43	68,5	98	135	175	224
$\alpha = 0,25$									
$\Phi_m \cdot 10^2$ wb	0,225	0,45	0,675	0,90	1,135	1,375	1,625	1,875	2,125
$C_m$ kgfm	2,2	8,8	19,7	35	55	80,5	110	146	186

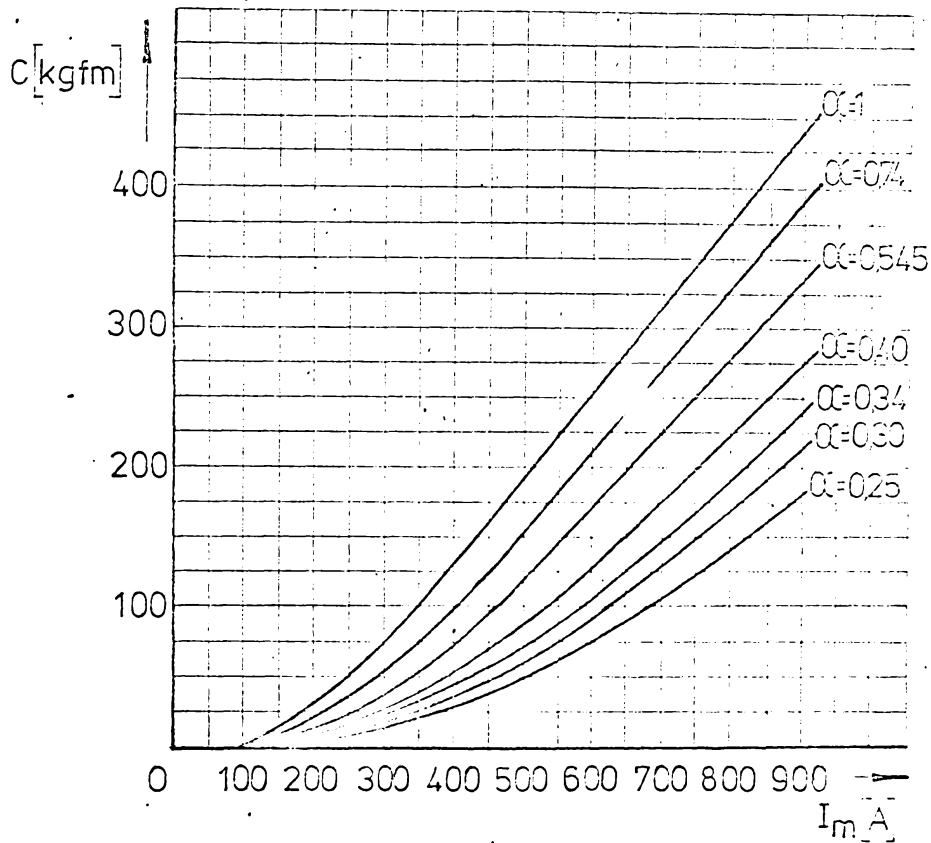


Fig. 4.17

Funcția se ia din tabelele 4.13 și 4.14.

Rezultatele calculilor în ipoteza  $U_m = 450 \text{ V} = \text{const}$  sînt redată în tabela 4.16 iar pentru ipoteza  $P_m = 225 \text{ kW} = \text{const}$  în tabela 4.17 pentru diferite grade de slăbire de câmp.

Caracteristicile  $V(I)$  sînt redată în diagramele din fig.4.15 pentru  $U_m = \text{const}$  și în Fig.4.16 pentru  $P_m = \text{const}$ .

Comparînd caracteristicile vitezei cu caracteristicile  $n(I)$ , la concluziile asupra funcționării motoarelor electrice de tracțiune se mai poate spune că acestea vor fi luate să funcționeze pe caracteristica lor naturală  $\alpha = 1$  până ce viteza trenului atinge 55 km/h, de la care se introduce treptele de slăbire de câmp.

. / .

TABELUL 4.16

		$U_m = 450, v = \text{const.}$								
$I_m$	A	100	200	300	400	500	600	700	800	900
		$\alpha = 1$								
$n_m$	rot/min	4700	2340	1600	1250	1000	975	906	855	805
$v$	km/h	240	119	81	63,5	55	49,5	46	44	42,5
		$\alpha = 0,74$								
$n_m$	rot/min	6660	3300	2140	1640	1350	1175	1060	990	930
$v$	km/h	334	167	109	83	68,5	59,5	54	50	47
		$\alpha = 0,545$								
$n_m$	rot/min	9400	4460	2940	2200	1720	1490	1310	1180	1080
$v$	km/h	476	227	149	112	87,5	75,8	68,5	60	55
		$\alpha = 0,4$								
$n_m$	rot/min	12100	6160	4040	3000	2380	1960	1630	1500	1350
$v$	km/h	610	313	205	152	120	100	88	76	68,5
		$\alpha = 0,34$								
$n_m$	rot/min	14400	7110	4660	3470	2760	2300	1940	1680	1510
$v$	km/h	730	360	236	175	140	116	98	85	76,4
		$\alpha = 0,30$								
$n_m$	rot/min	16300	8150	5380	4000	3140	2620	2200	1920	1680
$v$	km/h	830	414	273	203	159	133	112	97,5	85
		$\alpha = 0,25$								
$n_m$	rot/min	20000	9900	6600	4900	3850	3200	2700	2300	2000
$v$	km/h	1020	500	335	248	193	162	136	116	103

TABELUL 4.17

P <sub>m</sub> = 225 kW = const.													
I <sub>m</sub>	U <sub>m</sub>	$\alpha = 1$		$\alpha = 0,74^{\wedge}$		$\alpha = 0,545$		$\alpha = 0,40$		$\alpha = 0,34$		$\alpha = 0,25$	
		n <sub>m</sub>	v	n <sub>m</sub>	v	n <sub>m</sub>	v	n <sub>m</sub>	v	n <sub>m</sub>	v	n <sub>m</sub>	v
500	450	1080	55	1350	68,5	1720	87,5	2380	120	2760	140	3900	196
600	375	806	41	970	49	1240	63	1630	83	1910	97	2640	133
700	322	630	32	740	37,5	920	47	1180	60	1350	68,5	1880	95
800	282	520	26,5										
900	250	440	22										



La locomotiva diesel 060-DA-1 trecerile pentru diferite trepte de slăbire a câmpului se fac la următoarele viteze:

Treapta	I	II	III
$\alpha$	0,74	0,545	0,4
$v$ [km/h]	55	68,5	87,5

Se poate observa faptul că dacă impunem ca viteza maximă a locomotivei, să fie mai mare de 120 km/h, este necesară o slăbire mai adâncă de câmp  $\alpha < 0,4$  în ipoteza păstrării aceleiași curent  $I = 500$  A.

#### 4.2.3.2 Determinarea caracteristicilor forței de tracțiune a motoarelor. $F_{om}$ (V)

Aceste caracteristici se pot calcula [31] cu expresia:

$$F_{om} = \frac{2}{D_r} i C_m \eta_{tr} \quad , \quad \text{unde} \quad (4.34)$$

$$i = 3,94$$

$$D_r \hat{=} 1,06 \text{ [m]}$$

$$\eta_{tr} \hat{=} 0,96 - \text{randamentul transmisiei}$$

$$F_{om} = \frac{2}{1,06} 3,94 \cdot 0,96 \cdot C_m = 7,13 \cdot C_m \text{ [kgf]} \quad (4.35)$$

Din caracteristica  $C_m(I_m)$ , respectiv  $F_{om}(I)$  și  $V(I)$  rezultă caracteristica  $F_{om}(V)$ .

Deoarece  $V(I)$  diferă în cele două ipoteze de calcul ( $U_m = 450$  V = const și  $P_m = 225$  kW = const), apar două familii de caracteristici  $F_{om}(V)$ .

Aceste caracteristici nu s-au trasat pentru un singur motor, ci pentru grupul de 6 motoare fiind că, interesează mai mult studiul caracteristicilor de tracțiune a locomotivei.

#### 4.2.4. Determinarea caracteristicilor de tracțiune ale locomotivei 060-DA-1 la diferite trepte de slăbire de câmp a motoarelor

. / .

4.2.4.1. Determinarea caracteristicilor  $P_o(V)$

Pentru calcule se ia în considerare [30] trenul standard pentru pasageri cu tonaje de 200 și 400 t.

Forța de tracțiune a locomotivei;

$$P_o = Z P_{om} = Z \cdot 7,13 C_m = 42,8 C_m \quad [\text{kgf}] \quad (4.36)$$

unde:

$Z = 6$  - numărul motoarelor de tracțiune

Rezultatele calculelor pentru diferite trepte de schimbare de câmp ale motoarelor, în cele două ipoteze de calcul, sînt date în tabelele 4.18 și 4.19, iar caracteristicile sînt reprezentate în fig.4.18 și 4.19.

4.2.4.2. Calculul rezistențelor la înaintare

Rezistența de înaintare a locomotivei se determină cu relația (4.18).

$$W_L = 3,5 G_L + 0,4 S \left( \frac{V+12}{10} \right)^2 \quad [\text{kgf}]$$

unde:

$$G_L = 116 \text{ t}$$

$$S = 11,5 \text{ m}^2$$

$$W_L = 3,5 \cdot 116 + 0,4 \cdot 11,5 \left( \frac{V+12}{10} \right)^2 = 405 + 4,6 \left( \frac{V+12}{10} \right)^2$$

Rezultatele calculelor sînt date în tabela 4.20.

Rezistența de înaintare a garniturii se determină cu relația (4.19):

$$W_v = G_v W_v$$

$$W_v = 1,65 + \frac{v^2}{4000} \quad [\text{kgf/t}] \quad - \text{pentru vagoane tip 74.000}$$

unde:

$G_v$  - greutatea vagoanelor remorcate (tonajul)

$W_v$  - rezistența specifică la înaintare a vagoanelor.

Rezistența totală la înaintare a trenului în pajiș și aliniament va fi suma celor două rezistențe:

$$W = W_L + W_v \quad [\text{kgf}] \quad (4.37)$$

Rezultatele calculelor sînt date în tabela 4.20 iar grafic sînt prezentate în fig.4.18 și 4.19.-

TABELUL 4.13

		$U_m = 450 \text{ v} = \text{const}$									
$l_m$	A	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$\alpha = 1$											
v	km/h	240	119	81	63,5	55	49,5	46	44	42,5	
$C_m$	kgf m	9,3	37	80	130	197	260	324	386	442	
$F_{om} = 42,80$	kgf	400	1500	3430	5800	8440	11100	13890	16900	18900	
$\alpha = 0,74$											
v	km/h	334	167	109	83	68,5	59,5	54	50	47	
$C_m$	kgf m	6,6	26,4	60,6	104	158	216	279	341	400	
$F_{om}$	kgf	282	1130	2600	4450	6760	9290	11900	14500	17100	
$\alpha = 0,545$											
v	km/h	476	227	149	112	97,5	75,8	66,5	60	55	
$C_m$	kgf m	4,6	19,5	43,8	78	124	170	225	284	345	
$F_{om}$	kgf	197	835	1870	3340	5000	7200	9810	12800	14700	
$\alpha = 0,4$											
v	km/h	610	313	205	152	120	100	89	76	68,5	
$C_m$	kgf m	3,6	14,2	32	57,2	90	130	176	224	279	
$F_{om}$	kgf	154	608	1370	2640	3860	5560	7540	9580	11900	
$\alpha = 0,34$											
v	km/h	730	360	236	175	140	116	98	85	76,4	
$C_m$	kgf m	3	12,2	27,9	50	78	111	155	200	247	
$F_{om}$	kgf	128	523	1190	2140	3340	4700	6560	8560	10600	
$\alpha = 0,30$											
v	km/h	830	414	273	203	159	133	112	97,5	89	
$C_m$	kgf m	2,7	10,7	24	43	68,5	98	135	175	224	
$F_{om}$	kgf	116	458	1020	1840	2920	4200	5780	7500	9500	
$\alpha = 0,25$											
v	km/h	1020	500	335	248	196	162	136	116	103	
$C_m$	kgf m	2,2	8,8	19,7	35	55	80,5	110	146	186	
$F_{om}$	kgf	94	376	845	1500	2350	3440	4710	6250	7960	

TABELLA 4.19

		$P_n = 21,5 \text{ km/h, conus}$								
$R_n$	A	500	540	560	570	585	600	700	800	900
		$\alpha = 1$								
v	km/h	55					41	32	26,5	22
F <sub>om</sub>	kgf	8440					11100	13800	16000	18500
		$\alpha = 0,74$								
v	km/h	68,5		55			49	37,5		
F <sub>om</sub>	kgf	6760		8440			9250	11900		
		$\alpha = 0,545$								
v	km/h	87,5			68,5		63	47		
F <sub>om</sub>	kgf	5300			6760		7280	9610		
		$\alpha = 0,40$								
v	km/h	120				87,5	83	60		
F <sub>om</sub>	kgf	3860				5300	5560	7540		
		$\alpha = 0,34$								
v	km/h	140	120				97	68,5		
F <sub>om</sub>	kgf	3340	3860				4700	6760		
		$\alpha = 0,25$								
v	km/h	196				140	133	95		
F <sub>om</sub>	kgf	2360				3340	3440	4700		

T A B E L A No. 4.20

$V$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

$W_L = 406 + 4,6 \frac{v+12^2}{10}$ kgf	428	453	489	531	583	646	714	796	884	986	1096	1209	1336	1460	1600
$W_V$ kgf/t	1,675	1,75	1,875	2,05	2,275	2,55	2,87	3,25	3,67	4,15	4,68	5,25	5,87	6,55	7,27

$G_V = 200$  t

$W_{V200} = 200 W_V$ kgf	335	350	375	410	455	510	575	650	735	830	935	1050	1170	1310	1454
--------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------

$W_{200} = W_L + W_{V200}$ kgf	763	803	864	941	1038	1156	1289	1446	1619	1816	2031	2259	2506	2770	3054
--------------------------------	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

$G_V = 400$  t

$W_{V400} = 400 W_V$ kgf	670	700	750	820	910	1020	1150	1300	1470	1660	1870	2100	2340	2620	2908
--------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

$W_{400} = W_L + W_{V400}$ kgf	1098	1153	1239	1351	1493	1666	1864	2096	2354	2646	2966	3309	3676	4060	4508
--------------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

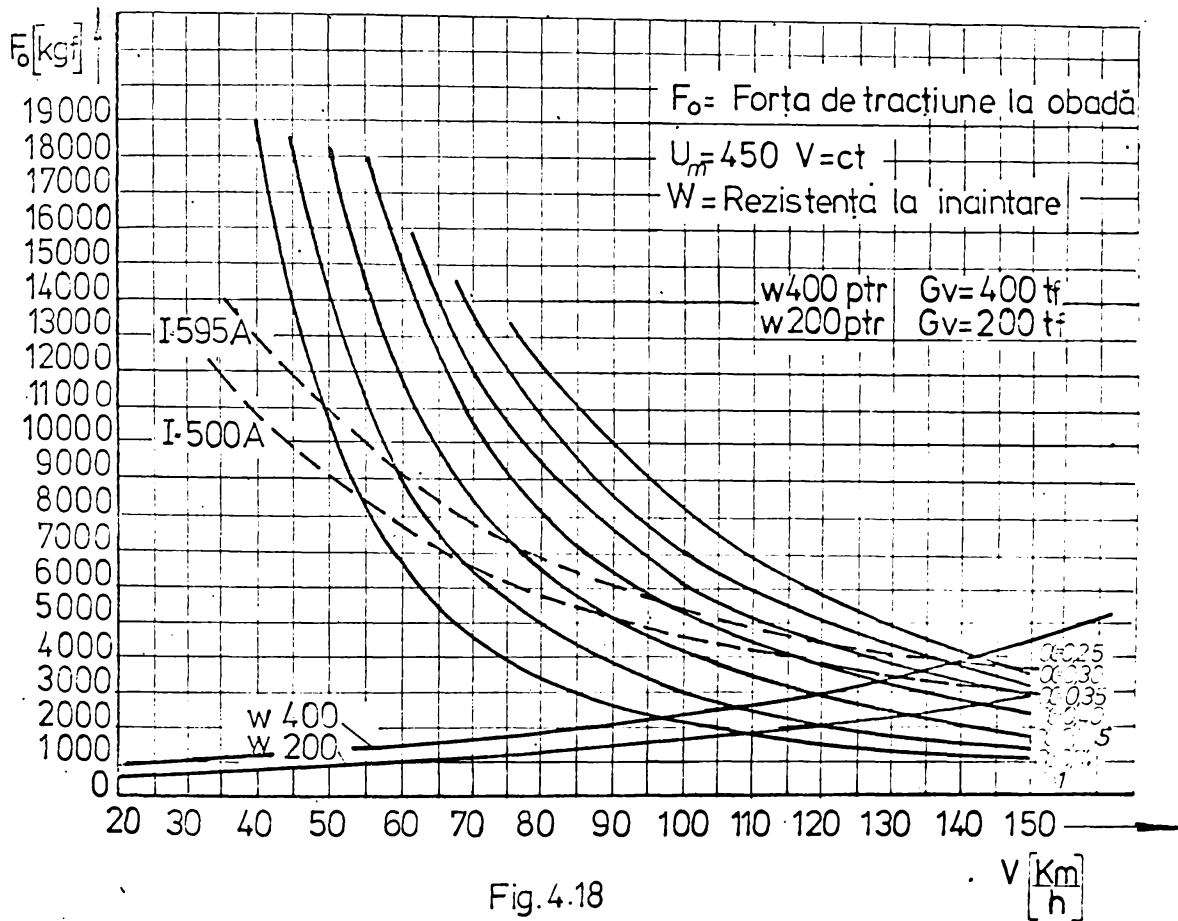


Fig. 4.18

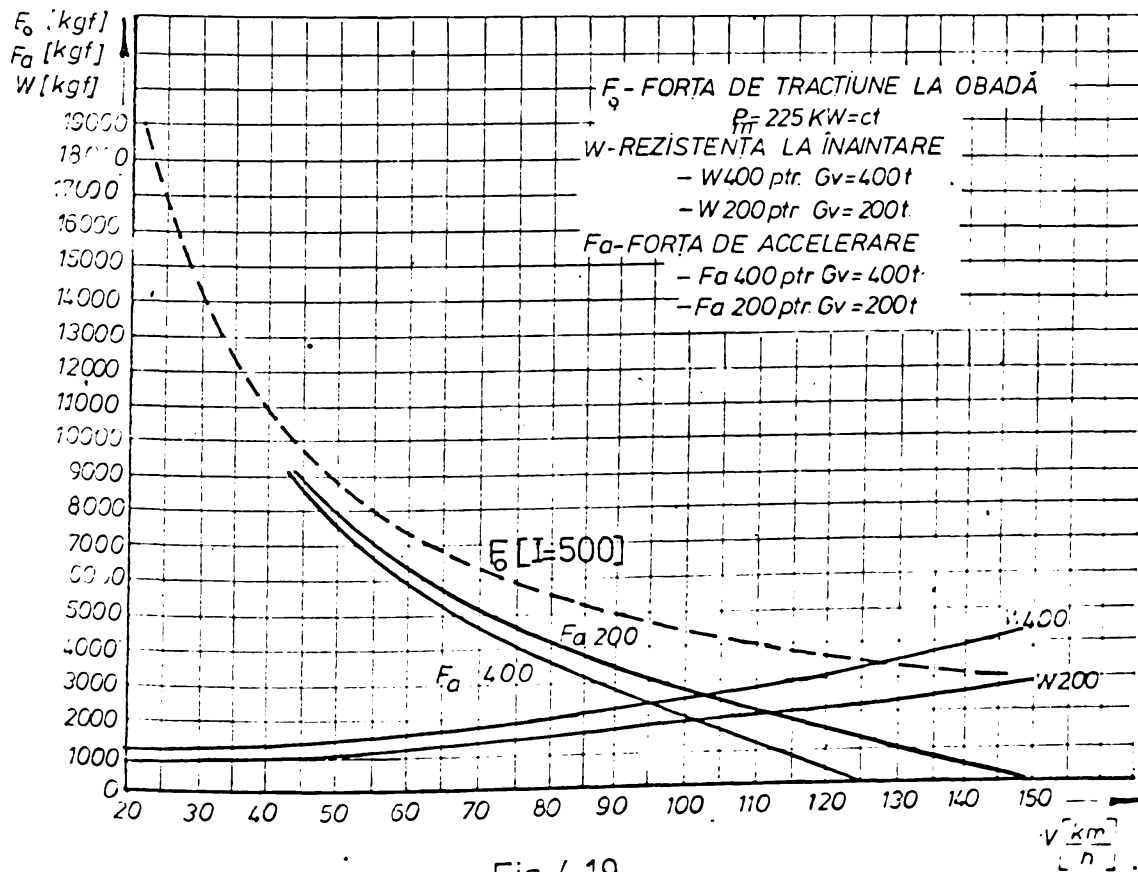


Fig. 4.19

4.2.4.3. Calculul forțelor de accelerare a trenului

Forțele de accelerare a trenului se determină ca diferență între forța de tracțiune a locomotivei și rezistențele de înaintare, conform relației (4.20)

$$F_a = F_0 - W \quad [\text{kgf}]$$

Rezultatele calculelor în ipoteza  $U_m = 450 \text{ V} = \text{const.}$  și  $G_v = 200 \text{ tf}$  sînt date în tabela 4.21 și graficul în fig.4.20 iar pentru cazul  $U_m = 450 = \text{const}$  și  $G_v = 400 \text{ tf}$ , în tabela 4.22 și graficul din fig.4.21.

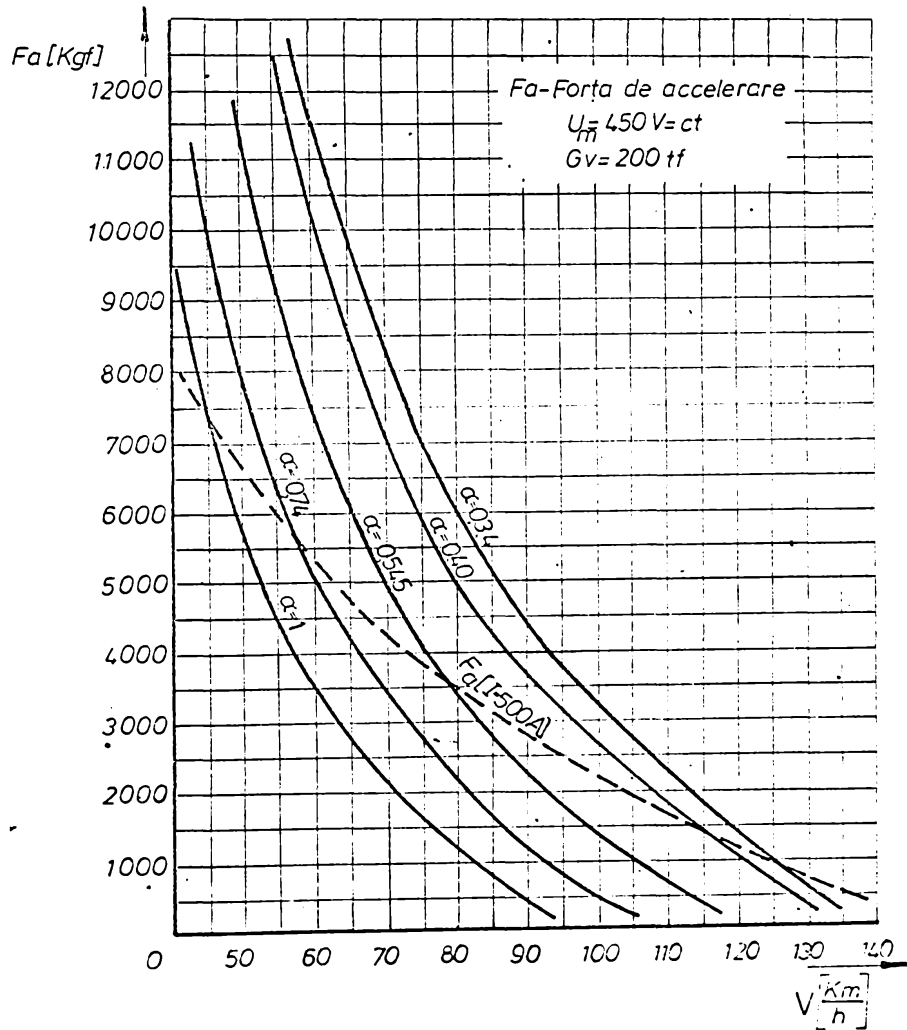


Fig. 4.20

TABELA 4.21

$U_{\text{H}} = 450 \text{ V}, Gv = 200 \text{ t}$

V. km/h	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
$\alpha = 1$										
$F_o$	10600	6660	4700	3500	2650	2100				
W	1040	1160	1290	1450	1620	1820				
$F_a$	9560	5500	3410	2050	1030	230				
$\alpha = 0,74$										
$F_o$	14500	9000	6400	4800	3700	3000	2500			
W	1040	1160	1290	1450	1620	1820	2030			
$F_a$	13460	7840	5110	3450	2080	1180	470			
$\alpha = 0,545$										
$F_o$		12500	8300	6500	5000	4100	3500	2900		
W		1160	1290	1450	1620	1820	2030	2260		
$F_a$		11340	7310	5050	3380	2260	1470	640		
$\alpha = 0,40$										
$F_o$			11500	8300	6500	5500	4700	4000	3500	
W			1290	1450	1620	1820	2030	2260	2500	
$F_a$			10210	6850	4880	3680	2670	1740	1000	
$\alpha = 0,34$										
$F_o$				9600	7700	6300	5300	4400	3800	3400
W				1450	1620	1820	2030	2260	2500	2770
$F_a$				8150	6080	4480	3270	2140	1300	630



TABELA 4.22

		$U_m = 450 \text{ V} \quad C_v = 400 \text{ V}$									
V	km/h	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
		$\alpha = 1$									
$F_o$		10000	6660	4700	3500	2650					
W		1500	1660	1860	2100	2350					
$F_a$		9100	5000	2840	1400	300					
		$\alpha = 0,74$									
$F_o$		14500	9000	6400	4800	3700	3000				
W		1500	1660	1860	2100	2350	2650				
$F_a$		13000	7340	4540	2700	1350	350				
		$\alpha = 0,545$									
$F_o$		12500	8600	6500	5000	4100	3500				
W		1660	1860	2100	2350	2650	3000				
$F_a$		10840	6740	4400	2650	1450	500				
		$\alpha = 0,4$									
$F_o$		11500	8300	6500	5500	4700	4000				
W		1860	2100	2350	2650	3000	3300				
$F_a$		9640	6200	4150	2350	1700	700				
		$\alpha = 0,34$									
$F_o$		9600	7700	6300	5300	4400	3800				
W		2100	2350	2650	3000	3300	3670				
$F_a$		7500	5350	3650	2300	1100	130				
		$\alpha = 0,30$									
$F_o$		8600	7100	6000	5000	4350					
W		2350	2650	3000	3300	3670					
$F_a$		6250	4450	3000	1700	680					
		$\alpha = 0,25$									
$F_o$		7000	5800	5000	4500						
W		3000	3300	3670	4000						
$F_a$		4000	2500	1330	420						

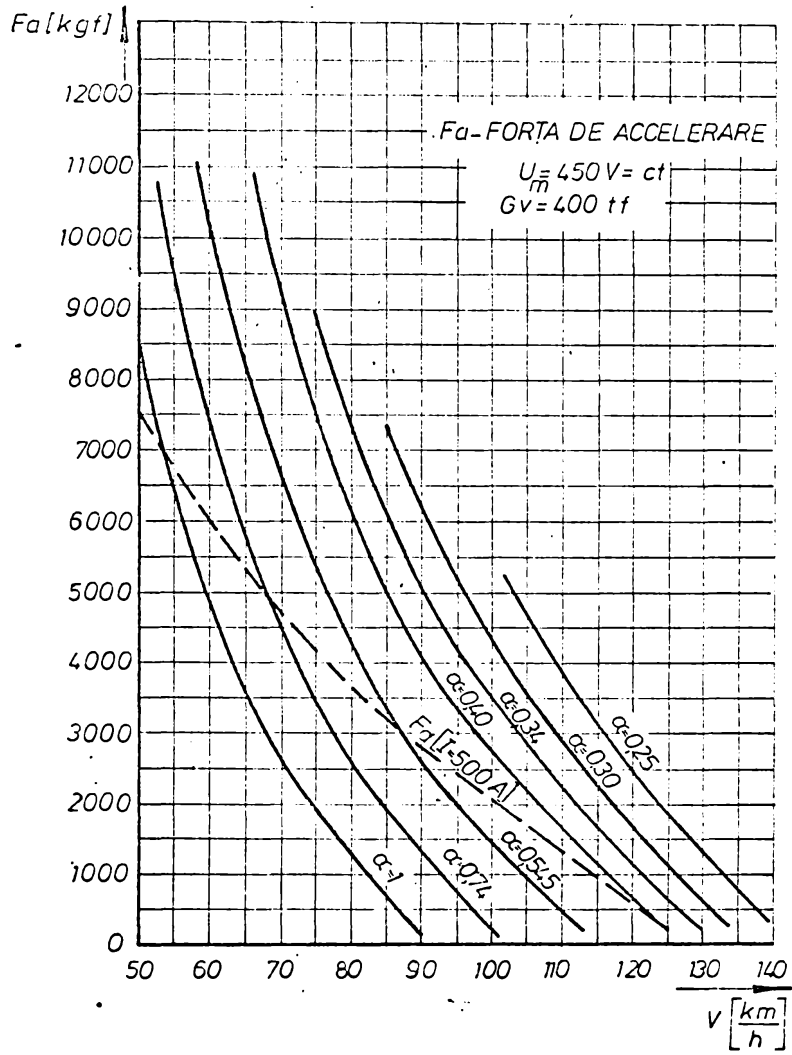


Fig.4.21

Pentru ipoteza  $P_m = 225 \text{ kW} = \text{const}$ ,  $G_v = 200 \text{ tf}$  respectiv  $G_v = 400 \text{ tf}$  rezultatele calculelor sînt date în tabelele 4.23 respectiv 4.24 și în graficul din fig.4.19.

#### 4.2.5. Determinarea caracteristicilor de tracțiune ale locomotivei 060-DA-1 în cazul reglării vitezei prin slăbire de cîmp continuă a motoarelor de tracțiune

##### 4.2.5.1. Considerații generale

Motorul diesel funcționează în regimul cel mai economic, cînd este utilizat la puterea sa optimă, pe tot domeniul de viteze al locomotivei cuprins între  $V_{\min}$  și  $V_{\max}$ , lucru realizat prin menținerea constantă a puterii acestuia.

Menținîndu-se constantă puterea motorului diesel, pentru utilizarea completă a puterii sale pe tot domeniul, reglajul regimului de funcționare al generatorului principal se realizează astfel încît, caracteristica sa externă  $U_g(I_g)$  să aibe o variație hiperbolică, adică puterea generatorului  $P_g = U_g \cdot I_g$  să fie constantă.

În cazul locomotivei 060-DA-1, puterea ce revine unui motor de tracțiune este de  $P_m = U_m \cdot I_m = 225 \text{ kW} = \text{const}$ .

Această condiție trebuie îndeplinită și în domeniul unde reglarea vitezelor se face prin slăbire de cîmp.

Reglarea continuă a slăbirii de cîmp se poate face la un curent  $I_m = 500 \text{ A} \approx \text{const}$ .

Din studierea caracteristicilor  $V(I_m)$  - fig.4.16 - și  $F_0(V)$  - fig.4.18 și 4.19 ridicate în ipotezele  $U_m = 450 \text{ V} = \text{const}$  și respectiv  $P_m = 225 \text{ kW} = \text{const}$ , se poate trage concluzia că dacă trecerea de la un grad  $\alpha_1$  de slăbire de cîmp la un grad  $\alpha_2 < \alpha_1$  se face continuu sub un curent constant ( $I = 500 \text{ A} \approx I_{\min}$ ) a cărui valoare este egală cu valoarea curentului minim din cazul reglării în trepte, în ipoteza  $U_m = \text{const}$  se obțin aceleași valori ale vitezelor și ale forțelor de tracțiune pentru diferite grade de slăbire de cîmp, ca și în ipoteza  $P_m = \text{const}$  și reglare în trepte, cînd curenții motoarelor au valori cuprinse între  $I_{\min}$  și  $I_{\max}$ .

TABELLA 4.23

$P_m = 225 \text{ kW} = \text{const}, Gv = 200 \text{ t}$											
$\alpha$	1	0,74	0,545	0,40	0,34	0,315					
$V_{\text{max}}$	55	68,5	87,5	120	140	150					
$V_{\text{min}}$		55	68,5	87,5	120	140					
$F_o \text{ max}$		8440	6760	5300	3860	3340					
$F_o \text{ min}$	8440	6760	5300	3860	3340	3100					
$W_{200}$	1100	1100	1300	1300	1600	1600	2300	2300	2770	2770	3054
$F_a \text{ max}$		7340	5460	3700	1560	570					
$F_a \text{ min}$	7340	5460	3700	1560	570	46					

TABELLA 4.24

$P_m = 225 \text{ kW} = \text{const}, Gv = 400 \text{ t}$									
$\alpha$	1	0,74	0,545	0,40	0,34				
$V_{\text{max}}$	55	68,5	87,5	120	140				
$V_{\text{min}}$		55	68,5	87,5	120				
$F_o \text{ max}$		8440	6760	5300	3860				
$F_o \text{ min}$	8440	6760	5300	3860	3340				
$W_{400}$	1600	1600	1850	1850	2300	2300	3300	3300	4080
$F_a \text{ max}$		6840	4910	3000	560				
$F_a \text{ min}$	6840	4910	3000	560	-740				

Deci în cazul reglării continue a slăbirii câmpului inductor, rezultă aceeași parametri de tracțiune  $F_0$  (v) la un curent  $I_{\min}$  ca și în cazul reglării în trepte la un curent variabil între  $I_{\min}$  și  $I_{\max}$ .

Valorile acestor parametri sînt date comparativ în tabela 4.25.

Din punctul de vedere al solicitărilor termice ale generatorului principal, funcționarea la un curent  $I_{\min}$  este foarte avantajoasă întrucît curentul acesta se află cu mult sub valoarea curentului de durată  $I_{\infty} = 820$  A.

4.2.5.2. Determinarea caracteristicii  $V(I_m)$  pentru diferiți coeficienți de slăbire a câmpului în cazul reglării continue a vitezei

Din condiția de putere constantă rezultă relația:

$$F_0 v = \text{const} \quad (4.38)$$

respectiv, în cazul câmpului slăbit la gradul  $\alpha$  :

$$F_0 \alpha v \alpha = \text{const}$$

Se poate scrie că:

$$\frac{v}{v \alpha} = \frac{n_m}{n \alpha} = \frac{\frac{E_{om}}{\Phi_m}}{\frac{E_{om} \alpha}{\Phi_m \alpha}} = \frac{E_{om} \Phi_m}{E_{om} \alpha \Phi_m} \quad (4.39)$$

și

$$\frac{F_0}{F_0 \alpha} = \frac{\Phi_m I_m}{\Phi_m \alpha I \alpha} \quad (4.40)$$

Din relațiile (4.39) și (4.40) rezultă:

$$\frac{F_0 v}{F_0 \alpha v \alpha} = \frac{E_{om} \cdot I_m}{R_m I_m \alpha} = 1 \quad (4.41)$$

Din relația (4.33) avem:

. / .

TABLE 4.25

Reglare continua		Reglare in trepte $P_m = 205 \text{ kW} = \text{const.}$				
		0	I	II	III	IV
$\alpha$	$\alpha$	1	0,74	0,545	0,4	0,24
$v = v_{\text{max}}$	$v_{\text{max}}$	55	68,5	87,5	120	140
	$v_{\text{min}}$		55	68,5	87,5	120
$I = I_{\text{min}}$	$I_{\text{max}}$		500	570	585	540
	$I_{\text{min}}$	500	500	500	500	500
$F_o = F_{o \text{ max}}$	$F_o \text{ max}$		8440	6760	5300	3860
	$F_o \text{ min}$	8440	6760	5300	3860	3340

$V = 0,0507 \frac{E_{om}}{10 \cdot \phi_m}$ , și introducînd relația (4.31)  $C_m = 9,75 \phi_m I_m$

în relația (4.36) obținem:

$$F_o = 42,8 C = 42,8 \cdot 9,75 \phi_m I_m = 416 \phi_m I_m$$

Din înmulțirea lor rezultă:

$$F_o V = 2,12 E_{om} I_m$$

De aici rezultă valoarea curentului

$$I_m = \frac{F_o \cdot V}{2,12 \cdot E_{om}} = \frac{220 \cdot 10^3}{E_{om}} \quad [A] \quad (4.42)$$

Produsul  $F_o V$  este dat în tabela 4.26.

- Tabela 4.26

		1	0,74	0,545	0,40	0,34	0,25
V	km/h	55	68,5	97,5	120	140	150
$F_o$	kgf	8440	6760	5300	3860	3340	3100
$F_o V \cdot 10^{-3}$	$\frac{\text{kgf km}}{\text{h}}$	464	464	464	464	464	464

Valorile lui  $E_{om}$  se pot citi din tabela 4.13 pentru  $I = 500$  și diferite grade  $\alpha$  de slăbire de câmp. Aceste valori se introduc în expresia (4.42) și se determină curentul.

Valorile curentului motorului la reglarea continuă a câmpului sînt date în tabela 4.27.

- Tabela 4.27

		1	0,74	0,545	0,40	0,34	0,30	0,25
$E_{om}$		437	438	439	439,7	440	440,1	440,25
$I_m$		504	503	502	501	500	499	497

Avînd valorile lui  $V$  și  $I_m$  se construiește caracteristica  $V(I_m)$  în cazul reglării continue a slăbirii de câmp, care este

. / .

indicată de linia întreruptă din Fig.4.15 și 4.16.

Această caracteristică are aproape o poziție verticală, indicând păstrarea aproape constantă a curentului și a tensiunii. Rezultă că generatorul practic va lucra într-un punct pe caracteristica sa externă de putere constantă, în raport cu reglarea în trepte când, generatorul va lucra în diferite puncte ale caracteristicii sale externe. Fig.4.22.

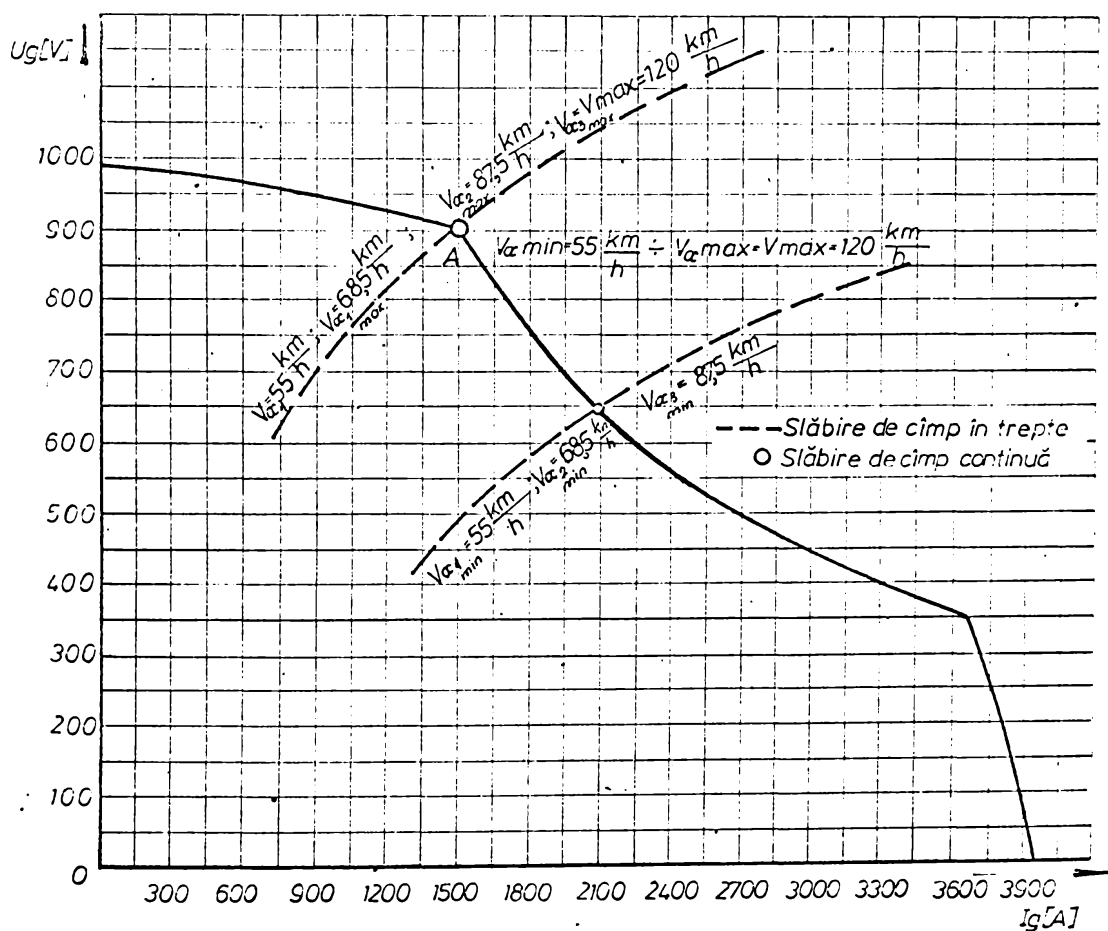


Fig. 4.22



#### 4.2.5.3. Determinarea caracteristicii $F_0(V)$

Caracteristica  $F_0(V)$  în cazul reglării continue sub un curent  $I = 500$  A este indicată de linia întreruptă din fig.4.19.

#### 4.2.6. Posibilitățile de utilizare a rezervelor transmisiei electrice a locomotivei 060-DA-1 datorită slăbirii continue a cîmpului motoarelor de tracțiune

##### 4.2.6.1. Considerațiuni generale

Din cele arătate în capitolele precedente rezultă că, prin reglarea vitezei cu slăbirea continuă a cîmpului motoarelor de tracțiune, transmisia electrică a locomotivei 060-DA-1 dispune încă de rezerve importante, care pot fi utilizate pentru ridicarea performanțelor de exploatare ale acesteia.

Aceste rezerve se rezumă la următoarele:

a) Rezervă de putere ca urmare a faptului că valoarea curentului  $I = I_{\min} = 500$  A ce revine unui motor (1500 A la generator), la care se face reglajul vitezei prin slăbirea continuă a cîmpului, se află cu mult sub valoarea curentului de durată  $I = 820$  A ce revine unui motor (2460 A la generator) și deci și sollicitarea termică a motoarelor de tracțiune cât și a generatorului principal este cu mult sub valorile admisibile.

În felul acesta, apare posibilitatea măririi curentului de sarcină al motoarelor și al generatorului la care se face reglajul vitezei, prin slăbirea continuă a cîmpului motoarelor de tracțiune.

b) Rezervă de putere la generatorul principal în jur de 22% ca urmare a reducerii valorii lui  $K_g$  conform celor arătate în capitolul 3. Acest lucru permite fie reducerea greutateii generatorului, fie sporirea încărcării sale.

c) Posibilitatea slăbirii mai adînci a cîmpului motoarelor de tracțiune ca urmare a eliminării fenomenelor tranzitorii.

d) Reducerea șocurilor din transmisie și din aparatele de tracțiune.

- Rezumînd, se poate indica modul în care acționează

rezervele transmisiei electrice ale locomotivei diesel indicate mai sus, asupra caracteristicii de tracțiune ale locomotivei.

Transmisia electrică permite:

- Sporirea puterii instalate, ceea ce are ca efect deplasarea forțelor de tracțiune mari înspre domeniile de viteze mari, asigurându-se astfel sporirea vitezelor și a tonajelor remorcate de locomotivă.

- Reducerea greutateii proprii a locomotivei duce la reducerea rezistențelor la înaintare a locomotivei, asigurându-se astfel o forță de tracțiune disponibilă mai mare și sporirea pe această cale a tonajului remorcat.

- Slăbirea adâncă a câmpului motoarelor de tracțiune permite utilizarea completă a puterii optime a motorului diesel și la viteze mai mari de 120 km/h cât dezvoltă la ora actuală locomotiva diesel electrică 060-DA-1.

- Reducerea șocurilor din transmisie și aparatele de legare, duce la reducerea uzurii acestora, cât și la îmbunătățirea confortului de călătorie la trenurile de călători.

Calcululele ce urmează au ca scop determinarea câtorva posibilități de exploatare a rezervelor pe care le posedă transmisia electrică a locomotivei diesel electrică 060-DA-1 și care pot fi utilizate pentru mărirea performanțelor sale de exploatare.

#### 4.2.6.2. Determinarea valorii curentului motorului de tracțiune în regimul de slăbire continuă de câmp pentru diferite tonaje remorcate

Pentru curentul de reglaj  $I_m = I_{min} = 500$  A s-au determinat în capitolul 4.2.4 caracteristicile de tracțiune ale locomotivei reprezentate în fig.4.18 și 4.19 conform valorilor determinate prin calcul și sistematizate în tabelul 4.20.

Tot aici s-au reprezentat și valorile forțelor de accelerație  $F_a$  la diferite viteze și tonaje remorcate pentru două trenuri standard, unul de 200 tf și unul de 400 tf.

Cunoscându-se masa  $G_{tr}$  a locomotivei și a vagoanelor remorcate, se pot determina valorile accelerațiilor cu relația:

. / .

$$a = \frac{9,81 \cdot F_a \cdot 10^{-3}}{G} \left[ \frac{m}{s^2} \right] \quad (4.43)$$

și valorile timpilor de mers.

Rezultatele calculelor sînt sistematizate în tabelele 4.28, 4.29 și reprezentate grafic în fig.4.23 și 4.24.-

Analizîndu-se rezultatele calculelor se constată că locomotiva poate atinge viteza maximă de 127 km/h cu un tonaj remorcat  $G_v = 400$  tf.

Cu un tonaj de 200 tf locomotiva poate atinge viteza maximă de 150 km/h.

Comparativ cu locomotiva diesel 060-DA-1 cu reglarea cîmpului motoarelor de tracțiune în trepte la un curent de reglare mediu  $I = 595$  A, care realizează viteza maximă de 120 km/h cu un tren de același tonaj, se vede că, în cazul reglării continue a cîmpului motoarelor de tracțiune la curentul de  $I_m = 500$  A ce revine unui motor de tracțiune, locomotiva poate realiza viteza maximă de 120 km/h cu un tonaj de 400 tf, cu remorca însă, că acest lucru se realizează cu solicitarea minimă a motoarelor de tracțiune, ale generatorului, cît și ale transmisiei mecanice.

Dacă se iau în considerație timpii în care se atinge viteza maximă cu acest tonaj, se vede din fig.4.24 că acesta este de o oră.

Dacă se consideră un alt tonaj intermediar între 200 tf și 400 tf, de exemplu 300 tf, (fig.4.25) ceea ce înseamnă un tren de călători rapid compus din 6 vagoane tip 74.000, timpii se reduc la jumătate - la 30 de minute.

Cu un tonaj de 200 tf locomotiva poate atinge viteza de 120 km/h în circa 14 minute.

Deci, locomotiva va putea fi utilizată în condiții acceptabile ținîndu-se cont de vitezele maxime admise cît și de timpii de mers actuali și pentru tracționarea trenurilor de călători rapide, ușoare.

Din cele de mai sus se vede că, pentru a se obține rezultate satisfăcătoare și să se folosească în mod eficient rezervele importante pe care le posedă transmisia electrică a locomotivei diesel, este necesar de a se merge la curenți de reglare mai mari.

. / .

O.LOCCOMOTIVA - REGOLAZIONE CONTINUA SULLIBRILLO A 500 V

$G_v = 200 \text{ t}; G_{tr} = 210 \text{ t}; I_m = 500 \text{ A}; U_m = 450 \text{ V}$

V	50	60	70	80	90	100	110	120	130
$F_0$	9150	7600	6570	5780	5120	4620	4260	3830	3500
$M_{200}$	1038	1156	1289	1446	1619	1816	2031	2259	2506
$F_a$	8112	6444	5281	4534	3901	3304	2829	2391	1994
V	15,9	16,65	19,4	22,2	25	27,8	30,6	33,3	36,2
$a = \frac{P \cdot 10^{-3}}{G}$	0,252	0,205	0,165	0,135	0,113	0,091	0,072	0,054	0,036
t	55	81	117	164	221	305	425	620	1000

TABELUL 4.29

O locomotivă - Reglindă conexiună a subiriin de cărp

$G_v = 400 \text{ t}$ ;  $G_{tr} = 516 \text{ t}$ ;  $I_m = 500 \text{ A}$ ;  $U_m = 450 \text{ V}$

V	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$F_0$	11250	9150	7600	6570	5780	5120	4620	4260	3960
$W_{400}$	1351	1493	1666	1834	2096	2354	2643	2966	3309
$F_a$	9899	7657	5934	4706	3634	2766	1974	1294	551
$v$	11,1	13,9	16,65	19,4	22,2	25	27,8	30,6	33,3
$a$	0,19	0,145	0,115	0,091	0,072	0,054	0,038	0,025	0,0107
$t$	59,5	96	145	214	310	430	570	720	8100

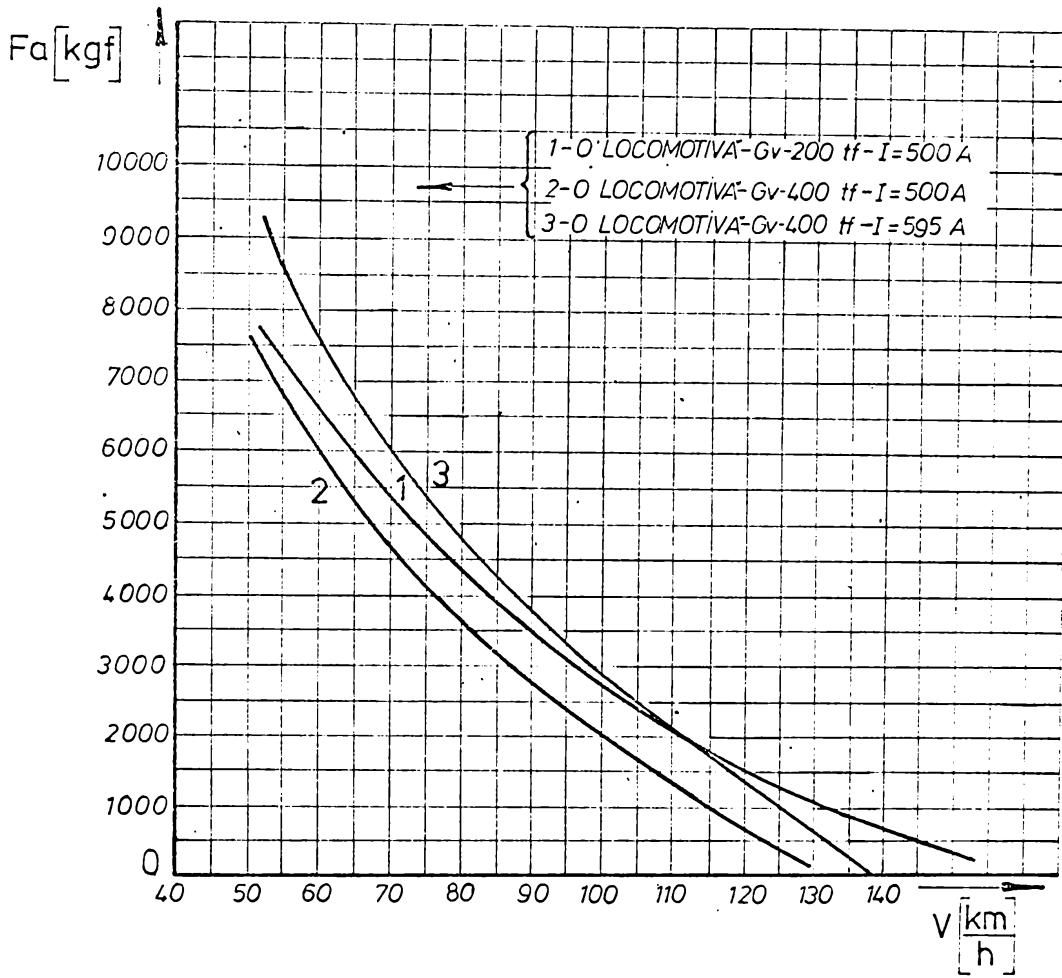


Fig. 4.23

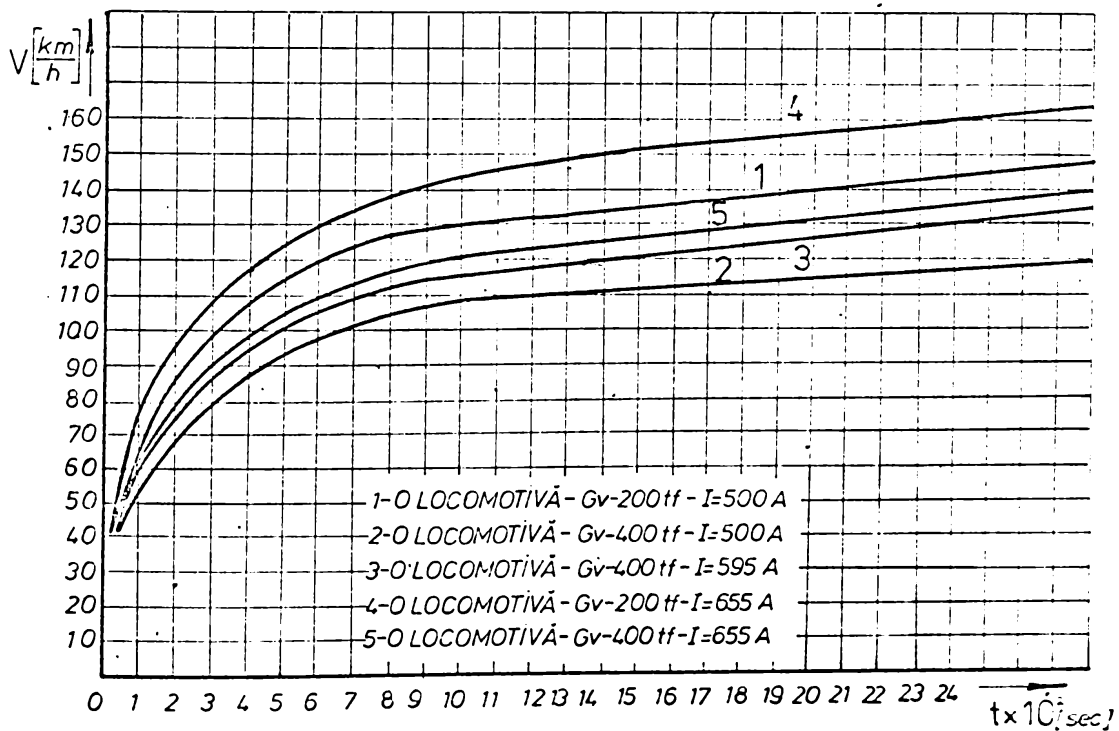


Fig. 4.24

Intrucît alegerea de valori mai mari ale curentului de reglare  $I_{m\alpha} = I_{min\alpha} = 500$  A cu păstrarea aceluiași valori a tensiunii  $U_m = 450$  V, înclăcă sporirea puterii motorului diesel 12 LDA 28 cu valoarea  $\frac{I_m}{I_{min}}$  .  $P_{MD}$  sau eventual înlocuirea

sa cu un alt motor de putere mai mare; calculele care urmează se vor rezuma la calculul principalilor parametri ai locomotivei pentru a avea o bază de comparație asupra avantajelor obținute prin reglarea continuă a cîmpului motoarelor de tracțiune fără modificări asupra transmisiei și a motorului diesel și avantajele obținute, respectiv parametri funcționali îmbunătățiți, în cazul în care se sporește puterea motorului diesel, fără să se modifice raportul de transmitere al transmisiei mecanice.

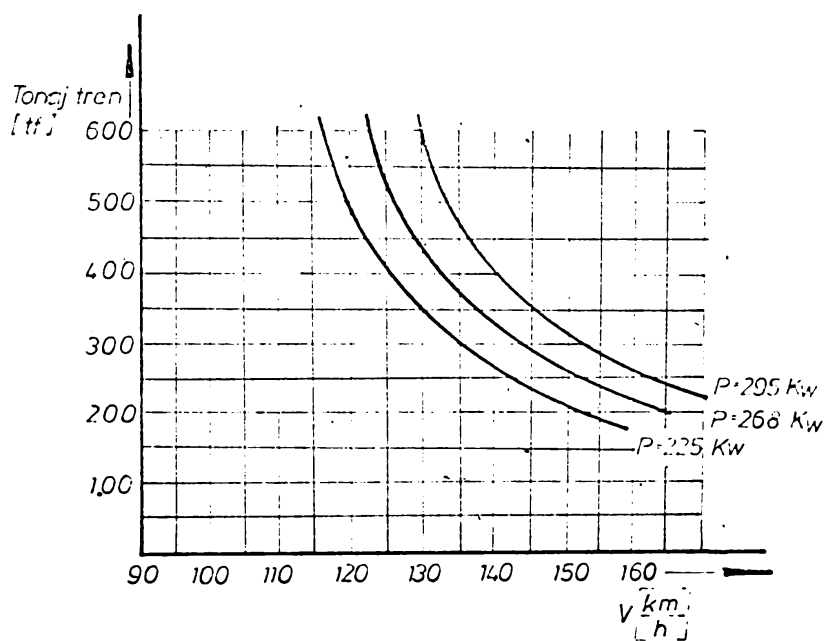
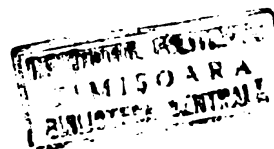


Fig.4.25



4.2.6.3. Determinarea caracteristicilor de tracțiune, ale forțelor de accelerare și ale timpilor de mers pentru tonaje de 200 tf și 400 tf și curenți de reglare  $I_m = 595 A$ .

Valoarea  $I_m = 595 A$  la care se face reglajul s-a ales luându-se ca bază motorul diesel de 2500 CP, realizat la noi în țară, ca variantă a motorului Sulzer 12 LDA 28, prin mărirea gradului de supraalimentare. Valoarea tensiunii la care se face reglajul  $U_m = 450 V = ct.$

În felul acesta unui motor de tracțiune, ținând cont de condiția de putere constantă, îi revine o putere de  $P_m = U_m \cdot I_m = 268 kW = ct.$

Rezultatele calculelor sînt date în tabelul 4.30 și 4.31 și reprezentate grafic pe fig.4.26.

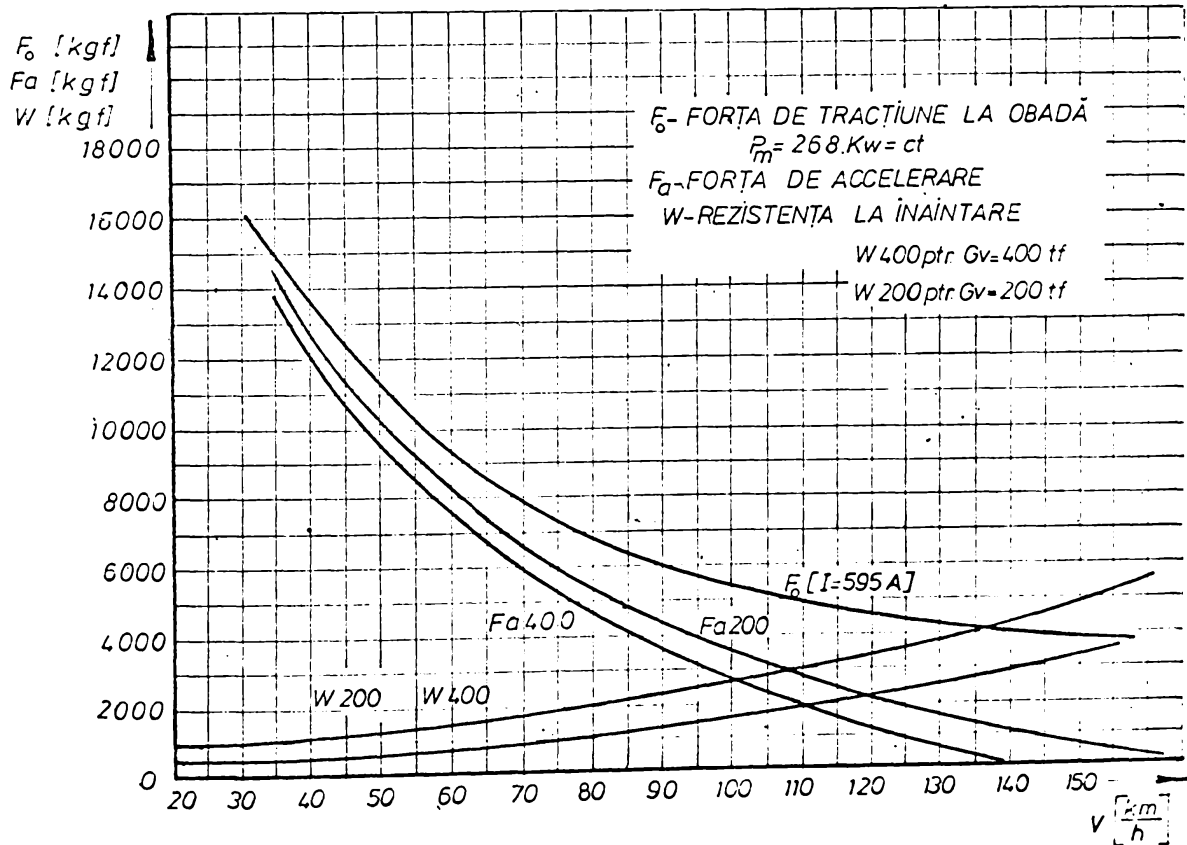


Fig.4.26



TABELUL 4.20

C. LOCOMOTIVĂ 2500 CP-1 cu reductor constantă și schimbări constante calculată metodologic de tracțiune

$G_V = 200$  ttf;  $G_{tr} = 516$  ttf;  $I_m = 595$  A;  $U_m = 450$  V;  $P_m = 260$  kW

$\alpha$	l	0,74	0,545	0,40	0,24	0,20
V	km/h	55	87,5	120	140	160
$R_0$	kgf	10160	6300	4690	3970	3472
$V_{200}$	kgf	1000	1600	2300	2770	3377
$R_a$	kgf	9080	4700	2390	1200	95
$\dot{V}$	m/sec	15,27	24,3	33,3	39	44,4
c	m/sec <sup>2</sup>	0,306	0,210	0,0745	0,0374	0,0295
t	sec.	49,9	90,8	166	447,5	1505



Forțele de accelerație pentru un tonaj de 400 tf sînt reprezentate în diagrama din fig.4.23 iar accelerațiile sînt reprezentate în fig.4.24.

Se observă că viteza maximă pe care o poate dezvolta locomotiva, este de 138 km/h cu un tonaj de 400 tf, și în jur de 155 km/h cu un tonaj de 200 tf, la o slăbire de cîmp  $\alpha = 0,36$  respectiv  $\alpha = 0,50$ .

Timpul în care se atinge cu tonajul de 400 tf viteza de 138 km/h este de circa o oră.

Dar dacă se compară cu caracteristicile locomotivei 060-DA-1 se observă că aceasta nu poate atinge aceste performanțe. Cu un tonaj intermediar de 300 tf - fig.4.25 - locomotiva poate atinge viteza de 140 km/h într-un timp  $t = 50$  minute, timp determinat prin calcul.

Viteza de 120 km/h cu un tonaj de 400 tf poate fi atinsă într-un timp  $t = 25$  minute, pe cînd remorcat cu locomotiva 060-DA-1 același tren poate atinge viteza de 120 km/h (viteza maximă constructivă a locomotivei) într-un timp  $t = 50$  minute.

Rezultă clar că, prin exploatarea rezervelor pe care le prezintă transmisia electrică pe locomotiva 060-DA-1, există posibilitatea ca performanțele de exploatare ale locomotivei să fie îmbunătățite prin investiții minime, cum ar fi:

- Mărirea puterii motorului diesel Sulzer 12 LDA-28 la 2500 CP prin mărirea gradului de supraalimentare, lucru realizat deja în țară.

- Introducerea reglajului continuu al fluxului motoarelor de tracțiune pentru reglarea vitezei.

- Verificarea părții mecanice a transmisiei și a părții de rulare și eventual redimensionarea.

- Îmbunătățirea dinamicii boghiurilor prin modificarea suspensiei.

Este de remarcat faptul că efectuîndu-se reglajul slăbirii de cîmp al motoarelor de tracțiune la un curent  $I = 595 \text{ A} = I_{\text{med}}$  de la reglarea în trepte a cîmpului, mai există rezerva de a se mări curentul peste această limită, de exemplu pînă la valoarea maximă a curentului de la slăbirea în trepte.

. / .

4.2.6.4. Determinarea caracteristicilor de tracțiune ale forțelor de accelerare și ale timpilor de mars pentru tonaje de 200 tf și 400 tf și curenți de reglare  $I_m = 655$  A

În acest caz sîntem limitați de motorul diesel în sensul că puterea lui trebuie să depășească 2500 CP.

Tinîndu-se cont însă că prin mărirea gradului de supraalimentare motorul diesel Sulzer 12 LDA-28 prezintă încă rezerve de putere - puterea lui putînd fi ridicată pînă la 2750 CP - lucru realizat în Anglia, rezultă că, în viitor s-ar putea utiliza total rezervele pe care le are transmisia electrică.

În acest caz, unui motor electric revenindu-i o putere  $P_m = 295$  kW, valoarea curentului poate fi mărită pînă la 655 A, dacă se păstrează tensiunea  $U_m = 450$  V  $\cong$  ct.

Mărirea puterii motorului diesel, deplasează, pe caracteristica de tracțiune, hiperbola de putere constantă înspre vitezele mari. Acest lucru permite mărirea vitezelor, la tonajele standard date.

Calcululele sînt sistematizate în tabelele 4.32 și 4.33 iar reprezentarea grafică a caracteristicii de tracțiune s-a făcut în fig.4.27.

Se vede că, vitezele maxime care vor putea fi realizate de locomotiva diesel echipată cu un motor diesel de 2750 CP, se vor ridica la 165 km/h cu un tonaj de 200 tf și la 145 km/h cu un tonaj de 400 tf, la o slăbire de cîmp  $\alpha \cong 0,235$  și respectiv  $\alpha = 0,265$ .

Se observă că, pentru a se atinge aceste viteze sînt necesare slăbiri pronunțate de cîmp ale motoarelor de tracțiune.

Din cele stabilite la paragraful 3.1.7 rezultă că se pot realiza slăbiri de cîmp sub  $\alpha = 0,25$ .

Din acest motiv viteza maximă pe care o poate atinge locomotiva va fi limitată de slăbirea de cîmp maximă admisă de motoarele de tracțiune și de parametrii constructivi. Deci viteza maximă a locomotivei se va limita la 140 km/h.

În condițiile de slăbire continuă a cîmpului motoarelor de tracțiune și posibilitatea mării slăbirii de cîmp, actua-

TABELUL 4.32

LOCOMOTIVA 8750 CP - cu focleke cónfinat e silóniri e capulul mototórator  
de tracziune

$C_V = 400 \text{ t}$ ,  $C_T = 516 \text{ t}$ ,  $I_M = 655 \text{ A}$ ,  $U_M = 450 \text{ V}$

$\alpha$	$l$	0,74	0,575	0,40	0,24	0,09	0,055	
$V$	km/h	45,6	58,4	70	90	107	120	145
$F_0 = \frac{602}{V} 10^3$	kgf.	13100	10500	8500	6700	5500	5010	4220
$W_{400}$	kgf.	1450	1600	1850	2354	2900	3509	4206
$F$	kgf.	11650	8700	6740	4546	2700	1701	14
$v$	m/s	12,7	16,2	19,4	25	29,7	33,3	40
$a$	$\text{m/s}^2$	0,225	0,17	0,13	0,084	0,052	0,033	0,00027
$t$	s	56	95	149	300	570	1000	148000

TABLEUL 4.33

PROIECTIA DE TRACIUNĂ A UNOR TRACTORE CU MOTOR DIESEL ÎN REGIMUL DE TRACIUNĂ

$G_V = 200 \text{ t}$ ,  $G_T = 216 \text{ t}$ ,  $I_m = 655 \text{ A}$ ,  $U_m = 450 \text{ V}$ .

$\alpha$	$I$	0,74	0,545	0,40	0,27	0,20	0,15	0,105
$v$ km/h	45,6	58,4	70	90	107	120	152	165
$F_0$ kgf.	13100	10500	8500	6700	5600	5010	3960	3650
$M_{200}$ kgf.	990	1100	1289	1619	1956	2259	3120	3536
$F$ kgf.	12110	9200	7511	5081	3664	2751	1840	114
$V$ m/s	12,7	16,2	19,4	25	29,7	33,3	42,2	45,8
$a$ $\text{m/s}^2$	0,38	0,29	0,23	0,16	0,116	0,087	0,067	0,057
$t$ s	33,5	56	84	156	256	382	1560	12400

la transmisie electrică a locomotivei 060-DA-1 asigură posibilitatea, cu domeniul de viteze al locomotivei cuprins între  $V_{min}$  și  $V_{max}$  să crească pînă la 140 km/h remorcînd un tonaj de 400 tf.

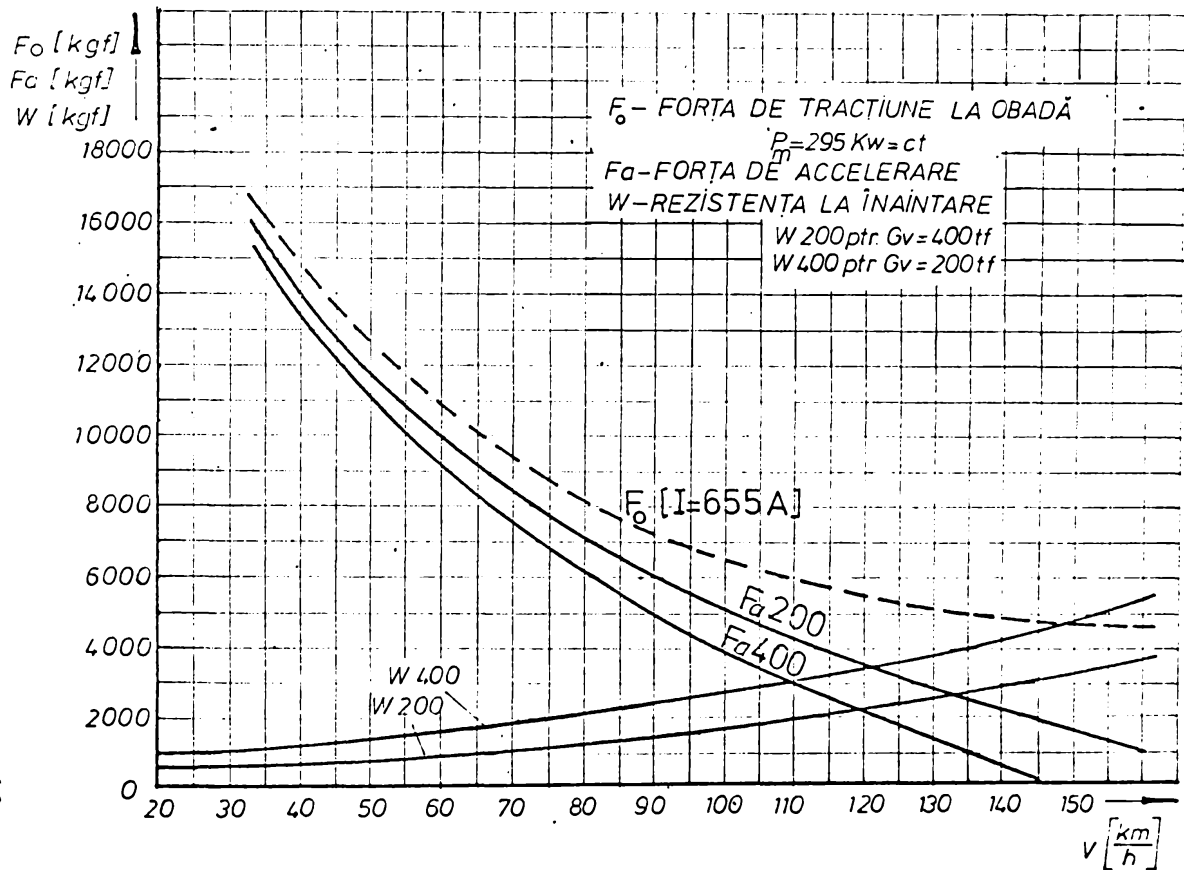


Fig. 4.27

Pentru a avea o imagine completă asupra avantajelor pe care le dă reglarea continuă a cîmpului motoarelor de tracțiune trebuie analizată caracteristica de tracțiune a locomotivei și în zona vitezelor mici. Prin posibilitatea măririi puterii instalate la locomotivei, se crează premisele ca și în zonele cu viteze mici

. / .

la aceleași tonaje remorcate să se poată realiza viteze mai mari, cu reducerea corespunzătoare a timpilor de mers.

#### 4.2.6.5. Limite impuse de motorul electric de tracțiune

Vitezele maxime determinate pentru locomotivă în cele 3 variante de putere a motorului diesel, și la tonajele considerate, se pot obține numai prin depășirea turației maxime admise de 2300  $\left[\frac{\text{rot}}{\text{min}}\right]$  a motorului GDM-533 la care rezultă o viteză periferică la rotor de  $V_a \cong 65 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$ .

Această viteză ar putea fi mărită până la maximum 70  $[\text{m/s}]$  respectiv la o turație de 2460  $[\text{rot/min}]$ .

Aceasta însă, nu asigură posibilitatea utilizării totale a rezervelor din transmisie, rezultate din calculele anterioare.

Pentru utilizarea lor totală se impune modificarea raportului de transmisie între motor și osia motoare. Raportul de transmisie însă, pentru a nu se efectua modificări importante la transmisia mecanică și pentru a nu se reduce prea mult forța de tracțiune, trebuie păstrat între anumite limite. În calculele ce urmează se vor lua ca bază rapoarte de transmitere micșorate față de raportul de transmitere actual, respectându-se însă aceeași distanță între axe, determinate din condiția ca, la vitezele maxime calculate anterior, să nu fie depășită turația maximă de 2460  $[\text{rot/min}]$  a motorului de tracțiune.

Calcululele se vor efectua pentru locomotivele cu motor diesel de 2500 CP și 2750 CP întrucât la acestea se utilizează mai bine rezervele pe care le posedă transmisia electrică, cu modificări minime ale acesteia. La locomotiva de 2300 CP micșorarea raportului de transmitere nu prezintă interes întrucât, pe de o parte locomotiva va pierde și mai mult din caracterul său de locomotivă universală, reducându-se corespunzător și forța de tracțiune maximă, iar pe de altă parte ar trebui redimensionată transmisia electrică, pentru a se exploata rezervele de greutate pe care le are, ca urmare a introducerii reglării continue a cîmpului motoarelor electrice de tracțiune.



Rezultatele calculelor determinate prin relațiile cunoscute sînt trecute în tabelul 4.3.4.-

- Tabelul 4.34

Puterea motorului diesel (CP)		2500 CP	2750 CP
$F_o V_{max}$	(kgf)	3908	4838,4
$V_{max}$	(km/h)	135	143,3
$W_{400}$	(kgf)	3800	4206
$W_{200}$	(kgf)	2640	2770
$F_a V_{max}$	$W_{400}$ $W_{200}$ (kgf)	108	632,4
		1268	2068,4
$t_o V_{max}$	$W_{400}$ $W_{200}$ (sec)	18500	3333
		6320	1025
$V_{max}$		0,32	0,304
$i$		3,42	3,42
$n_m$	(rot/min)	2320	2460

Rezultatele din tabelul 4.34 arată că, prin modificarea raportului de transmitere vitezele maxime pot fi atinse la turații ale motorului de tracțiune, care nu depășesc valorile admisibile, determinate de vitezele periferice limită, ale rotorului.

Acste turații au valorile de 2320 rot/min în cazul locomotivei cu motor diesel de 2500 CP și 2460 rot/min în cazul locomotivei diesel de 2750 CP. Acelor turații le corespund viteze periferice de  $V_a \cong [66 \text{ m/s}]$  și respectiv  $V_a \cong 70 [m/s]$ .

Acste turații sînt atinse la valori ale slăbirii de cîmp  $\alpha = 0,32$  și respectiv  $\alpha = 0,304$ .-

Din cele de mai sus și cele arătate în capitolele

. / .

anterioare rezultă că, aceste regimuri pot fi suportate de motoarele de tracțiune de tipul GDM-533.

Intrucât tonajul remorcat de locomotiva cu putere instalată de 2750 CP la viteza maximă de 143,3 km/h nu depășește 400 t, apreciez că, viteza maximă care poate fi atinsă de o locomotivă diesel electrică în timp de mers acceptabili, care să exploateze integral rezervele actuali transmisii electrice, rezerve apărute ca urmare a slăbirii continue a cîmpului motorului de tracțiune, este limitată la 140 km/h, limitare determinată în special de turajia maximă admisă a motorului electric de tracțiune.

Pentru a se putea obține viteze mai mari, ca urmare a posibilității slăbirii mai adânci a cîmpului motorului de tracțiune, cu valori sub  $\alpha = 0,30$ , ar trebui re proiectat motorul de tracțiune, astfel ca el să poată depăși turajia de 2460 rot/min.

#### 4.2.6.6. Limitări impuse de transmisia mecanică

După cum se știe, transmisia mecanică a locomotivei O60-DA-1 se compune din reductorul de transmisie, care este antrenat de motorul de tracțiune GDM-533 montat semisuspendat.

Viteza maximă ce a rezultat din calcule  $V_{\max} = 140$  km/h nu impune modificarea acestei transmisii întrucât pe plan mondial [22] se întîlnesc locomotive (A.C.F.C. - Belgia) care realizează aceste viteze fiind echipate cu transmisii la care motoarele sînt semisuspendate.

Totuși se recomandă o verificare, respectiv dacă se impune, o redimensionare a sistemului de suspendare a motoarelor de tracțiune.

#### 4.2.6.7. C o n c l u z i i

Calculile efectuate arată că posibilitățile de remorcare ale locomotivei C.F.R. O60-DA-1 pot fi îmbunătățite simyitor, pe baza rezervelor pe care le posedă transmisia e-

. / .

electrică, ca urmare a introducerii reglajului continuu al câmpului motoarelor de tracțiune.

Din analiza globală a parametrilor transmisiei electrice care îi conferă aceste rezerve, rezultă că ele se ridică la circa 30%, în condițiile în care ea se păstrează la forma ei actuală.

Aceste rezerve pot fi exploatare fie prin reducerea dimensiunilor transmisiei, ceea ce ar implica modificarea ei, fie prin mărirea puterii instalate a locomotivei, fără modificări asupra transmisiei electrice.

Consider că cea de a doua variantă este mai avantajoasă întrucât pe lângă creșterea vitezei maxime ce se poate realiza, la tonaje date, se obține creșterea vitezelor și în domeniul vitezelor mici ale locomotivei.

Această rezervă se va putea exploata numai prin mărirea puterii motorului diesel montat pe locomotivă, lucru care este perfect posibil, întrucât motorul diesel de tip Sulzer 12 LDA 28, poate da până la 2750 CP, bineînțeles dacă se iau măsurile corespunzătoare.

Rezerva de putere dată de transmisia electrică se manifestă în special în domeniul caracteristicii de tracțiune unde se face reglajul prin slăbire de câmp, deci la viteze mari și ea se pierde înspre zona vitezelor minime ale locomotivei, unde forța de tracțiune maximă  $F_{omax}$  este limitată de curentul maxim de pornire  $I_{max p}$  - fig.4.28.

În felul acesta, mărind puterea instalată pe locomotivă se obțin doar rezultate parțiale, întrucât tonajele maxime pe care le va putea remorca locomotiva rămân aceleași fiind limitate de acest curent, cu toate că rezerva de putere a motorului diesel ar permite obținerea de forțe de tracțiune mai mari.

Se impune deci, ca o necesitate să fie luate măsuri în continuare asupra sistemului de reglare a vitezelor la pornire, știut fiind faptul că și în acest domeniu reglarea se face în trepte; aparînd oscilații mari ale curentului, valoarea lui oscilînd între două limite. În felul acesta apar și la demarajul locomotivei fenomene tranzitorii nedorite, care

limitează performanțele transmisiei electrice. Din aceste motive ar fi avantajos un sistem de reglare continuu al vitezei și pentru funcționarea locomotivei în regimul de pornire.

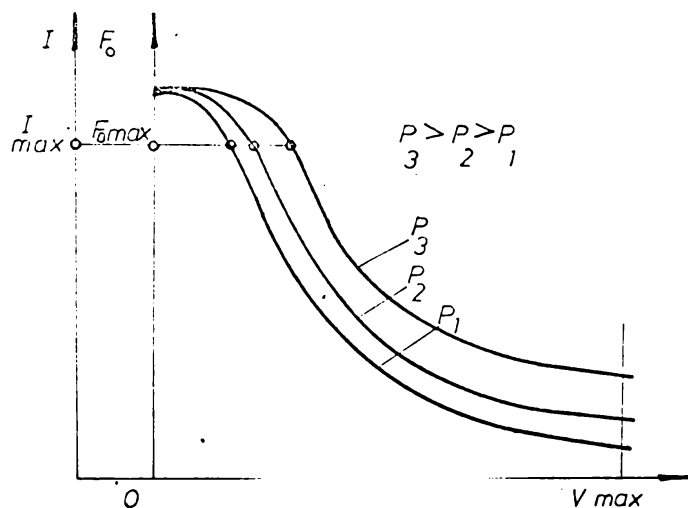


Fig. 4.28

De asemenea, s-ar putea mări solicitarea termică a transmisiei, dată de curentul maxim prin îmbunătățirea clasei de izolație.

Astfel, se vor putea exploata complet rezervele transmisiei electrice, putîndu-se mări vitezele, cît și tonajele remorcate de această locomotivă.

Pe această bază va spori capacitatea de trafic a locomotivei, se va lărgi gama de utilizări ale ei în diferite regimuri de mers, cu trenuri de marfă grele, trenuri de marfă rapide, trenuri de persoane, accelerate și rapide cu viteze sporite.

În teză au fost indicate cîteva probleme de bază ce ar putea constitui puncte de plecare pentru îmbunătățirea performanțelor locomotivei, care și-ar putea găsi aplicație practică imediată, cu avantaje economice deosebite.

În plus, ar crește competitivitatea locomotivei pe plan internațional.

. / .

La punerea în aplicație a îmbunătățirilor propuse va fi necesar de a se aduce locomotivei câteva modificări constructive la părțile mecanice cât și la suprastructură pentru a se exploata la maximum rezervele indicate.

Mai jos sînt date măsurile suplimentare care se impun pentru realizarea vitezelor mari:

1. Îmbunătățirea dinamicii locomotivei prin modificarea suspensiei.

2. Reducerea rezistențelor de mers prin modificarea formei caroseriei.

## CAPITOLUL - 5

INSTALAȚII REALIZATE PENTRU  
EFECTUAREA ÎNCERCĂRILOR PE  
STAND.

### 5.1. PREZENTAREA ȘTANDULUI

În fig.5.1. este prezentată schema electrică generală de principiu a standului de probă. S-a utilizat "Standul" pentru studiul comenzii locomotivelor electrice existent în laboratorul de Material Rulant al Institutului Politehnic Timișoara, făcându-se adaptările necesare pentru măsurători privind slăbirea - în trepte și continuă - a câmpului motorului de tracțiune, cupus încercărilor.

Ștandul se compune din următoarele agregate:

- motorul de tracțiune de încercat MT, cuplat cu generatorul frână GP de 86 kW, cu statorul basculant, prevăzut cu un sistem mecanic pentru măsurarea cuplului, prezentate în fig.5.2 (în partea dreaptă a fotografiei);

- sursa de alimentare a motorului MT, care constă dintr-un grup convertizor MA-GP de 86 kW, 600 V, prezentat în fig.5.3 (colțul stâng de jos al fotografiei), generatorul fiind prevăzut cu excitație serie și separată de la grupul convertizor Ex-Me de 5 kW;

- sistemul de reglare reostatică a motorului MT, care constă din grupul de rezistențe Rx comandate prin contactoarele MI și controlerul de comandă KC, alimentat la 24 V de la redresoarul Rc;

- sistemul de reglare a momentului de frinare care constă din:

- reostatele de frinare (sarcină) Rfx grupate după cerințe cu ajutorul controlerului în grup KG (Se poate observa în partea centrală a fotografiei din fig.5.2);

- reostatele de reglare RRG și REF a curentului de excitație a GP; (se poate vedea în partea stângă a fotografiei din fig.5.1)

- mașini auxiliare:

- motorul asincron Mo pentru bascularea rulmenților generatorului de frână (Se poate vedea în partea dreaptă a fotografiei din fig.5.2);

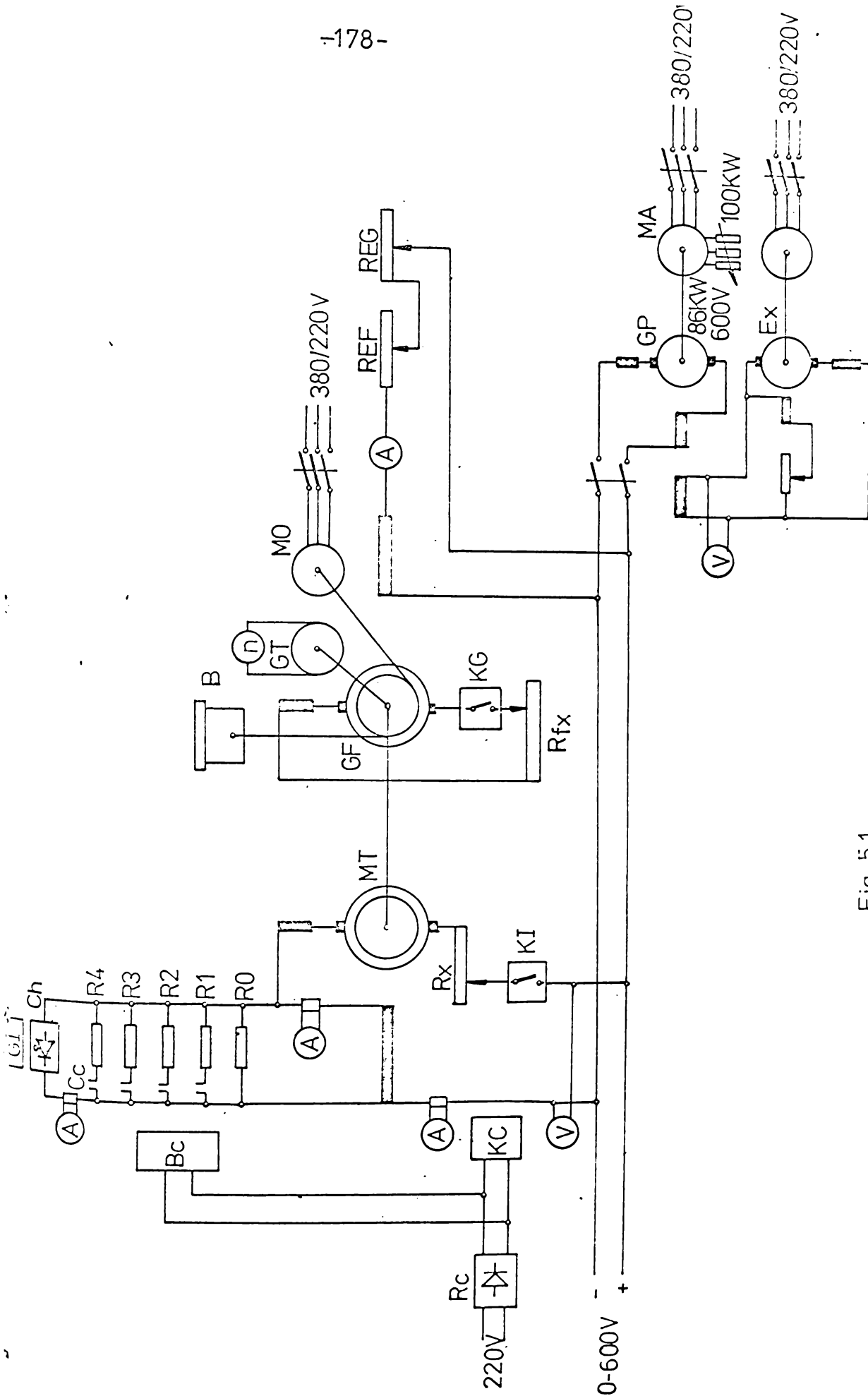


Fig. 5.1





Fig. 5.2

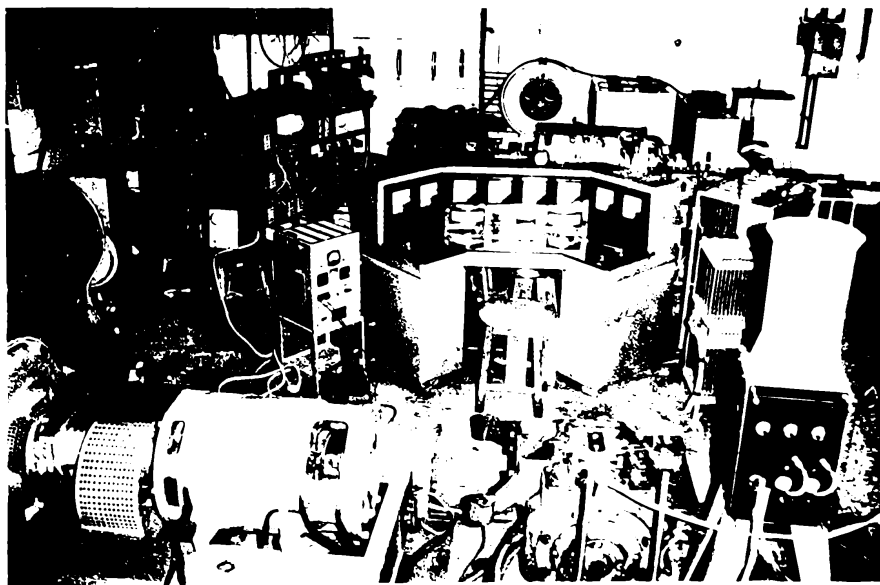


Fig. 5.3

- generatorul tahometric GI, la care este racordat aparatul de măsură a turației motorului de încercat (Se poate vedea în partea stângă de jos a fotografiei din fig.5.3);

- pupitrul de comandă al standului - prezentat în partea centrală a fotografiei din fig.5.3. Acesta servește pentru acționarea controlerului de comandă KC, cât și pentru modificarea excitației generatorului frână cu ajutorul rezistențelor RRG și RLF.

Pentru studiul slăbirii câmpului motorului LM, standul a fost completat cu următoarele echipamente:

1) Panoul pentru reglarea în trepte pe care sînt montate:

- rezistența  $R_0$  pentru șuntarea permanentă a excitației;
- grupul de rezistențe  $R_1-R_2-R_3-R_4$  pentru slăbirea în trepte a câmpului inductor;
- contactoarele de comandă C C ale căror bobine de serviciu se alimentează la 24 V de la redresorul R<sub>c</sub>;
- grupul de butoane de comandă Bc al contactoarelor.

Panoul se poate vedea în partea dreaptă a fotografiei din fig.5.4.

2) Panoul pentru reglarea continuă pe care este montat variatorul de tensiune continuă utilizat pentru studiul slăbirii continue a câmpului inductor.

Panoul este prezentat în partea centrală a fotografiei din fig.5.4 și în fotografia din fig.5.5 (vedere spate laterală).

Variatorul este comandat de la generatorul de impulsuri GI.

Studierea reglării în trepte sau continue a câmpului se face fie conectînd pe rînd butoanele de comandă Bc, în vederea intrării treptate în circuit a rezistențelor  $R_1 - R_4$ , fie lăsînt aceste butoane deconectate și acționînd asupra butoanelor generatorului de impulsuri GI.

În afară de balanță și aparatele de bord existente în schemă, s-au utilizat aparate de laborator pentru măsurarea mărimilor interesate la ridicarea caracteristicilor motorului

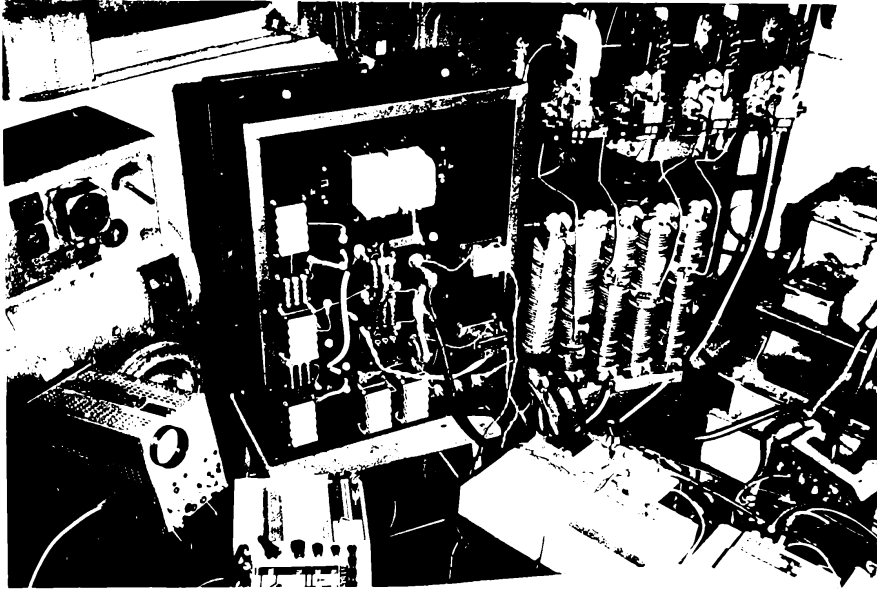


Fig.5.4

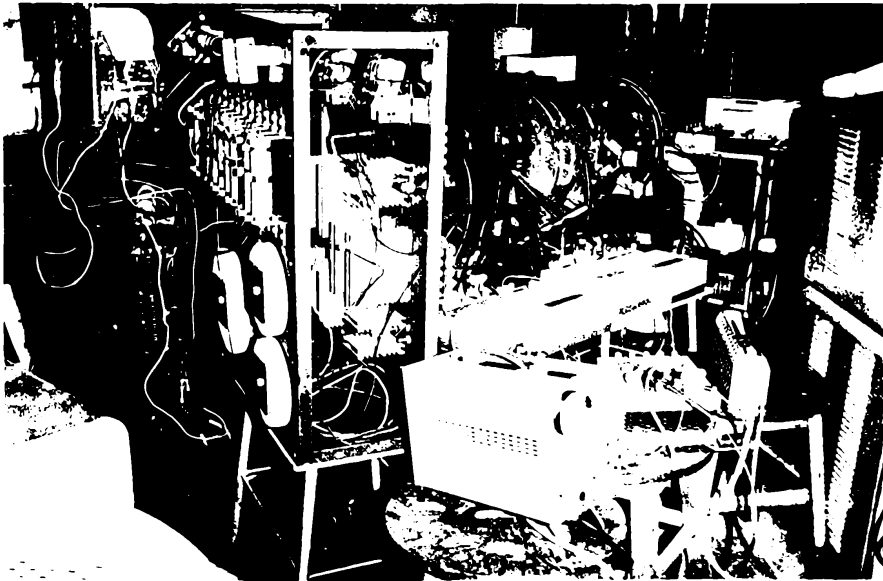


Fig.5.5

MF, cât și la studiul slăbirii câmpului acestuia (tensiunea de alimentare, tensiunea de comutație, curentul de excitație, curentul prin variatorul cu tiristoare, curentul total). Variația în timp a acestor mărimi, la diferite grade de slăbire de câmp, a fost înregistrată cu ajutorul oscilografului tip 3 LS-1 (RFD) prezentat în fotografia din fig.5.6.

Controlul aprinderii și stingerii tiristoarelor variatorului s-a făcut cu ajutorul unui osciloscop de serviciu, care se poate vedea în fotografia din fig.5.5.

În vederea urmării fenomenelor ce au loc la colector, motoarele de încercat au fost prevăzute cu un sistem de două inele colectoare izolate între ele și legate la două lamelle alăturate ale colectorului, pe care calcă două perii, de la care pleacă conductorii de legătură la aparatele de măsură (vôltnetru, oscilograf, osciloscop).

Sistemul este prezentat în fotografia din fig.5.7.

## 5.2. CONSIDERAȚII ASUPRA MOTOARELOR ÎNCERCATE

S-au supus încercărilor două motoare tip Cf 300/200 (reșița), destinate tracțiunii vagoanelor de tramvai, neavând posibilități de a încerca motoare de tracțiune tip GDM-533, urmînd a se transpune acestora din urmă concluziile încercărilor.

Datele nominale ale motoarelor încercate sînt:

- puterea unioară : 29,4 [kW]
- curentul unioară : 60 [A]
- turația nominală : 650 [rot/min]

Pentru îmbunătățirea comutației în vederea atingerii unor slăbiri adînci de câmp, la unul din motoare s-au amplasat amortizoare de creștătură în ancoșele rotorice (11 buc. bare din Cu  $\varnothing$  0,3 x 6 x 210 mm, amplasate echidistant pe pereții și pe baza fiecărei ancoșe, prin lipire, între cele două straturi ale izolației de creștătură).

În cele ce urmează, acest motor este denumit "ecranat";

Celălalt motor nu a suferit modificări constructive și a servit ca motor martor la compararea inductivității sec-

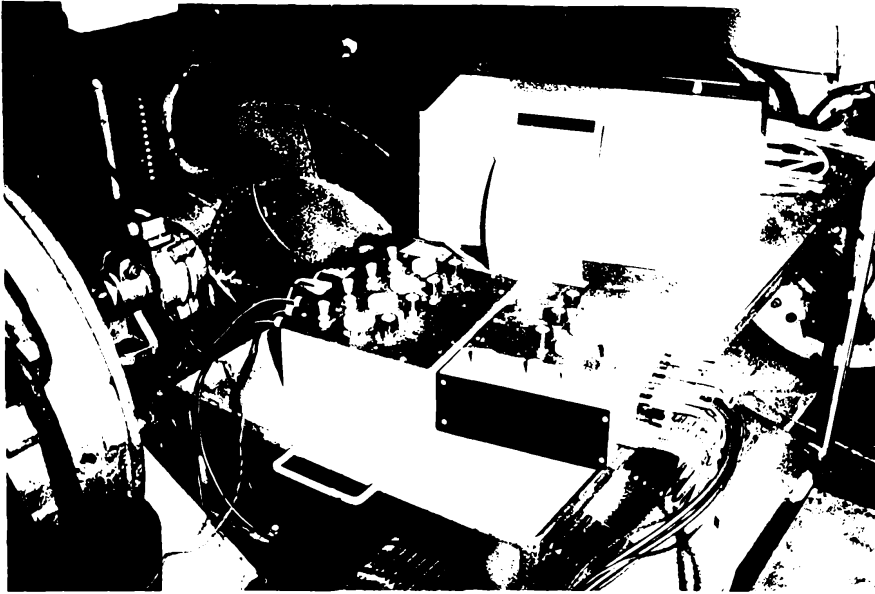


Fig. 5.6

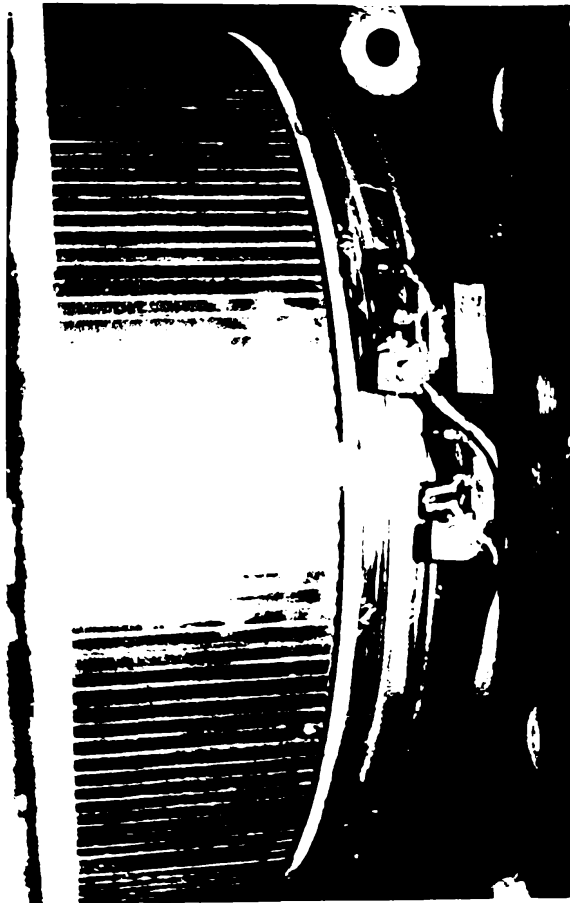


Fig. 5.7

țiilor înfășurărilor rotorice.

La construirea grupului de rezistențe de slăbire de câmp s-au luat în considerare următoarele:

- valoarea rezistenței înfășurării de excitație a motorului de încercat  $R_{ex} = 0,177[\Omega]$ ;
- schema de șuntare a excitației motorului GDTM-533 care cuprinde:
  - o rezistență  $R_0$  pentru șuntarea permanentă la  $\alpha = 0,92$  ;
  - 3 rezistențe care se conectează pe rând, cea conectată o dată, rămânând în circuit în tot timpul slăbirii câmpului. În vederea adâncirii slăbirii câmpului, autorul a introdus a 4-a treaptă de slăbire de câmp.
- valorile  $\alpha$  ale gradelor de slăbire de câmp s-au păstrat cele ale motorului GDTM-533, adică 0,74; 0,545; 0,4 introducându-se și treapta  $\alpha = 0,34$ ;
- parametrii electrici la care s-au executat slăbirile de câmp la motorul Cf 300/200 s-au ales comparativ cu cei ai motorului GDTM-533 conform tabelii 5.1.

- Tabela 5.1

Parametrii electrici	Tipul de motor	
	GDTM-533	Cf 300/200
Curentul minim $I_m$ (A)	500	50
Tensiune constantă U (V)	450	450
Putere constantă P (kW)	225	22,5

5.3. DESCRIEREA SI CALCULUL ELEMENTELOR DE REZISTENȚA A INSTALAȚIEI DE REGLARE ÎN TREPTE A CÂMPULUI

Așa după cum se vede din fotografia fig. 5.8 panoul

• / •

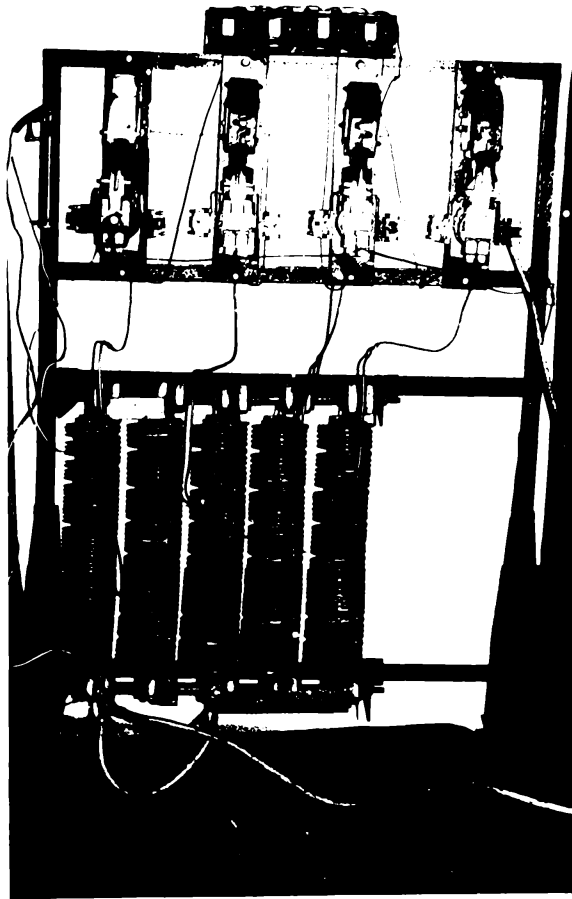


Fig. 5.8

este format dintr-un schelet metalic, pe care în partea superioară sînt montate întrerupătoarele de comandă Bc de pentru comanda contactoarelor. Sub acesta sînt amplasate contactoarele de comandă Cc a şuntării de tipul MC-100. La partea inferioară sînt amplasate rezistenţele de şuntare executate din sîrmă profilată de CrNi sub formă de spirală montate pe izolatoare.

Rezistenţa de şuntare permanentă este amplasată în partea stîngă superioară a panoului şi a fost confecţionată din sîrmă de CrNi cu diametrul de 1,2 mm.

Elementele schemei sînt legate între ele cu conductori de cupru de secţiuni corespunzătoare.

Bobinele de comandă a contactorilor MC-100 sînt alimentate de la un redresor cu seleniu la 24 V.

Elementele de rezistenţă sînt legate la bornele motorului, în paralel cu înfăşurarea de excitaţie.

Pentru calcul se notează cu  $R_{sh_m}$  rezistenţa echivalentă existentă în circuitul de şuntare la treapta "m". Valoarea acesteia se calculează cu ajutorul relaţiei:

$$R_{sh_m} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} R_{ex} [\Omega] \quad (5.1)$$

Rezultatele calculelor sînt date în tabela 5.2.

- Tabela 5.2. -

m	$\alpha$	$R_{sh_m}$ ( $\Omega$ )	$R_m$ ( $\Omega$ )
0	0,92	2,04	2,04
1	0,74	0,503	0,666
2	0,545	0,212	0,365
3	0,40	0,118	0,265
4	0,34	0,09	0,384

Valorile acestor rezistenţe s-au calculat luînd în considerare faptul că în timpul încercărilor înfăşurarea de excitaţie nu se încălzeşte ca să-şi modifice esenţial valoarea rezistenţei.

. / .



În urma executării bateriei de rezistențe au rezultat valorile treptelor date în tabela 5.3.

- Tabela 5.3.

$n$	0	1	2	3	4
$R_m (\Omega)$	1,6	0,651	0,357	0,264	0,382

Având în vedere valorile mici ale lui  $R_m$ , rezistențele conductorilor de legătură nu au valori neglijabile, din care cauză valorile determinate experimental pentru  $\alpha$  diferă - cu eroare admisibilă - față de cele calculate.

#### 5.4. DESCRIEREA ȘI CALCULUL ELEMENTELOR PRINCIPALE ALE VARIATORULUI DE TENSIUNE CONTINUA PENTRU REGLAREA CONTINUA A CIMPULUI

##### 5.4.1. Descrierea variatorului de tensiune continuă

Variatorul de tensiune continuă construit pentru slăbirea continuă pe stand a cîmpului motorului de tip Cf 500/200 se compune dintr-un cadru metalic pe care sînt montate două panouri izolante pentru amplasarea aparatajului.

Pe panoul din față - fig.5.5 - sînt montate:

- siguranțele  $S_1$  și  $S_2$  de tip Diazed ultrarapid de 63 A pentru protecția circuitelor tensiunii auxiliare pentru stingere respectiv a circuitului principal de șuntare a excitației;

- întrerupătoarele basculante Kiepschalter,  $b_1$ ,  $b_2$  de 50 A la 600 V.c.c. pentru conectarea și deconectarea circuitelor tensiunii auxiliare respectiv a circuitului principal de șuntare a excitației;

- cele cinci baterii de condensatoare și rezistența pentru protecția tiristoarelor respectiv a diodelor;

- transformatoarele de impuls TI 1 și TI 2 pentru conducerea impulsurilor de stingere respectiv aprindere;

- cele trei borne de alimentare a circuitului de forță a variatorului.

Impulsurile de comandă sosesc prin două cordoane direct la transformatoarele de impulsuri.

Pe spatele aceluiași panou sînt montate cele trei tiristoare de tipul T 250 de fabricație AEG și două diode ale schemei cu radiatoarele respective.

Pe panoul din spate - fig.5.9 - sînt montate:

- cele trei inductivități și grupurile de rezistențe utilizate în circuitul de forță a schemei.

Între cele două panouri - fig.5.10 - pe placa de jos se află amplasat condensatorul de stingere.

#### 5.4.2. Determinarea pe stand a inductivității dinamice a motorului Cf 300/200

Pentru a determina inductivitatea dinamică s-a folosit metoda [21] de descărcare a inductivității peste o rezistență scurtcircuitînd pentru scurt timp sursa de alimentare a inductivității. Schema utilizată este prezentată în fig. 5.11.

S-a determinat separat inductivitatea bobinajului la excitație și separat inductivitatea circuitului rotorie inclusiv bobinajul de comutație.

Oscilogramele variației curentului în timp sînt prezentate în fig.5.12 pentru bobinajul de excitație și în fig. 5.13 pentru circuitul rotorie.

Pentru limitarea curentului s-a introdus în circuit o rezistență la  $R_c = 0,4[\Omega]$ .

Calculul inductivității pentru diferite valori ale curentului se face cu ajutorul relațiilor:

$$L_{\text{ex}} = \frac{i (r_{\text{ex}} + R)}{\frac{\Delta i}{\Delta t}} \quad (5.2)$$

. / .

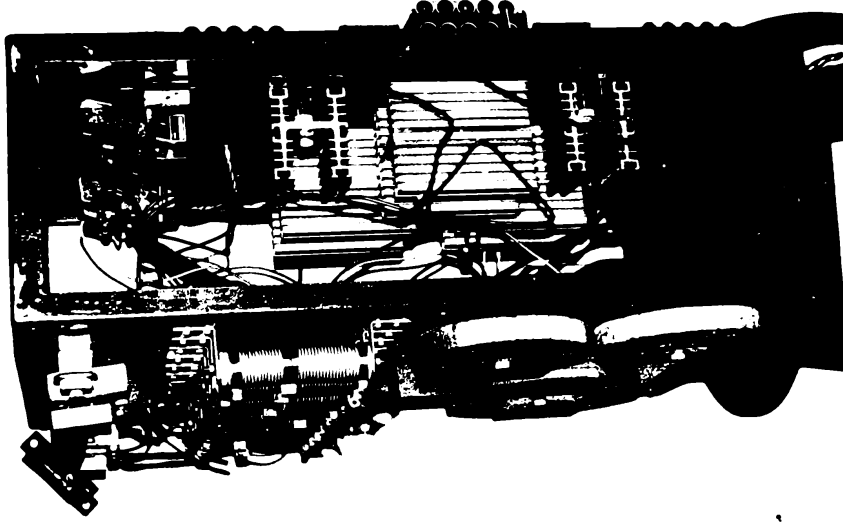


Fig. 5.10

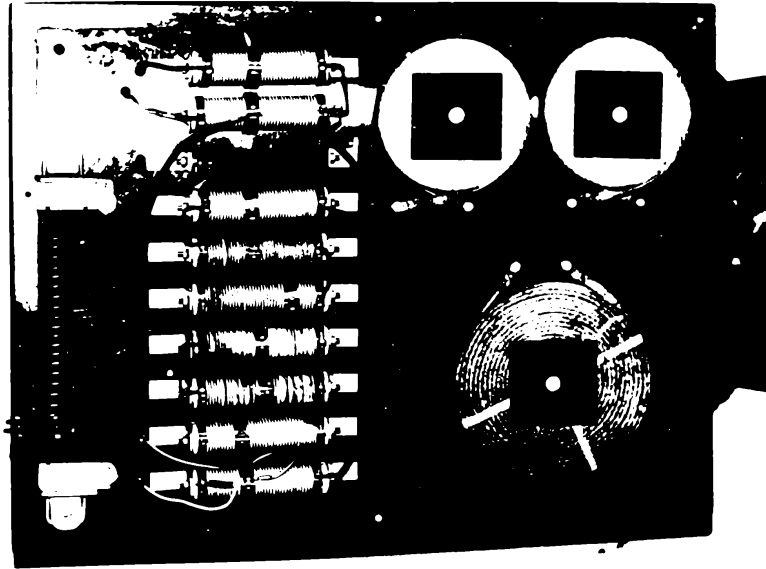


Fig. 5.9

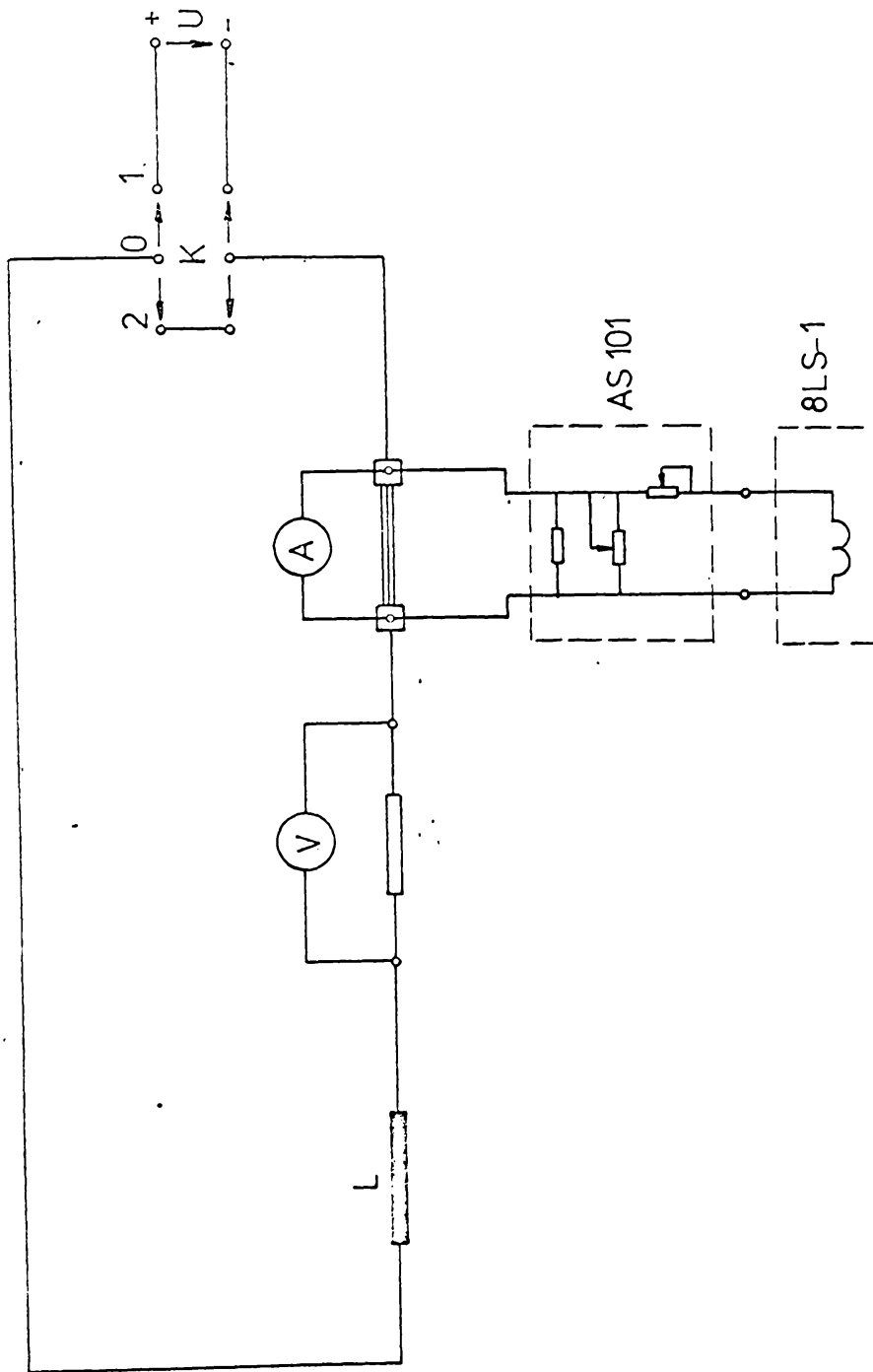


Fig. 5.11

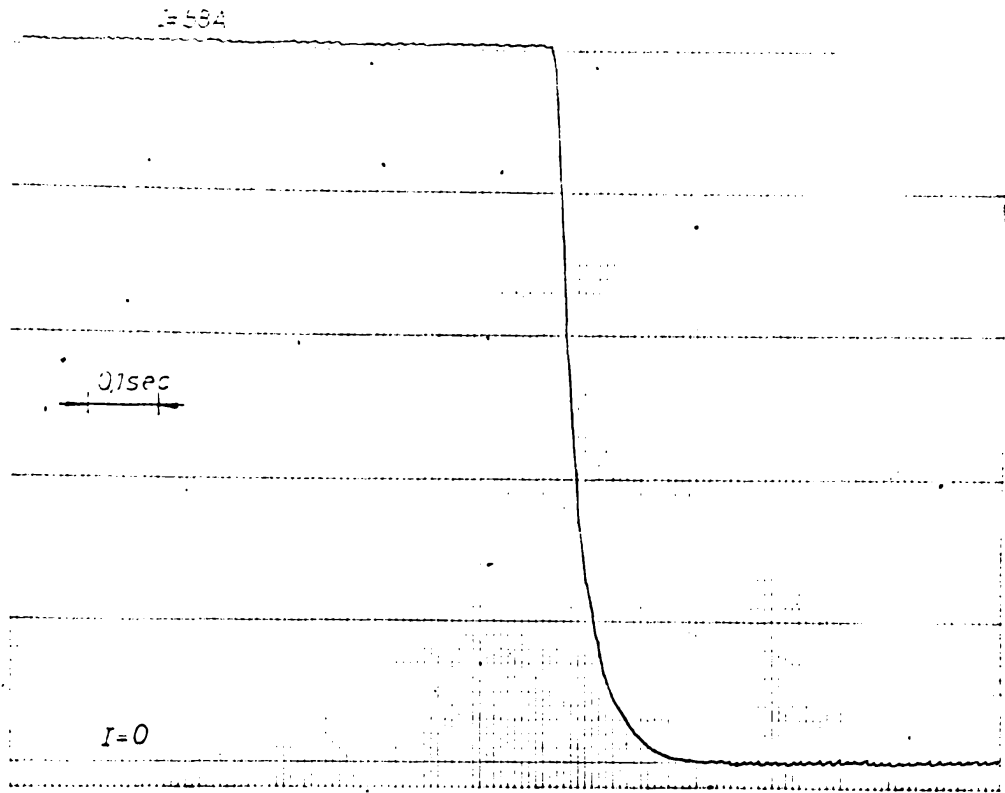


Fig. 5.12

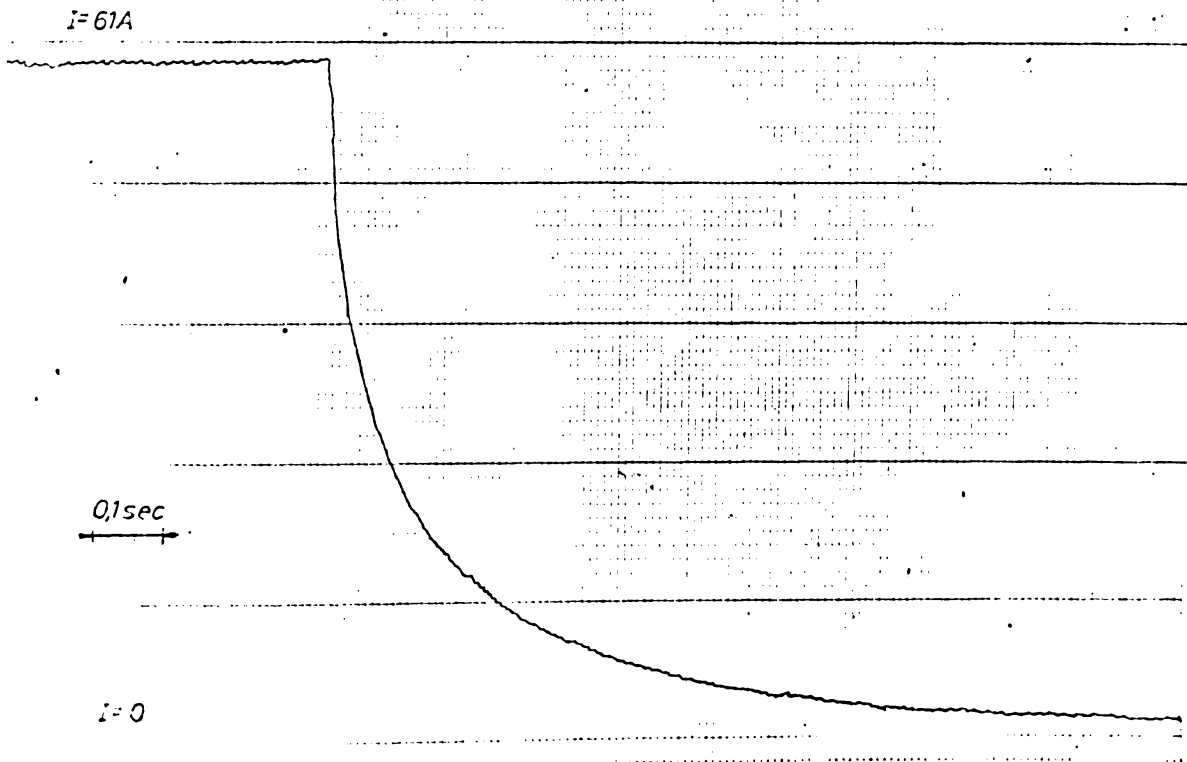


Fig. 5.13

$$L_r = \frac{i (x_r + R_c)}{\frac{\Delta i}{\Delta t}} \quad (5.3)$$

Variația lui  $\frac{\Delta i}{\Delta t}$  se ia din diagramele ridicate pe ștand.

Rezultatele calculelor pentru motorul ecranat sînt prezentate în tabelele 5.4 și 5.5.

- Tabela 5.4

I (A)	57	47	37	27	19	13	8	4
$L_{cx}$ (mH)	36	44,7	82	93,5	140	165	203	336

- Tabela 5.5

I (A)	53,4	44	30	21	15	9,5
$L_m$ (mH)	31,3	23,1	23,8	22,2	23,7	25,3

Pentru a evidenția influența benzilor amortizoare la ancoșă s-a determinat prin aceeași metodă variația lui  $\frac{di}{dt}$  într-o singură secție a bobinajului rotoric la motorul ecranat și necranat.

Oscilogramele ridicate sînt prezentate în fig.5.14 și 5.15. Din acestea se observă că între valoarea curentului de 4...19 A,  $di/dt = 1,45 \cdot 10^3$  A/sec pentru motorul necranat și  $2,08 \cdot 10^3$  A/sec pentru motorul ecranat. Inductivitățile vor rezulta în raport invers proporțional, astfel că la motorul ecranat inductivitatea secției măsurată astfel, este mai mică de 1,43 ori.

Măsurătorile au fost făcute cu rotoarele scoase din carcasă pentru a sesiza cât mai bine diferența dintre inductivitățile.

. / .

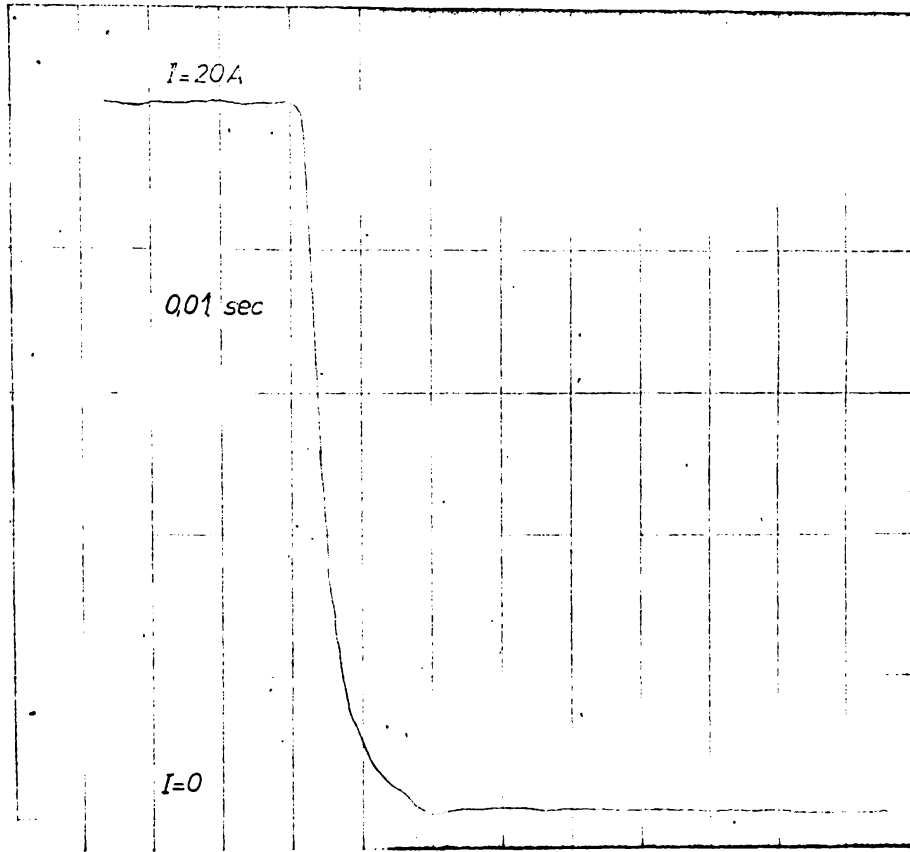


Fig. 5.14

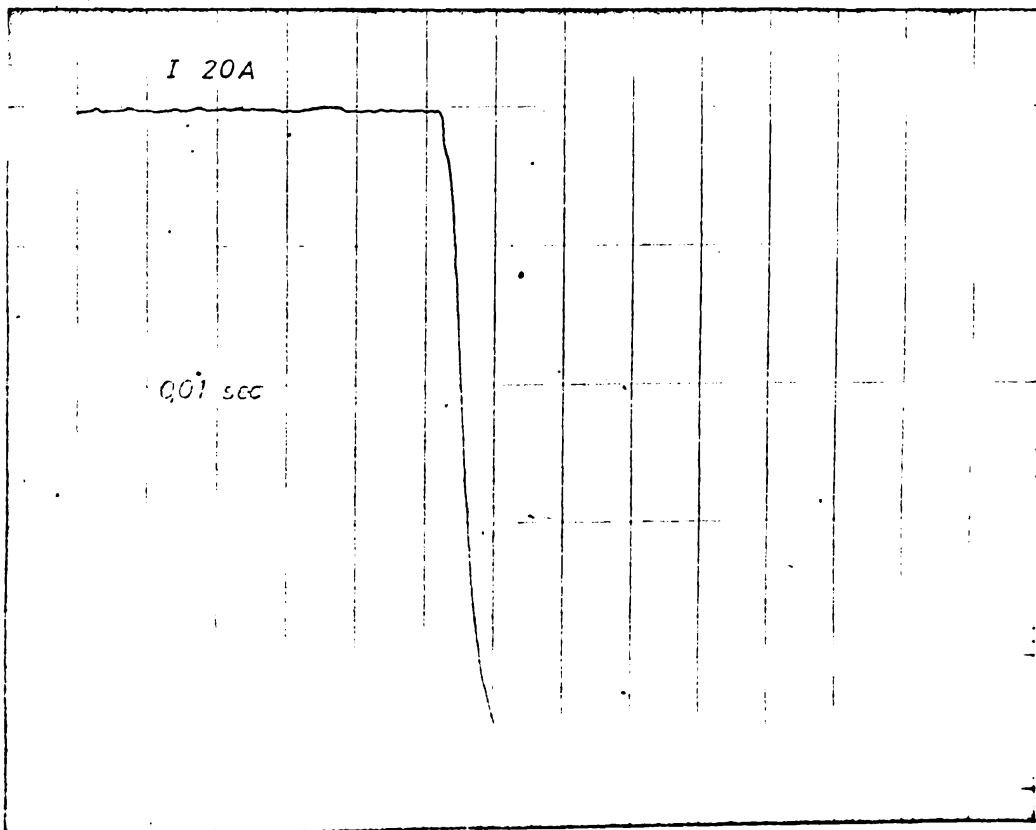


Fig. 5.15

5.4.3. Dimensionarea elementelor principale ale variatorului de tensiune continuă

Alegerea tiristoarelor  $T_1$ ,  $T_2$  și  $T_3$  se face în funcție de curentul maxim de șuntare la slăbirea maximă de câmp și tensiunea la care va lucra.

Curentul maxim absorbit de motorul de tracțiune Cf 360/200 este de  $2 I_n = 120$  A. Slăbirile de câmp se vor efectua la un curent de sub 60 A și deci curentul maxim prin tiristor nu va depăși această valoare.

Rezistența  $R_3$  nu permite încărcarea oscilantă a condensatorului C, deci el se va încărca amortizat la 450 V c.c. și tensiunea maximă pe tiristoare va fi de 450 V.

Se aleg tiristoarele T 250 F 1200 de fabricație AEG existente la dispoziție, care au următoarele caracteristici:

- Tensiunea de lucru repetitivă	1200 [V]
- Curentul mediu de lucru	250 [A]
- Timpul de stingere al tiristorului	30 [ $\mu$ s]
- $\frac{di}{dt}$ repetitiv	100 [A/ $\mu$ s]
- $\frac{du}{dt}$ critic exponențial	250 [V/ $\mu$ s]
- timpul de aprindere	4,5 [ $\mu$ s]

Coeeficientul de siguranță la tensiune va fi:

$$\frac{1200}{450} = 2,67$$

adică apropiat de cel optim care este de 2,5.

Inductivitatea  $L_2$  se calculează cu expresia (2.56) și va avea valoarea:

$$L_2 = \frac{3}{4 \tilde{H}} \cdot \frac{U_{\max} \cdot t_i}{I_s} = \frac{3}{4 \cdot 3,14} \cdot \frac{450 \times 30 \cdot 10^{-6}}{40} = 79 [\mu H]$$

Se poate utiliza deci o bobină fără miez de fier cu  $L = 90 [\mu H]$ .

Condensatorul  $C_1$  se calculează cu expresia (2.57) și rezultă:

. / .



$$C_1 = \frac{3}{\pi} \frac{I_{\max} \cdot t_i}{U_{\min}} = \frac{3}{3,14} \frac{60 \cdot 30 \cdot 10^{-6}}{450} = 3,8 [\mu F]$$

Se alege deci un condensator de  $4 \mu F$ , la 3000 V.

Pentru limitarea lui  $di/dt$  în serie cu diodă  $D_1$ , se prevede o inductanță  $L_1$  a cărei valoare va fi:

$$L_1 + L_2 = \frac{U_{\max}}{\frac{di}{dt}} = \frac{450}{3} = 150 [\mu H]$$

$$\text{Avînd } L_2 = 90 [\mu H]$$

rezultă

$$L_1 = 60 [\mu H]$$

Rezistența de limitare  $R_3$  se determină din relația:

$$R_3 = 2 \sqrt{\frac{L_2}{C_1}} = 2 \sqrt{\frac{90 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-6}}} \approx 9 [\Omega]$$

Tinînd cont de rezistența internă a bobinei  $L_2$  și a tiristorului  $T_3$  s-a ales

$$R_3 = 8 [\Omega]$$

Pentru protecția tiristoarelor și diodelor din cauza lui  $\frac{du}{dt}$ , în paralel cu acestea se prevăd circuite de protecție.

Capacitatea condensatorilor  $C_{11}$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{13}$  și  $C_{14}$  se calculează cu relația (2.61):

$$C \geq \frac{Q_{\max}}{E_p - E_m}$$

unde:

- $E_p$  - tensiunea maximă pe elementul desechilibrat în[V];
- $E_m$  - tensiunea maximă aplicată în[V];
- $Q_{\max}$  - sarcina electrică maximă de stocare la stingerea tiristoarelor sau blocarea diodelor în[C]

$$C \geq \frac{350 \cdot 10^{-6}}{1200 - 450} \approx 0,5 [\mu F]$$

• / •

Determinarea valorilor rezistențelor  $R_{11}$ ,  $R_{12}$ ,  $R_{13}$  și  $R_{14}$  serie cu aceste condensatoare se face cu expresia (2.62):

$$R = \frac{0,8}{C} \ln \frac{U_{BR} \cdot C}{2 (i_{TC} - i_F)}$$

unde:

- C - capacitatea condensatorului în [ $\mu F$ ];
- $U_{BR}$  - valoarea limită a tensiunii tiristorului la care se autoaprinde stația în [V];
- $i_F$  - curentul ce traversează semiconductorul înainte de stingere în [A];
- $i_{TC}$  - curentul limită admis la stingere în [A].

Deci:

$$R = \frac{0,8}{2} \ln \frac{1500 \cdot 2}{2} = 2,5 [\Omega]$$

Rezultă că valoarea de  $20 \Omega$  aleasă în schemă este acceptabilă în sensul că, curentul inițial de descărcare a condensatorului prin tiristor este mai mic de 100 A în cazul cel mai defavorabil.

Puterea rezistenței serie cu condensatorul se determină cu formula:

$$\int R_i^2 dt = f \cdot R \int \left( \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{T}} \right) dt$$

$$\text{unde } T = RC$$

Se consideră că în timpul unui tact curentul prin rezistență practic este sub valoarea de 5% din valoarea inițială  $I_0 = \frac{U}{R}$  deci rezultă conform relației (2.63):

$$P = f \frac{U^2}{R} \frac{T}{2} = \frac{f U^2 C}{2}$$

Deci vom avea:

$$P = \frac{1}{2} 250 \frac{450^2}{2} \cdot 2 \cdot 10^{-6} \approx 50 [W]$$

Rezistența de șuntare permanentă  $R_1$  se alege astfel

. / .

încît să se asigure o slăbire permanentă de câmp între 0,92 și 0,95.

S-a ales de  $R_1 = 1,2 [\Omega]$

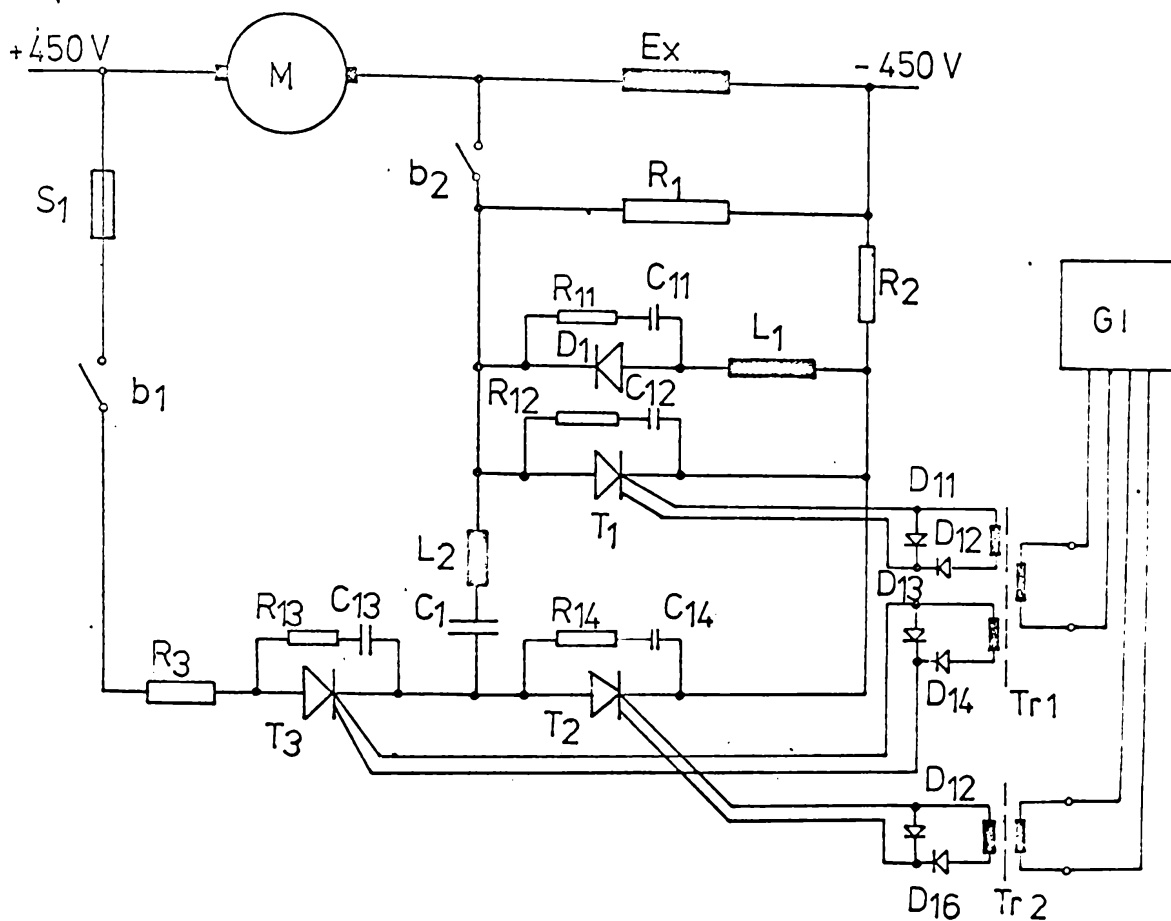
Rezistența  $R_2$  se alege de  $R_2 = 0,09 [\Omega]$  pentru limitarea curentului de scurtcircuit în cazul cînd apar străpungeri în circuitul electronic. Schema cu elementele calculate este dată în fig.5.16.-

### 5.5. DESCRIEREA METODELOR, A ÎNȘTALAȚIILOR ȘI APARATELOR DE MĂSURĂ UTILIZATE

S-au efectuat trei genuri diferite de măsurători pe stand și anume: măsurarea caracteristicilor electromecanice ale motoarelor de tracțiune de tip Cf 300/200 ecranat și neecranat; măsurarea caracteristicilor variatorului de tensiune continuă și măsurarea inductivităților motoarelor de tracțiune de același tip.

La aceste măsurători s-au utilizat următoarele aparate de măsură:

- Voltampermetro de curent continuu de tip ML-20, clasa de precizie 0,2;
- Șunturi de tip MB, clasa de precizie 0,1, sensibilitate 60 mV/10 ;
- Voltampermetru universal electronic, fabricație Philips - Olanda;
- Oscilograf cu bucle cu raze ultraviolete de tip 8 L S - 1 - R.F.T, cu 8 canale;
- Bucle (galvanometre) de tip 4623.8.F<sub>2</sub> - R.F.T, cu amortizare electrodinamică, avînd frecvența proprie în aer;
- Divizoare de tensiune, cu următoarele caracteristici:
  - raportul de transformare  
reglabil între  $\frac{1}{1000}$  .....  $\frac{1}{10.000}$
- Adaptoare pentru oscilograful 8LS.1 de tip AS-1G1 R.F.T. cu o putere de 10 W;
- Generatorul tahometric de fabricație I AMC - Otopeni, cu domeniul de turăție de la 0-2000 rot/min.



- Motor  
FKS1160
- 11. D12, D13, D14, D15, D16 - F104
- 12. T250 F1200 AEG
- 13. T250 F1200 AEG
- 14. 4  $\mu$ F, 3000V
- 15. 1  $\mu$ F, 1000V
- 16. 2 C13, C14 - 2  $\mu$ F, 1000V
- 17. 50  $\mu$ H
- 18. 120  $\mu$ H
- 19. 12  $\Omega$
- 20. 0,09  $\Omega$
- 21. 8  $\Omega$
- 22. R13, R14 - 20  $\Omega$ , 50W
- 23. 20  $\Omega$ , 50W

- S1 - 30A
- b1 - 20A, 600Vcc
- b2 - 40A, 600Vcc
- Tr1, Tr2 - W1=36sp, W2=27sp
- f - 30 ÷ 250 Hz
- GI - generator de impulsuri

Fig. 5.16

Pentru ridicarea caracteristicilor motoarelor de tracțiune s-au măsurat: tensiunea la bornele motorului, curenții totali și de excitație, tensiunea  $U_k$  dintre lamelele colectoarelor motoarelor de tracțiune culeasă cu perii pe 2 inele special construite pe rotor, așa cum se vede în figurile 5.17 și 5.18 (fotografiile), turajia motoarelor de tracțiune cu tahogeneratorul și cuplul motorului de tracțiune, cu ajutorul unei balanțe.

Dintre aceste mărimi s-au înregistrat pe bandă, cu oscilograful cu bucle, curentul total  $I_m$ , curentul de excitație  $I_{ex}$  și tensiunea  $U_k$  dintre lamelele colectorului.

Caracteristicile s-au determinat prin măsurători în puncte, cu aparatele de măsură menționate mai sus, atât pentru câmp plin cât și pentru câmp slăbit.

La oscilograful de tip 8 LS-1 se pot utiliza bucle cu diverse caracteristici, în funcție de frecvența fenomenului măsurat. Întrucât frecvența maximă a tensiunii  $U_k$  la turajia maximă a motorului de 1500 rot/min este de 25 Hz, s-a lucrat cu bucle de 250 Hz, avînd domeniul de frecvențe de 0-150 Hz la care abaterrea de la sensibilitatea statică este de  $\pm 5\%$ . Deoarece aceste bucle permit o încărcare maximă de 1 mA la o rezistență internă de  $73 \Omega$ , pentru măsurarea tensiunii  $U_k$  a fost necesară introducerea unui divizor de tensiune  $D_T$  prin care curentul maxim pe buclă s-a redus sub un miliamper, pentru valorile maxime ale lui  $U_k$ , măsurate cu voltampermetrul la circa 20 V.

La înregistrarea curenților s-a cules direct intrarea de pe șunturile de 60 mV, întrucât la rezistența internă a buclelor de  $73 \Omega$  curentul prin buclă rezultă sub 1 mA.

Între fiecare mărime de intrare și bucla aferentă s-au introdus adaptoare de tip AS-101-RFT - R.D.G., avînd un rol dublu: de calibrare a buclei și de amortizarea optimă a buclei.

Calibrarea buclelor s-a făcut cu ajutorul aparatelor de măsură legate pe mărimea de intrare prin intermediul a două potențiometre prevăzute la aparat la scara de 1 mA/A.

S-a împărțit lățimea benzii în două zone, una pentru curenții cu linia de "zero" la marginea zonei, avînd o lățime de 7 cm și una pentru  $U_k$ , cu linia de "zero" la mijlocul zonei

de lățime de 4 cm.

Buclele aferente au fost reglate pe liniile de "zero" respective la sarcini de maximum posibile la scara de 1 mm/A.

Calibrarea tensiunii  $U_k$  s-a făcut în mod similar, prin devierea spotului la o lățime proporțională cu tensiunea  $U_k$  citită pe voltmetru, la scara de  $\pm 1$  mm/V.

La slăbirea în trepte, s-au înregistrat curbele de trecere de la o treaptă la alta pentru  $P_m = ct$  și pentru  $U_m = const.$

Pentru ca înregistrările să aibe sensibilitate ridicată la sălturile de curent, care apar la introducerea treptelor de rezistență, acestea s-au făcut la o viteză a benzii relativ mică (10 mm/sec).

La aceste înregistrări s-a marcat timpul la un interval de 0,1 sec.

Intrucât la această viteză, pe o perioadă de 1 sec. banda are o deplasare de 10 mm și pentru  $U_k$  a rezultat o lungime de undă foarte mică, (0,4 mm) indescifrabilă pe bandă. Măsurătorile au fost făcute și la viteză maximă a benzii de 1000 mm/sec.

La această viteză timpul s-a marcat la un interval de 0,01 sec iar lungimea de undă a lui  $U_k$  la turajia de 1500 rot/min a rezultat de 4 cm.

Înregistrarea caracteristicilor de câmp slăbit, la reglarea continuă, s-a făcut de asemenea la viteză mică de înregistrare (10 mm/sec).

Pentru a scoate în evidență forma curenților și variația lui  $U_k$ , s-au făcut înregistrări cu viteza benzii de 1000 mm per secundă la frecvența purtătoare a regulatorului continuu de tensiune, de 30 Hz și la 100 Hz, la diverse grade de slăbire a câmpului.

Toate înregistrările s-au făcut la aceeași calibrare, și anume - 1 mm/A pentru curenții  $I_t$  și  $I_e$  și  $\pm 1$  mm/V pentru  $U_k$ .

Pentru determinarea caracteristicilor de funcționare ale variatorului de tensiune continuă a slăbirii de câmp s-au înregistrat următoarele mărimi:

. / .

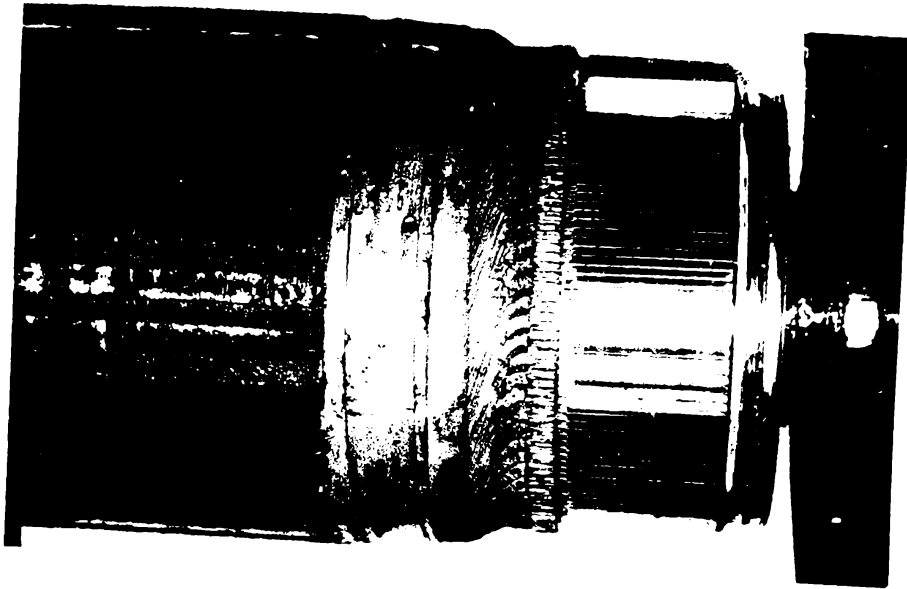


Fig. 5.17

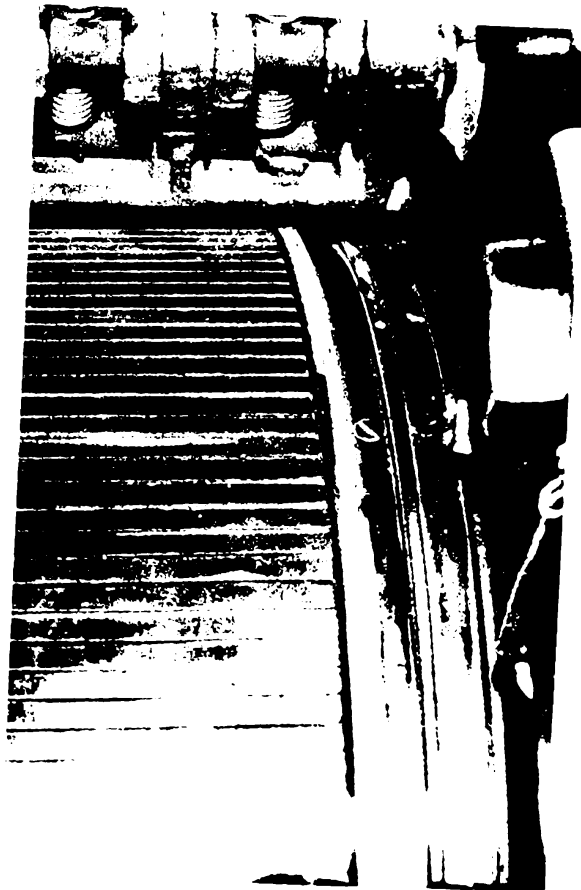


Fig.5.18

tensiunile  $U_{T1}$  - de pe tiristorul  $T_1$

$U_{T3}$  - de pe tiristorul  $T_3$

$U_C$  - de pe condensatorul  $C$ , și curentul de excitație  $I_e$ .

Înregistrările s-au făcut la viteza  $V = 1000$  mm/sec, timpul fiind marcat la 0,01 secunde și la 0, la frecvență purtătoare de 30 Hz și 100 Hz a variatorului.

Pentru protecția buclelor, tensiunile  $U_{T1}$ ,  $U_{T2}$  și  $U_C$  s-au ridicat de pe divizoarele de tensiune  $D_T$ .

Schemele de înregistrare cu oscilograful utilizate pe rând sînt prezentate în figurile 5.19 și 5.20.



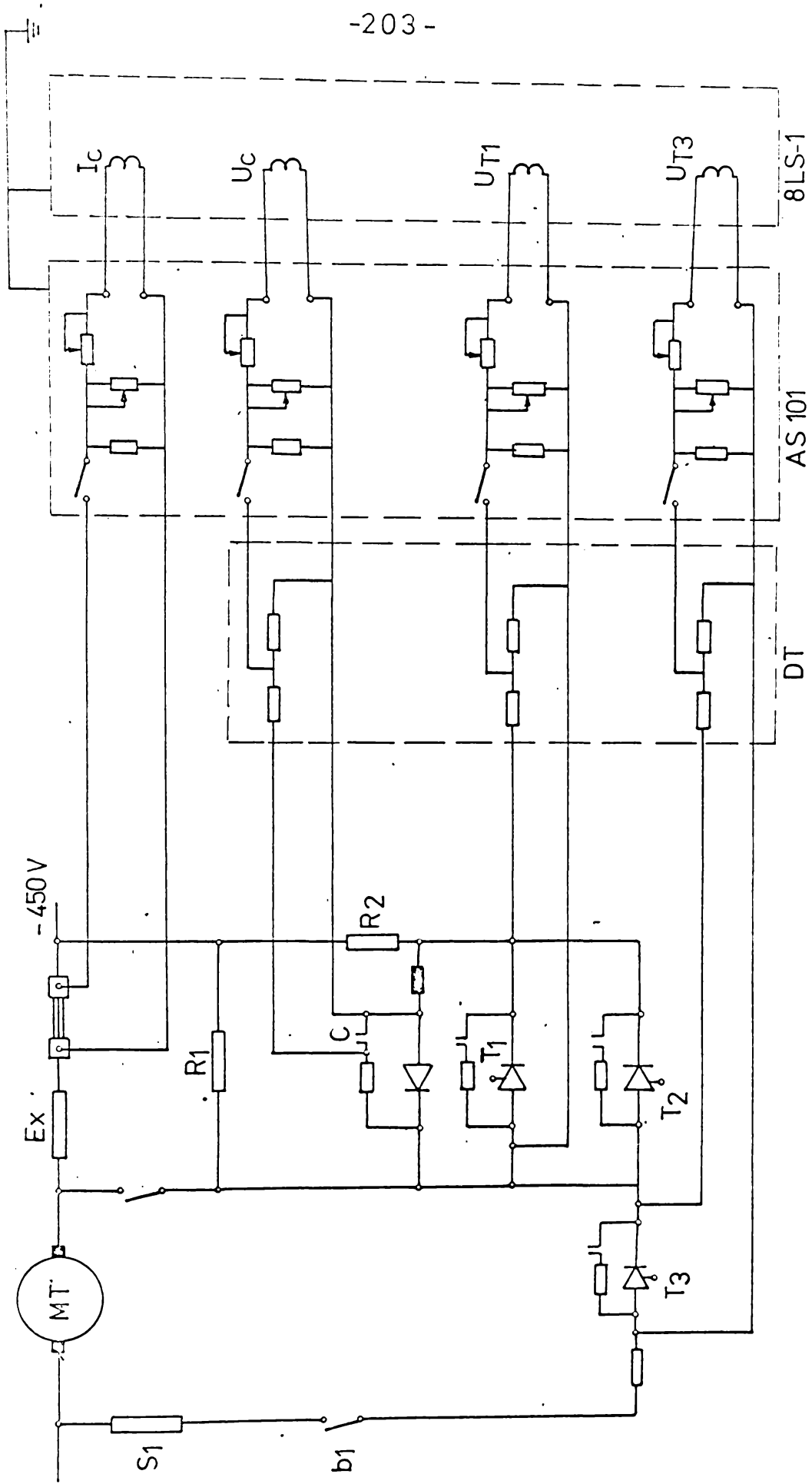


Fig. 5.19

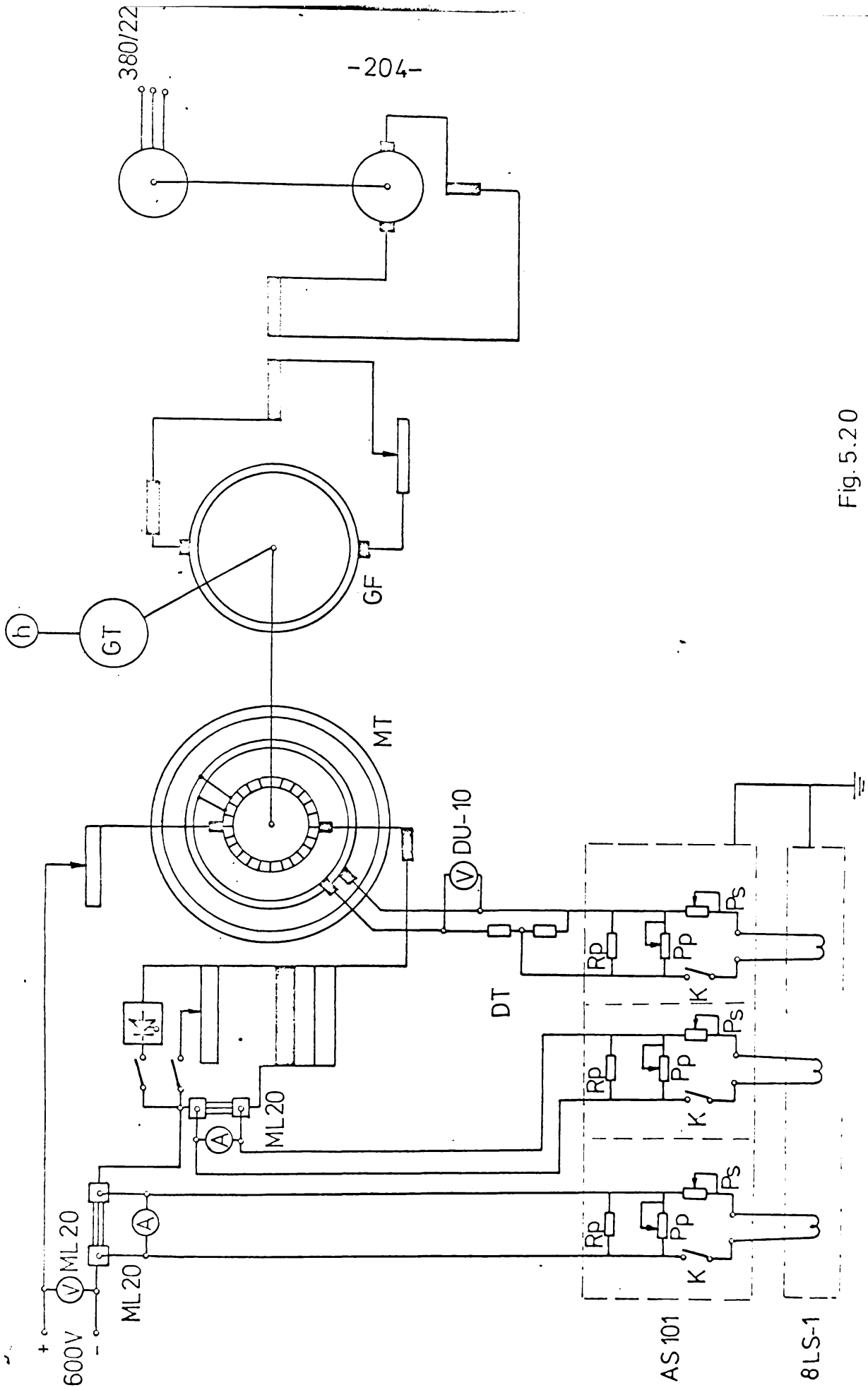


Fig. 5.20

## CAPITOLUL - 6

INSTALAȚIE DE REGLARE CONTINUĂ  
CU TIRISTOARE A CÎMPULUI MOTOARE-  
LOR DE TRACȚIUNE PE LOCOMOTIVA  
060-DA-1.

### 6.1. DESCRIEREA SCHEMEI VARIATORULUI DE TENSIUNE CONTINUA

Schema variatorului de tensiune continuă pentru o locomotivă diesel electrică este mai complexă decât cea verificată pe stand, întrucît ea trebuie să cuprindă un număr de variatoare egal cu numărul ramurilor de motoare legate în paralel.

Pe fiecare ramură se conectează în paralel la înfăşurările de excitaţie serie ale motoarelor cîte un variator.

Comanda impulsurilor însă este comună pentru toate variatoarele.

În cazul locomotivei CFR 060-DA, la care avem trei ramuri paralele cu cîte două motoare înseriate, sînt necesare trei variatoare care se conectează în paralel la cîte două înfăşurări de excitaţie înseriate.

Schema variatorului, pentru o singură ramură, este prezentată în fig.6.1 iar încadrarea lor în schema de forţă a locomotivei în fig.6.2.

Bornele 2 şi 3 ale variatorului se conectează la înfăşurările de excitaţie ale motoarelor, iar borna 1 la sursa auxiliară de alimentare (generatorul auxiliar) sau direct la tensiunea totală a generatorului, de la care se face încărcarea condensatorului de stingere al tiristorului principal.

Intrucît curentul comandat de tiristorul principal poate atinge valoarea de 400 A, este necesar să se pună două tiristoare în paralel, comandate simultan.

Funcţionarea schemei este identică cu cea încercată pe stand.

### 6.2. CALCULUL INDUCTIVITĂȚII DINAMICE A MOTORULUI DE TRACȚIUNE GDM-533

În calculele ce se efectuează asupra motorului, intervine valoarea inductivității. Intrucît aceasta nu s-a putut

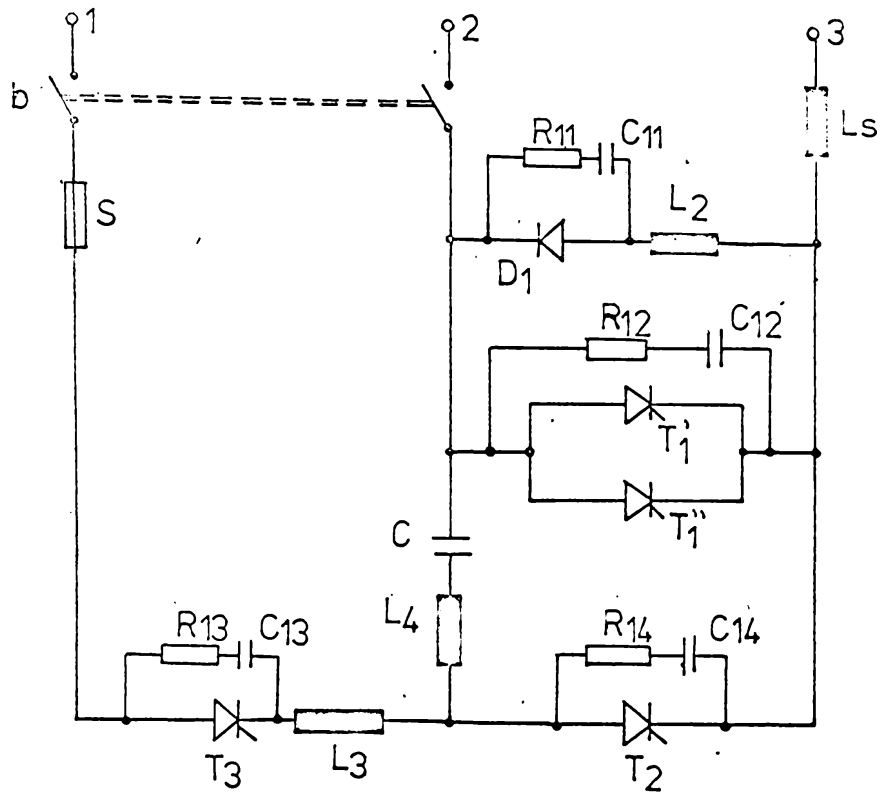


Fig. 6.1

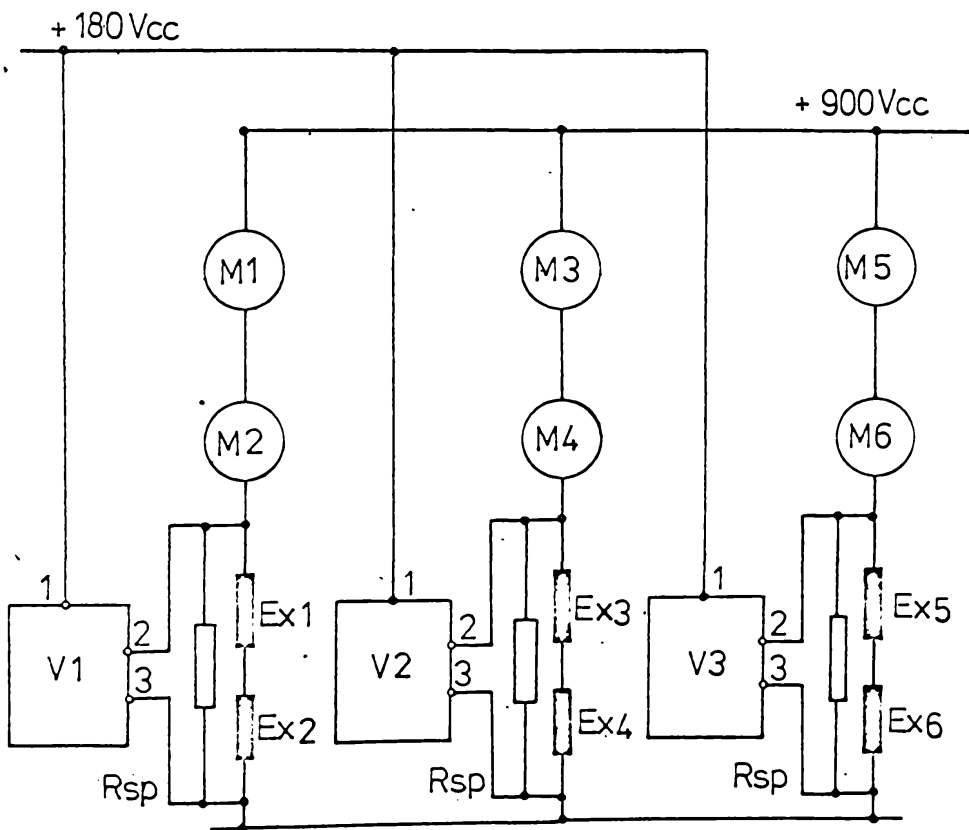


Fig. 6.2

determina experimental, se face calculul ei conform [46.]

Inductivitatea dinamică va fi:

$$L_m = L_{om} i \quad (6.1)$$

unde:

$$L_{om} = \frac{\phi_{m.}}{I_m} \quad \text{inductivitatea statică a motorului} \quad (6.2)$$

$$i = \frac{d\phi}{di} = \frac{1}{1+b\phi^{b-1}} \quad (6.3)$$

$$i = \phi + \phi^b \quad (6.4)$$

$$di = d\phi (1+b\phi^{b-1}) \quad (6.5)$$

Se lucrează cu caracteristica  $\phi_{sm}(I_m)$  în domeniul  $I = 0 \div 1100$  A pentru câmp plin - fig.6.3.

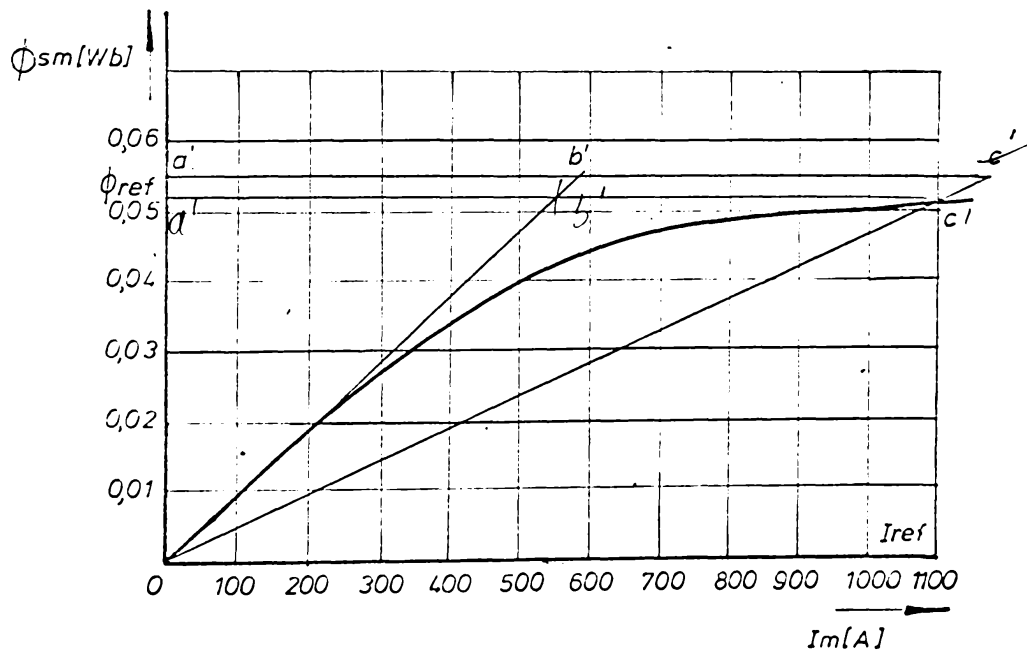


Fig.6.3

• / •

Se duce tangenta în origine.

Se aleg punctele a', b', c' astfel ca a'b' = b'c'.

Se duce dreapta oc' care taie caracteristica  $\phi_{sm}(I_m)$  în punctul C, pentru care corespund coordonatele de referință  $\phi_{ref}, I_{ref}$ .

În cazul nostru

$$I_{ref} = 1100 [A] ?$$

$\phi_{ref} = 5,2 \cdot 10^{-2} [wb]$ , pentru care se aleg valorile relative de referință

$$i' = 2$$

$$\varphi = 1$$

Se calculează  $\varphi(i)$  și valorile lui b din (3.4).

Rezultatele calculelor sînt date în tabela 6.1.

- Tabela 6.1 -

$I_m$	A	100	200	300	400	500	600	700	800	900
i	-	0,182	0,364	0,546	0,728	0,91	1,092	1,27	1,46	1,64
$\phi_{sm}$	$10^{-2} \cdot wb$	0,93	1,85	2,72	3,5	4,05	4,45	4,75	4,95	5,05
$\varphi$	-	0,178	0,356	0,512	0,674	0,78	0,855	0,914	0,952	0,97
b	-	3	5	6	7	8	9	11	13	13

Se calculează  $L_m$ ,  $L_{om}$  - citindu-se coordonatele  $\phi_m, I_m$  a tangentei la origine a caracteristicii  $\phi_{sm}(I_m)$ , apoi rezultă  $L_m$ .

Rezultatele calculelor sînt date în tabela 6.2. iar reprezentarea grafică  $L_m(I_m)$  este prezentată în fig.6.4.

- Tabela 6.2 -

$I_m$	A	100	200	300	400	500	600	700	800	900
i	-	0,91	0,925	0,83	0,6	0,42	0,285	0,182	0,123	0,1
$\phi_m$	$10^{-2} \times wb$	0,93	1,85	2,85	3,8	4,75	5,75	6,74	7,6	8,55
$L_{om}$	$10^{-4} \times H$	0,93	0,925	0,95	0,95	0,95	0,958	0,965	0,95	0,95
$L_m$	$10^{-4} \times H$	0,855	0,855	0,79	0,57	0,40	0,273	0,175	0,116	0,095

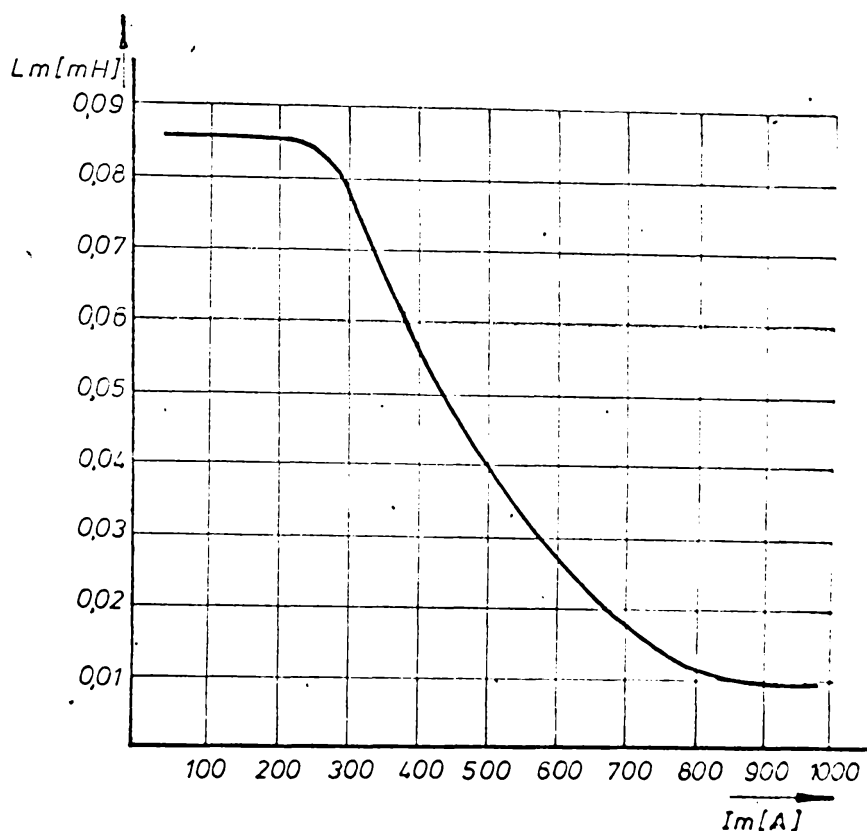


Fig.6.4

### 6.3. DIMENSIONAREA ELEMENTELOR PRINCIPALE ALE VARIA- TORULUI DE TENSIIUNE CONTINUA

În schemă, tiristorul cel mai solicitat din punctul de vedere al tensiunii este tiristorul  $T_2$  din circuitul de încărcare al condensatorului de stingere.

Pentru a evita montarea în serie a acestora, tensiunea de alimentare se ia de la sursa auxiliară de 180 V.c.c.

Tensiunea maximă pe tiristor va fi deci de 180 V.

Curentul motorului la care intră slăbirea de câmp se admite de 650 A.

Curentul maxim ce trece prin tiristoarele principale de slăbire de câmp  $T_1$  este de:

$$I_{\max} = 0,7 I_m = 0,7 \times 650 = 455 [A]$$

. / .



Se alege tiristorul tip T 250 T 1200 AEG de 250 A montate două în paralel.

Caracteristicile acestui tip de tiristoare s-au arătat la dimensionarea variatorului folosit pe stand.

Capacitatea condensatorului de stingere:

$$C_{\min} = \frac{k \cdot I_{\max} \cdot t_{st}}{2 U_1} = \frac{1,5 \cdot 455 \cdot 30 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 180} = 57 [\mu F]$$

Inductivitatea  $L_4$  se calculează:

$$L_4 = \frac{3}{4 \pi} \frac{U_1 t_{st}}{I_{\max}} = \frac{3}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{180 \cdot 30 \cdot 10^{-6}}{455} = 2,84 [\mu H]$$

Inductivitatea  $L_3$  prevăzută pentru protecția tiristoarelor  $T_2$  și  $T_3$  se calculează:

$$L_3 = \frac{U}{\left(\frac{di}{dt}\right)_{\text{adm}}} = \frac{180}{100} = 1,8 [\mu H]$$

Se poate alege  $L_3 = L_4 = 3 [\mu H]$

În acest caz  $\frac{di}{dt} = 60 [A/\mu s] < \frac{di}{dt}_{\text{admis}}$

Curentul efectiv prin tiristorul  $T_3$  va fi:

$$i_{T_3} = \frac{U}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} \sqrt{\frac{T_0}{T}} = \frac{180}{2} \sqrt{\frac{57 \cdot 10^{-6}}{(3+3) \cdot 10^{-6}}} \sqrt{\frac{116 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-3}}} = 47,5 [A]$$

S-a luat:

$$T = \frac{1}{f_{\max}} = \frac{1}{250} = 4 [\mu s]$$

$$T_0 = 2\pi \sqrt{LC} = 2 \cdot \pi \sqrt{(3+3) \cdot 10^{-6} \cdot 57 \cdot 10^{-6}} = 116 \cdot 10^{-6} [sec]$$

Curentul prin  $T_2$  este identic cu cel prin  $T_3$ .

Se pot alege deci tiristoarele  $T_2$  și  $T_3$  de tipul T 100 T 1200 fabricație AEG.

Inductivitatea de sarcină  $L_s$  se alege astfel ca

$$\frac{L_s}{L_{\text{motor}}} = 0,8 \div 1$$

. / .

$$L_s = 0,9 \cdot L_{\text{motor}}$$

Inductivitatea  $L_2$  se calculează astfel încît să asigure un  $\frac{di}{dt}$  corespunzător prin dioda  $D_1$ :

$$L_2 = 5[\mu\text{H}]$$

Dimensionarea condensatorilor  $C_{11}$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{13}$  și  $C_{14}$  și a rezistențelor  $R_{11}$ ,  $R_{12}$ ,  $R_{13}$  și  $R_{14}$  se face la fel ca la schema experimentală și se vor lua deci:

$$C_{11} = C_{12} = C_{13} = C_{14} = 2[\mu\text{F}]$$

$$R_{11} = R_{12} = R_{13} = R_{14} = 20[\Omega]$$

#### 6.4. SCHEMA DE COMANDA AUTOMATA A SLABIRII CONTINUI DE CIMP PE LOCOMOTIVA 060-DA-1

La alegerea schemei de comandă propusă s-a ținut cont de schema existentă pentru slăbirea cîmpului în trepte B3o436o respectiv s-au menținut elementele la comandă existente.

Schema propusă se prezintă în fig.6.5.

La atingerea poziției finale de reglare a excitației independente a generatorului principal cursorul servoreglatorului (62) acționează contactul F prin care se alimentează releul temporizat 52.2. Acesta își închide contactele cu o întârziere de circa 1 sec. Prin acționarea acestuia se pune sub tensiune bobina releului maximal de curent (55) (conductorii 469 și 469a).

Dacă curentul generatorului e sub circa 2500 A contactul acestuia e închis și se comandă prin conductorii 87 respectiv 5o bobina releului intermediar (51.41). După acționarea acestuia prin deschiderea contactelor 7,8 se întrerupe alimentarea releului temporizat (52.2) prin firele 85 și 84 d. Acesta revine întrerupînd și circuitul de alimentare a releului maximal (firele 469 și 469a). Alimentarea releului maximal se va face

. / .

în continuare prin contactele 1,2 a releului intermediar (51.1) respectiv conductorii 469 și 469a.

Prin contactele 3,4 a releului intermediar (51.1) și conductorii 35 respectiv 40 se alimentează în continuare contactorii triplii (26.1) și (26.2) care conectează variatoarele de tensiune la bornele excitațiilor celor trei grupe de motoare de tracțiune.

De la segmentul de contact II al servoregulatorului (62) releul auxiliar (51.1) este ținut în poziția de conectare prin contactul său propriu de reținere 2-1 și conductorul 83 cît timp cursorul servoregulatorului se găsește între pozițiile 0 și 24. Dacă cursorul servoregulatorului (62) se retrage prin poziția 24 atunci cade releul auxiliar (51.1) deci și contactoarele de slăbire a cîmpului (26.1) și (26.2). Dacă cursorul servoregulatorului (62) vine din nou pe poziția 0 (contactul F) reîncheie jocul automatizării în succesiunea descrisă mai sus.

Același lucru se întîmplă cînd releul maximal de curent (55) lucrează în timpul slăbirii cîmpului din cauza curentului prea mare și cade din nou după un anumit timp.

În timpul cuplării slăbirii de cîmp, gradul acestuia e stabilit de un regulator electronic. Acesta se compune din șuntul "Sh" a cărui tensiune e comparată cu o tensiune fixă pe baza tranzistorului  $T_{r1}$ . Dacă curentul debitat de generator depășește valoarea reglată, se produce blocarea tranzistorului. Dacă curentul generatorului e mai mic ca cel reglat, tensiunea proporțională cu viteza locomotivei debitată de generatorul tahometric GT, ajunge să încarce prin rezistența R condensatorul C.

Astfel, la generatorul de impulsuri GI ajunge o tensiune proporțională cu viteza locomotivei, limitată de curentul maxim absorbit al generatorului și temporizată prin circuitul RC, care va comanda defazajul între impulsurile de aprindere și stingere.

Schema regulatorului electronic s-a tratat în principiu, aceasta urmînd a fi definitivată funcție de cerințele generatorului de impulsuri utilizat și apoi experimentată pe stand.

Componența schemei de comandă este redată mai jos:

. / .

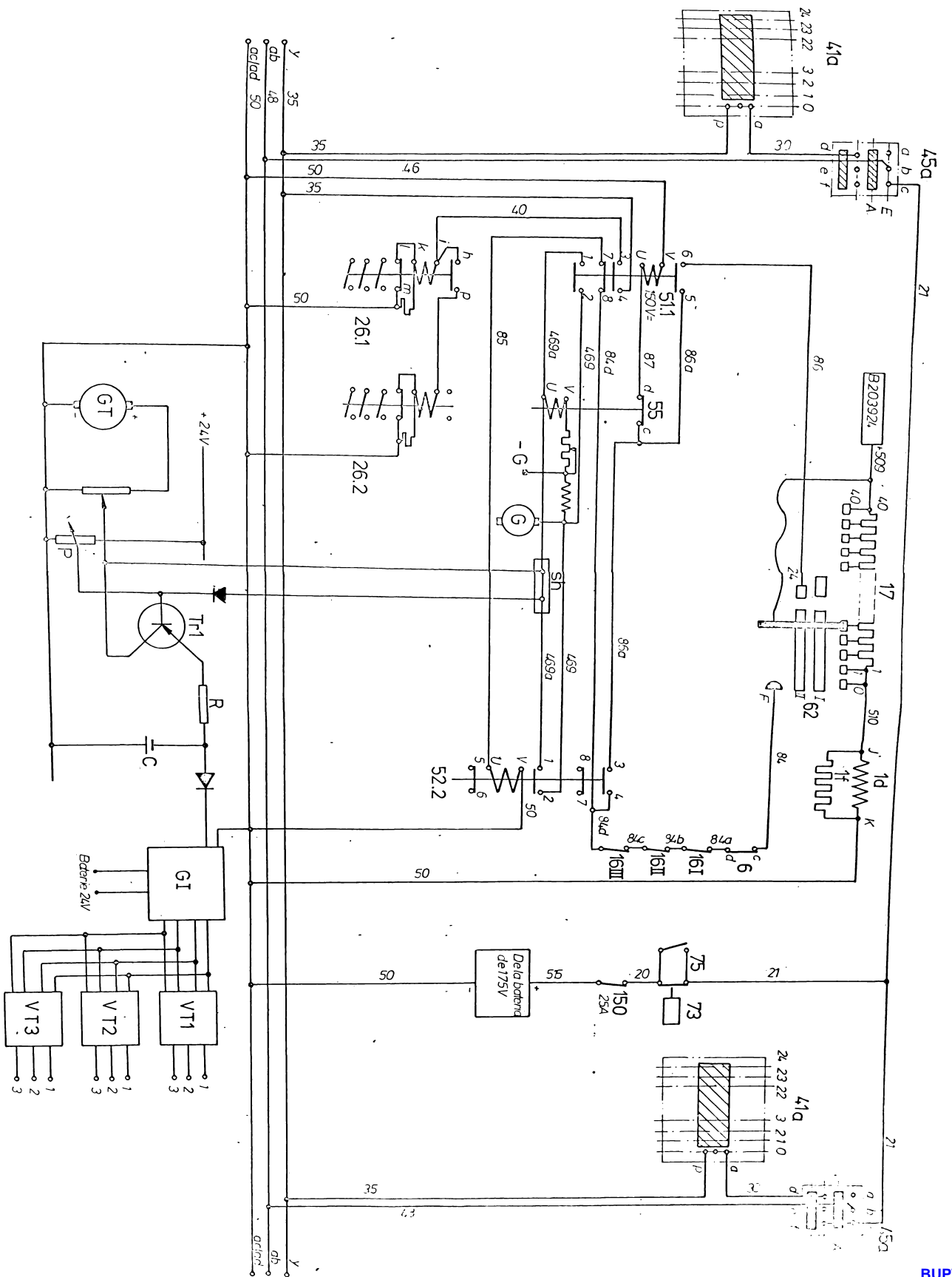


Fig. 6.5

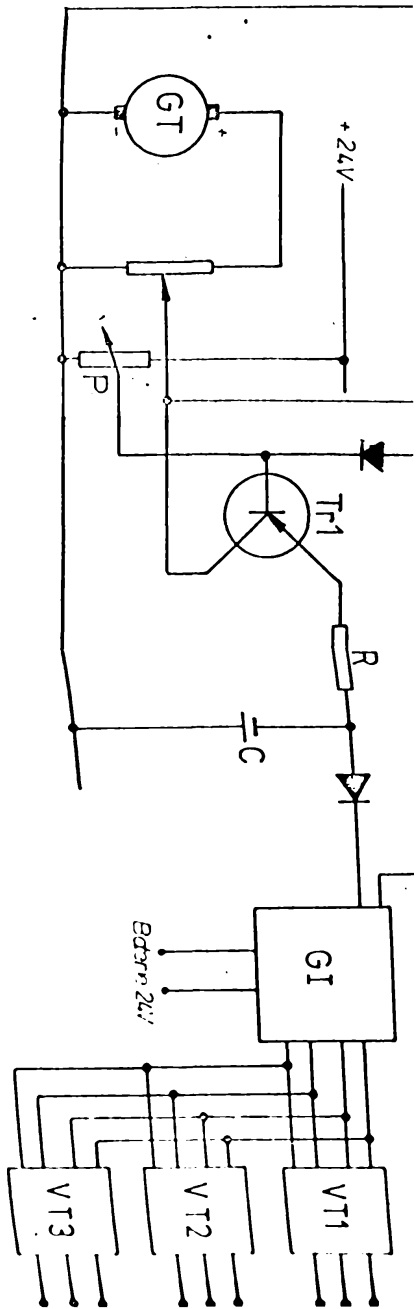
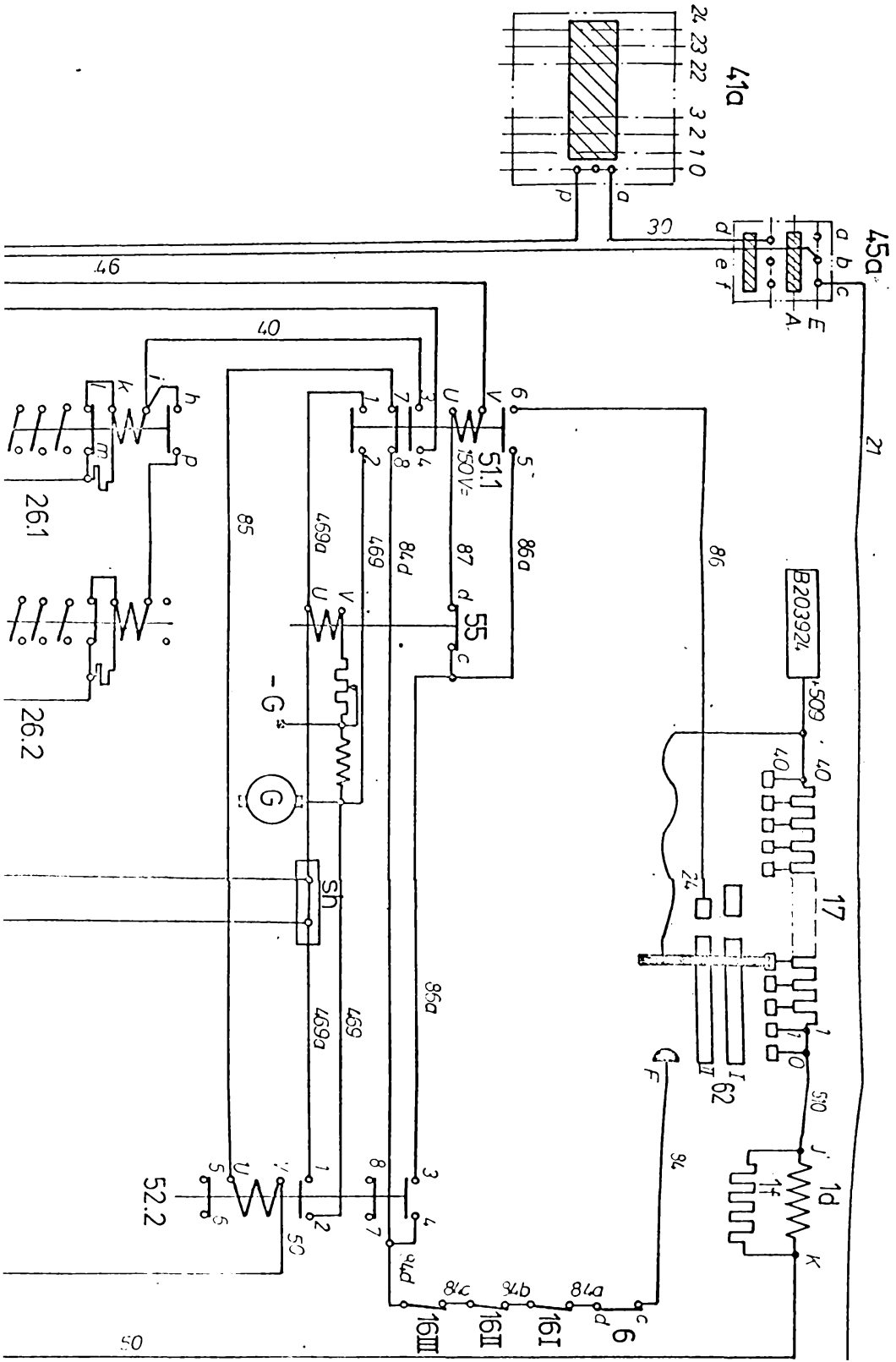


Fig.6.5 :



1.d.	Infășurarea excitației separate
1.f.	Rezistența de protecție pentru excitația separată.
6	Controler de lansare
16	Înterupător pentru separarea grupelor de motoare
17	Rezistență de reglare pentru excitație separată
26r/2	Contactator pentru slăbirea cîmpului
48a	Tamburul principal al controlerului de comandă
45a	Înterupător pentru curentul de comandă
51.1	Releu auxiliar
51.2	Releu temporizat
55	Releu maximal de curent
62	Servoregulatorul de cîmp
G	Generator principal
Sh	Șunt
G.T.	Generator tahometric
P	Potențiomtru
T <sub>r1</sub>	Tranzistor regulator
R	Rezistență de încărcare
C	Condensator
G.I.	Generator impulsuri
VT <sub>1-3</sub>	Variator de tensiune

O schemă bloc principală de perspectivă care să asigure o reglare mult mai complexă a slăbirii cîmpului este dată în fig. 6.6.

Obiectele de reglat sînt grupele de motoare de tracțiune MT I - MT III, iar elementele executoare sînt variatorii continui de tensiune VT<sub>1</sub> - VT<sub>2</sub>.

În circuitele curenților indusurilor și de excitație există transformatoarele de curent continuu TCCI și TCCEx, a căror legiri sînt conectate la intrările instalațiilor logice corespunzătoare SAU; ultimele sînt în evidență cele mai mari semnale în momentul dat, proporționale cu valorile maxime a parametrilor reglați  $I_m$  și  $I_{ex}$ , dîndu-le la intrarea sistemului de reglare. Instalațiile SAU sînt sisteme cu diode care lucrează la sarcină comună.

Variatoarele de tensiune continuă de tipul celui de-

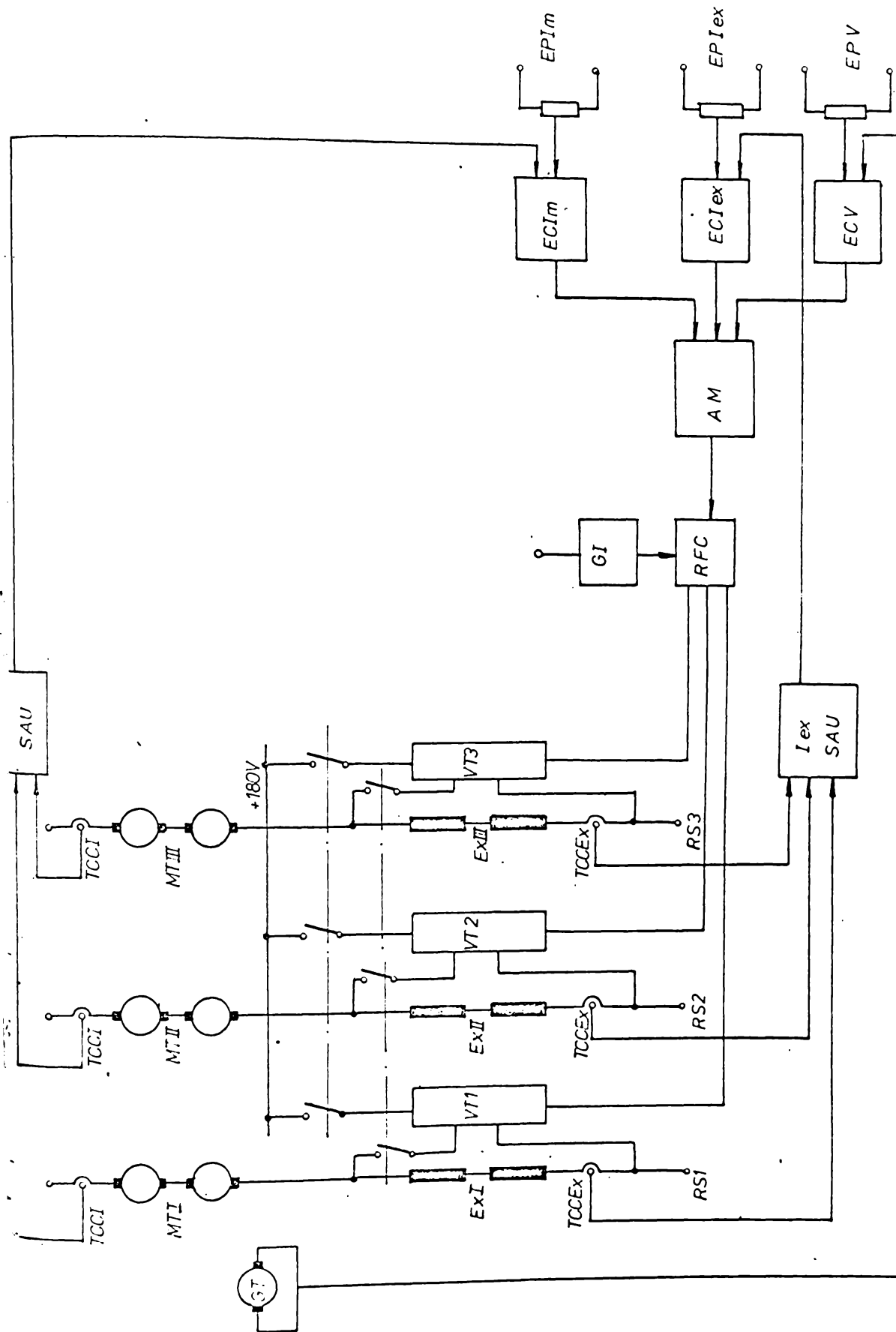


Fig. 6.6



scris în capitolele anterioare, sînt comandate de semnalul de ieşire al regulatorului comun de impulsuri RFC.

Elementele de bază ale reglării optime a forţei de tracţiune sînt elementele de comparaţie EC ale curentului indusului  $I_m$ , curentului de excitaţie  $I_{ex}$  şi a vitezei de mers  $V$  cu valorile lor date stabilite de către mecanic la elementele pilot EP, reprezentate în schemă sub formă de potenţiometre. Astfel prin EP  $I_m$  se reglează curentul absorbit de motor în timpul slăbirii cîmpului, prin EP  $I_{ex}$  se reglează slăbirea maximă de cîmp la care se va ajunge iar prin EPV se controlează viteza rezultată.

Semnalele EC sînt date la înfăşurările de comandă ale amplificatorului magnetic insumator AM a cărui semnal de ieşire este semnal de comandă al regulatorului de impulsuri static RFC care asigură timpii de aprindere necesari ai tiristoarelor.

CAPITOLUL-7  
REZULTATE OBȚINUTE PRIN  
INCERCĂRI EXPERIMENTALE  
PE STAND.

7.1. RIDICAREA CARACTERISTICILOR ELECTROMECANICE ALE  
MOTORULUI EXPERIMENTAL TIP CF 300/200 E (LORAIN)

Caracteristicile au fost ridicate la tensiunea constantă  $U_m = 450$  V. Rezultatele măsurătorilor pentru diferite grade de slăbire de câmp sînt date în tabela 7.1 și reprezentate în figurile 7.1 și 7.2.

Cuplul motorului se calculează cu relația:

$$C_m = 0,974 G \quad (7.1)$$

unde:

0,974 m - lungimea brațului

G - forța de apăsare pe cîntar în (kgf).

- Tabela 7.1

=====				
$U_m = 450$ V; $\alpha = 1$				
$I_m$ (A)	$n_m$ (rot/min)	G (kgf)	$C_m$ (kgfm)	
62,6	630	37,6	36,6	
58,5	645	34,5	33,6	
53	680	30,2	29,4	
43	755	22,1	21,5	
35,5	845	16,5	16,1	
31	935	12,8	12,5	
27,8	1020	10,6	10,3	
25,4	1075	8,9	8,8	
23,3	1150	7,4	7,2	
21,4	1235	6,5	6,3	
=====				
$U_m = 450$ V $\alpha = 0,905$				
$I_m$ (A)	$I_{ox}$ (A)	$n_m$ (rot/min)	G (kgf)	$C_m$ (kgfm)
70,6	63,9	625	43,3	42
64,6	58,5	650	38,2	37
60,3	54,5	675	34,2	33,2
. / .				

54,5	49,3	700	30	29,2
44,2	39,9	780	21,7	21,1
37,3	33,7	880	16,2	15,7
32,6	29,4	975	13,2	12,8
29,4	26,4	1040	10,7	10,4
27,9	25,3	1080	9,7	9,4
25	22,6	1195	7	6,8
24,1	21,8	1240	5,75	5,6

$U_m = 450 \text{ V}$      $\alpha = 0,78$

$I_m$ (A)	$I_{ex}$ (A)	$n_m$ (rot/min)	G (kgf)	$C_m$ (kgfm)
61,3	47,8	730	30,8	30
58,8	45,8	745	29,2	28,5
55	42,9	775	26,4	25,75
49	38,2	850	21,9	21,3
43,6	34	910	18,2	17,7
39,3	30,7	980	15,4	15,1
37,2	29	1010	14,6	14,2
33,7	26,2	1080	12,1	11,8
30,1	23,6	1160	9,8	9,4

$U_m = 450 \text{ V}$      $\alpha = 0,656$

$I_m$ (A)	$I_{ex}$ (A)	$n_m$ (rot/min)	G (kgf)	$C_m$ (kgfm)
68	45	775	31	30,2
63,4	38,9	810	28,2	27,5
58	37,6	850	24,8	24,2
54,3	35,7	895	22,6	22,1
46,4	30,4	980	18,1	17,6
44,5	29,2	1010	16,5	16,1
39,4	25,7	1090	13,5	13,2
38	24,9	1105	12,9	12,6
36,4	23,8	1160	11,8	11,5
34,4	22,5	1205	10,9	10,6

. / .

$U_m$ 450 V $\alpha = 0,555$				
$I_m$ (A)	$I_{ex}$ (A)	$n_m$ (rot/min)	G (kgf)	$C_m$ (kgfm)
74,6	41,4	830	32,8	32
73	40,7	845	31	30,2
65,4	36,4	915	26,8	26,2
60,5	33,7	950	25,6	23
54,5	30,1	1015	20,6	20,1
51,9	28,4	1040	19,1	18,5
48	26,6	1090	16,6	16,2
45,5	25,1	1120	15,4	15
44	24,4	1155	13,8	13,5
42,4	23,5	1190	13,3	13
40,5	22,4	1225	12,5	12,2

$U_m$ 450 V $\alpha = 0,39$				
$I_m$ (A)	$I_{ex}$ (A)	$n_m$ (rot/min)	G (kgf)	$C_m$ (kgfm)
68,4	26,7	1220	20,5	20
63,7	24,9	1275	18,2	17,7
61,5	23,9	1322	17	16,6
58,4	22,8	1337	16	15,6
57	22,2	1372	15,5	15,1

7.2. MASURATORI PRIVIND SLABIREA IN TREPTE A CIMPULUI  
MOTORULUI CF 300/200-E

In scopul determinării variației mărimilor electromecanice la slăbirea în trepte a cimpului motoarelor electrice de tracțiune s-au măsurat mărimile:

$I_m$ ,  $I_{ex}$ ,  $U_k$ ,  $n_m$  și  $C_m$  la  $U_m = \text{const}$  și  $P_m = \text{const}$  iar mărimile  $I_m$ ,  $I_{ex}$  și  $U_k$ , au fost înregistrate și la oscilograf.

Rezultatele măsurătorilor efectuate cu ajutorul instrumentelor indicatoare pentru cazul  $U_m = \text{const}$ , sînt date în tabela 7.2. și reprezentate grafic în figurile 7.1 și 7.2, iar pentru reglarea la putere constantă ( $P_m = \text{const}$ ), aceste rezultate sînt date în tabela 7.3 și reprezentate grafic în fig.7.3 și 7.4.

Valorile mărimilor oscilografiate sînt trecute în tabela 7.4 pentru cazul  $U_m = \text{ct}$  și în tabela 7.5 pentru cazul  $P_m = \text{ct}$ .

Oscilogramele pentru cazul  $U_m = \text{const}$  sînt date în figurile 7.5 ... 7.9 iar pentru cazul  $P_m = \text{const}$ , în figurile 7.10 ... 7.13.

- Tabela 7.2

$U_m = 450 \text{ V}$ $I_{\text{min}} = 50 \text{ A}$						
Regimul	$I_m$ ( A )	$I_{\text{ex}}$ ( A )	$n_m$ (rot/min)	G (kgf)	$C_m$ (kgfm)	
Treapta 0	49,9	45,1	735	25,1	24,5	0,905
Trecere 1						
Treapta 1	55,7	41,6	785	26,1	25,4	0,74
Treapta 1						
Trecere 2	49,5	36,8	860	21,5	21	0,74
Treapta 2	59,4	33	935	22,8	22,2	0,555
Treapta 2						
Trecere 3	50	28	1060	17,5	17	0,555
Treapta 3	61,1	25,7	1150	18,6	18,1	0,42
Treapta 3						
Trecere 4	50	21,1	1380	13,2	12,8	0,42
Treapta 4						
Treapta 4.	55,5	20,1	1450	13,6	13,2	0,36
Treapta 4						
Treapta 4	50,5	18,2	1525	11,4	11	0,36
$I_{\text{min}}$						

• / •

- Tabela 7.3 -

		$P_n = 22,5 \text{ kW}$		$I_{min} = 50 \text{ A}$				
Regimul	$I_n$ (A)	$I_{ex}$ (A)	$U_n$ (V)	$P_m$ (kW)	$n_m$ (rot/min)	G kgf	$C_m$ (kgfm)	
Treapta 0 Treccere 1	50	45,2	450	22,5	730	25,4	24,7	0,905
Treapta 1	53,4	39,6	421	22,5	750	24,4	23,7	0,74
Treapta 1 Treccere 3	50,3	37,2	450	22,6	850	22,3	21,7	0,74
Treapta 2	56	31	405	22,6	885	21	20,4	0,555
Treapta 2 Treccere 3	50	27,8	450	22,5	1060	17,4	16,9	0,555
Treapta 3	55,6	23	400	22,3	1120	15,9	15,5	0,415
Treapta 3 Treccere 4	50	20,9	450	22,5	1360	13,1	21,7	0,415
Treapta 4	53,2	19	425	22,6	1420	12,7	12,3	0,357
Treapta 4 $I_{min}$	50	17,9	450	22,5	1450	11,3	11	0,357

- Tabela 7.4 -

R e g i m u l		Treccere 1 Treapta 1	Treccere 2 Treapta 2	Treccere 3 Treapta 3	Treccere 4 Treapta 4
Cu-	$I_{min}$ (A)	50	50	50	50
rent	$I_{max}$	62	66	68	59
mo-	(A) · stab.	56	60	61	55,5
tor					
Cu-	$I_{ex}$ V	41	35	26	21
rent	$I_{ex}$ max(A)	45	37	28	21
exci-	$I_{ex}$ min(A)	41,5	33	25	20
tație					

Regimul		Trecere 1. Treapta 1	Trecere 2. Treapta 2	Trecere 3. Treapta 3	Trecere 4. Treapta 4
$\alpha$ min V	$\frac{I_{ex} V}{I_{max} V}$	0,662	0,53	0,382	0,357
$\alpha$ stab	$\frac{I_{ex}}{I_{max} stab.}$	0,905/0,74	0,74/0,555	0,555/0,42	0,42/0,36
Colec-	$U_k \min(V)$	4,5	6	8,5	14
tor	$U_k \max(V)$	5	7	10,5	16,5

- Tabela 7.5

Regimul		Trecere 1. Treapta 1	Trecere 2. Treapta 2	Trecere 3. Treapta 3	Trecere 4. Treapta 4
Cu- rent mo- tor	$I_{min}$	51	51,5	51,5	52
	$I_{max}$ virf	61,5	67,5	68	60
	$I_{max}$ stab.	57	61	61,5	58
Cu- rent excit- tatie	$I_{ex} V$	44	37	28	21,5
	$I_{ex}$ $I_{ex} \max$	46	38	28,5	22
	$I_{ex} \min$	42	34	26	21
$\alpha$ min V	$\frac{I_{ex} V}{I_{max} V}$	0,715	0,548	0,412	0,358
$\alpha$ stab.		0,905/0,74	0,74/0,555	0,555/0,42	0,46/0,36
Colec- tor	$U_k \min$	3,1	3,5	8,5	12,5
	$U_k \max$	3,5	4	10	14,5

. / .



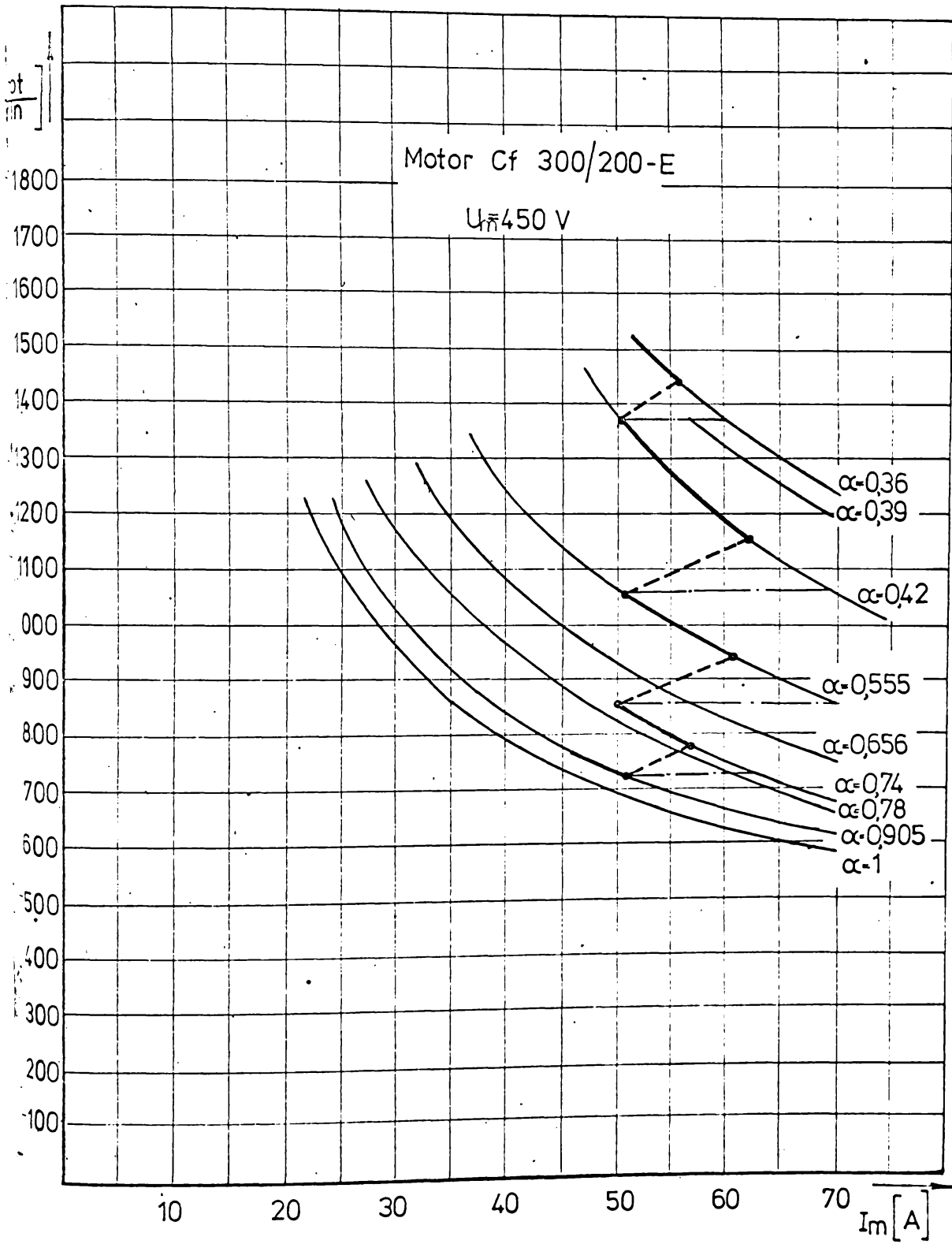


Fig. 7.1

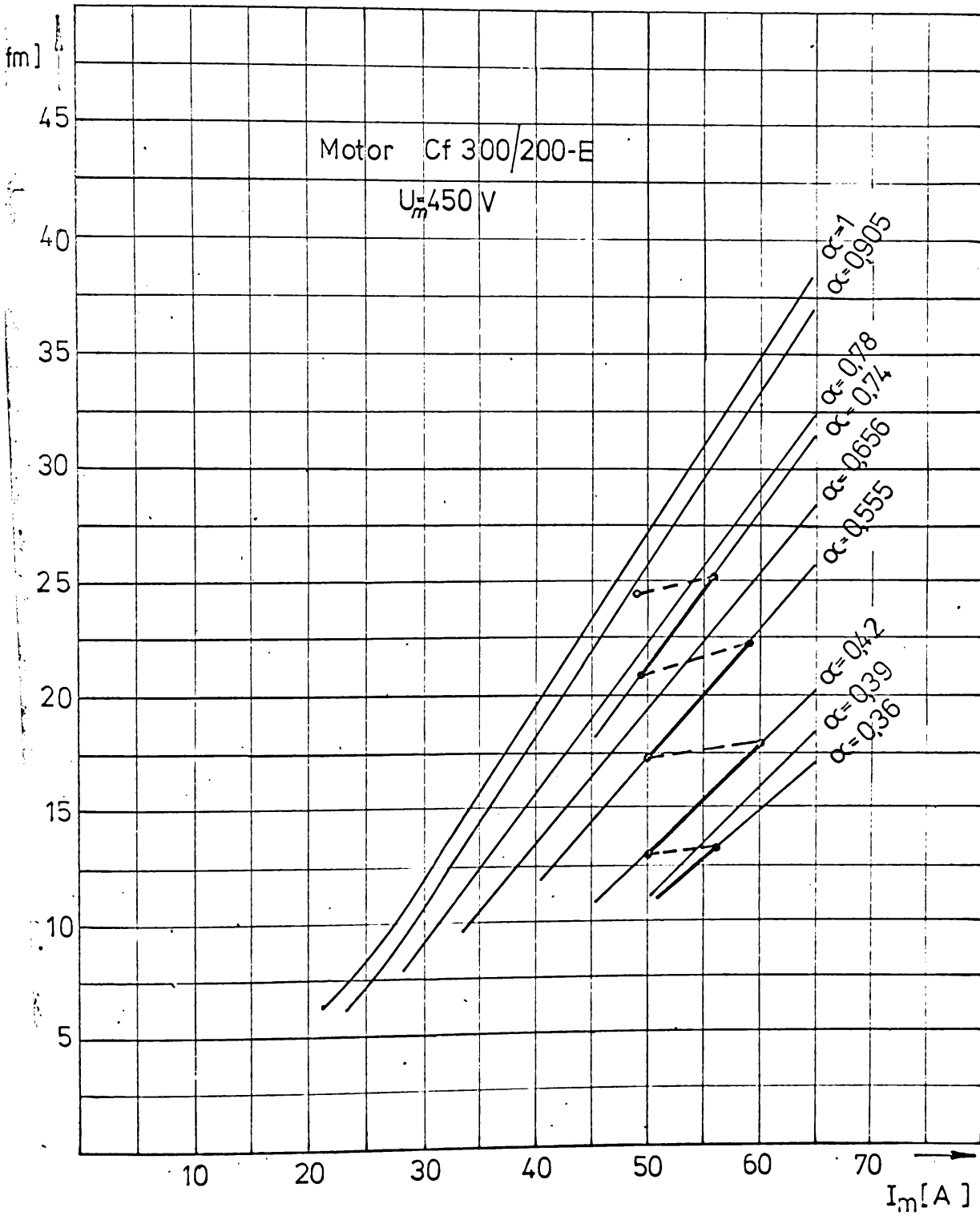


Fig. 7.2

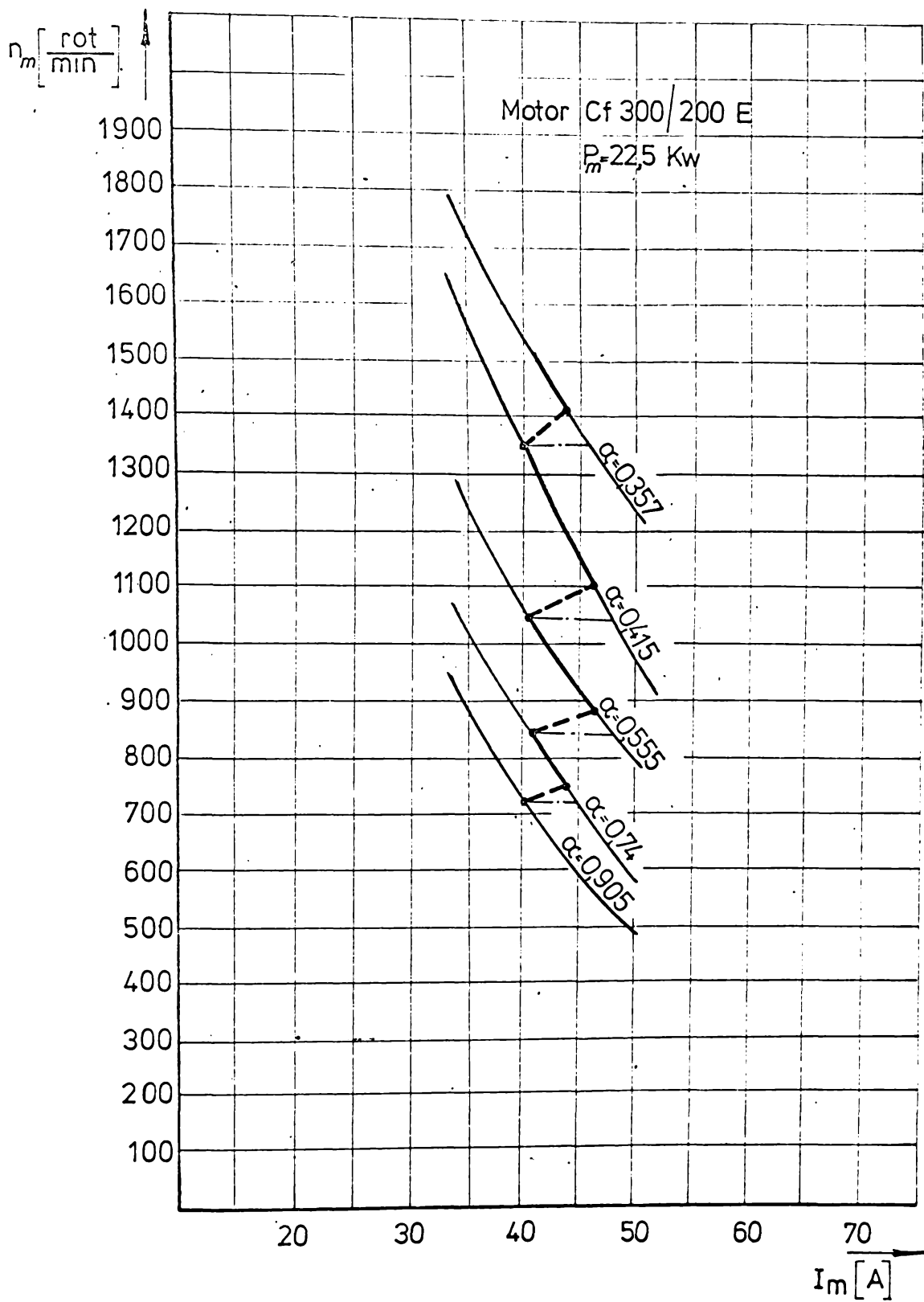


Fig. 7.3

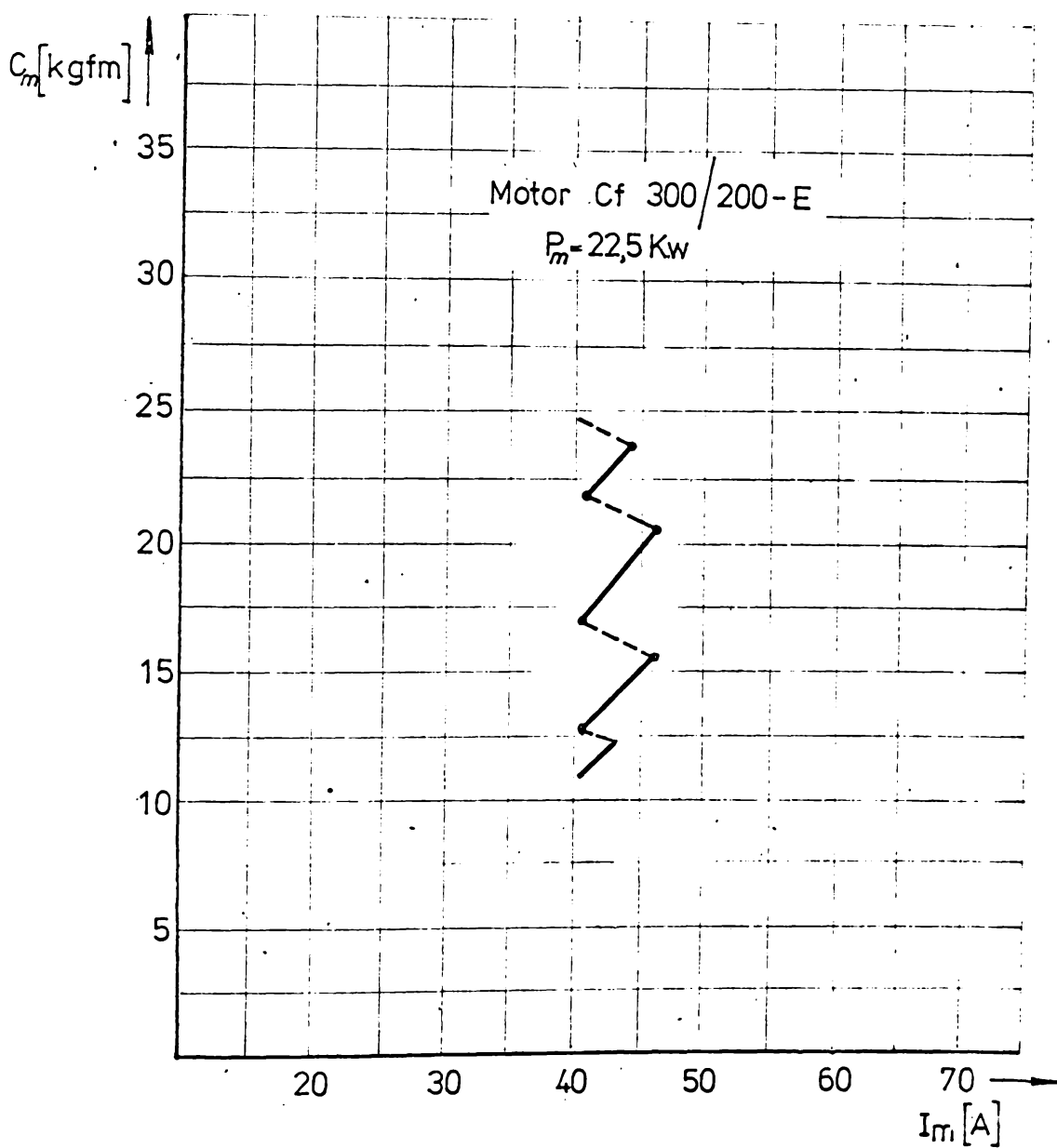


Fig. 74

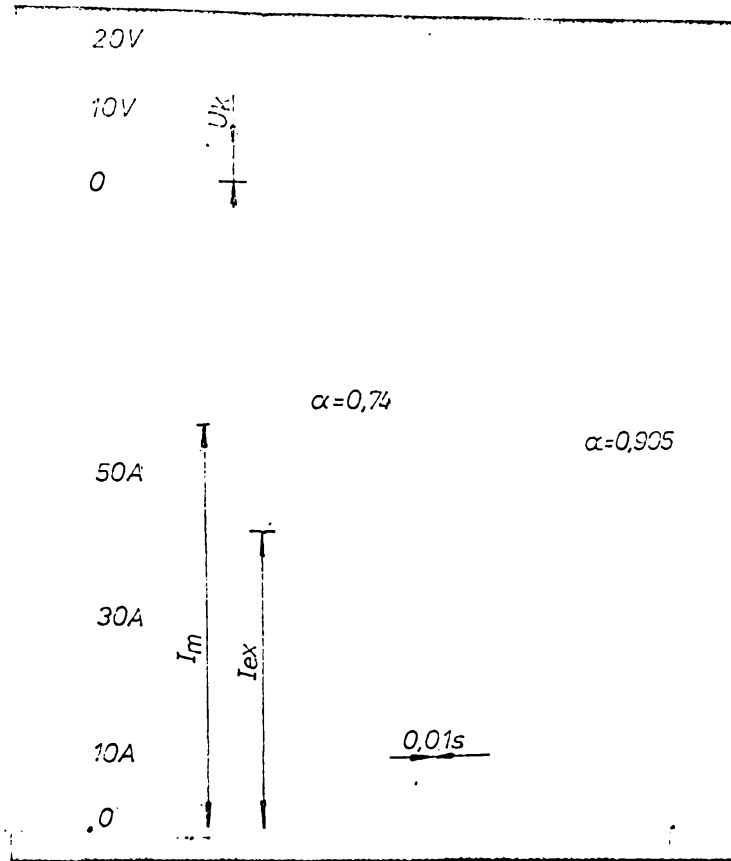


Fig. 7.5a

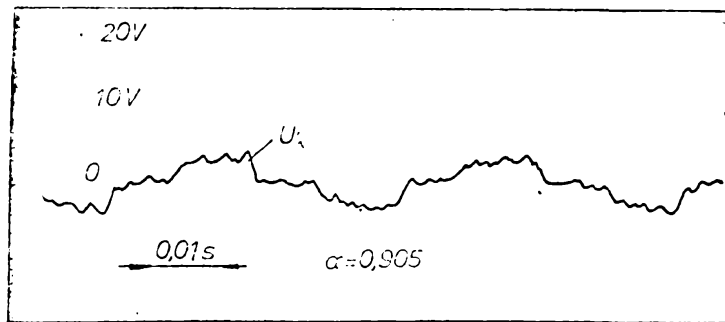


Fig. 7.5 b

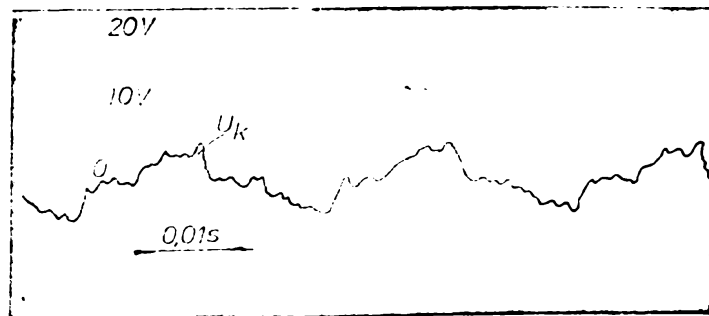


Fig. 7.5c

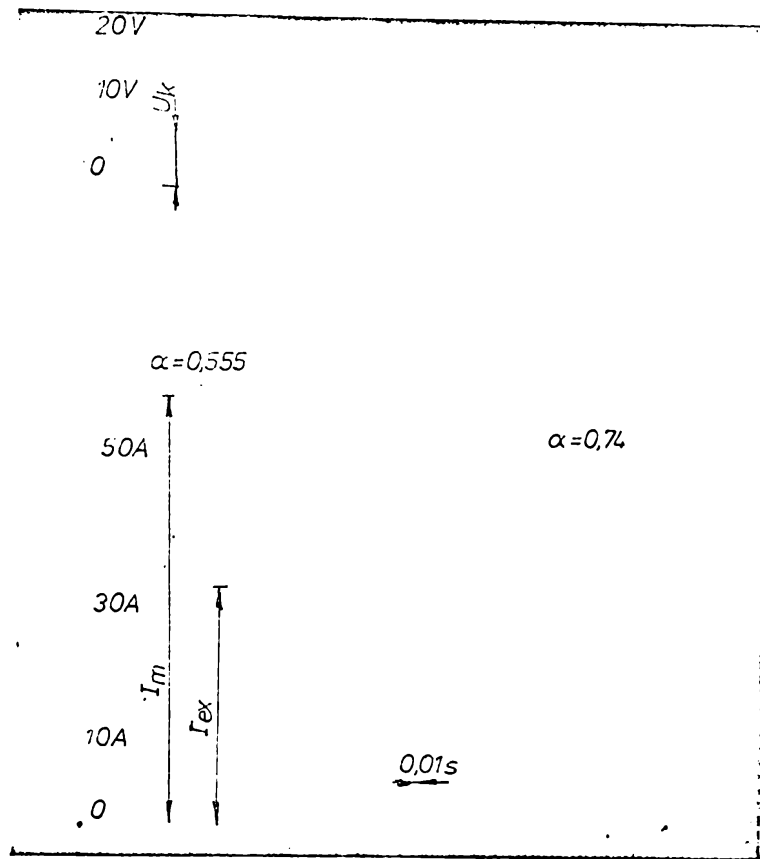


Fig. 7.6 a

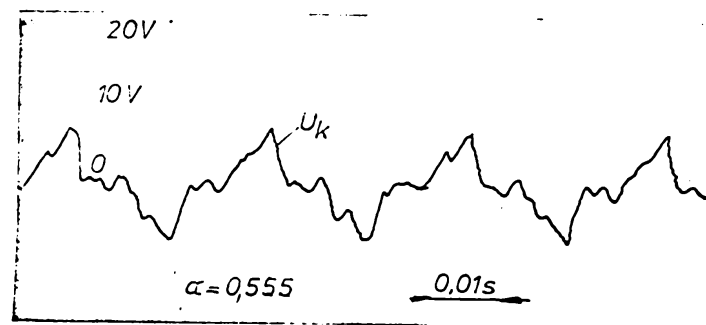


Fig. 7.6 b

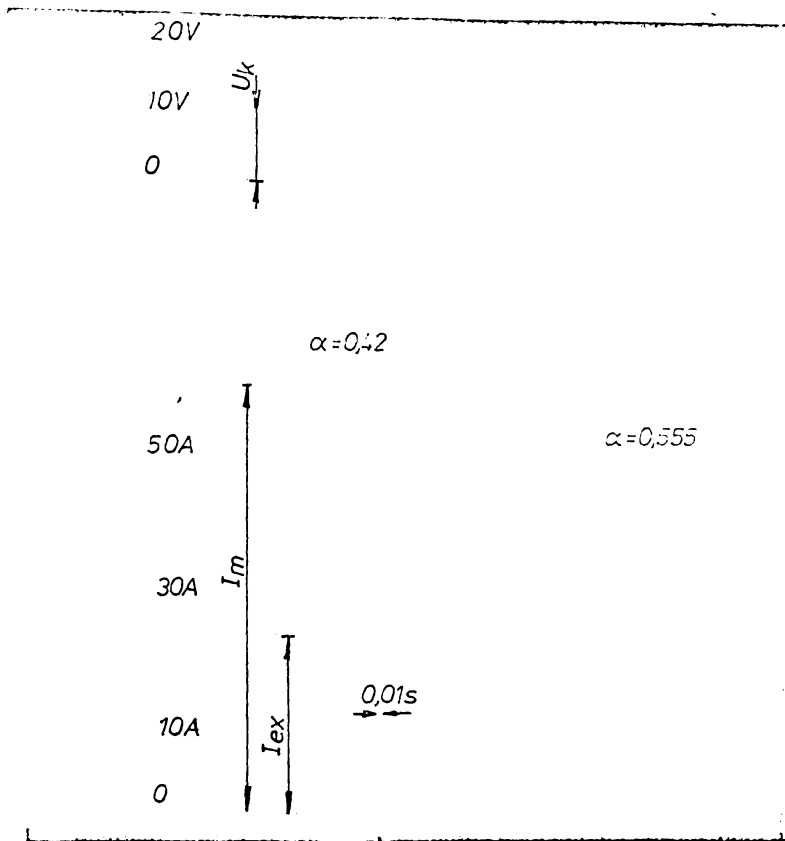


Fig. 7.7a

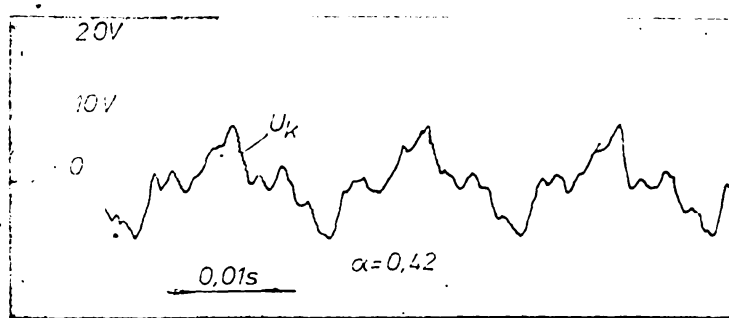


Fig. 7.7b

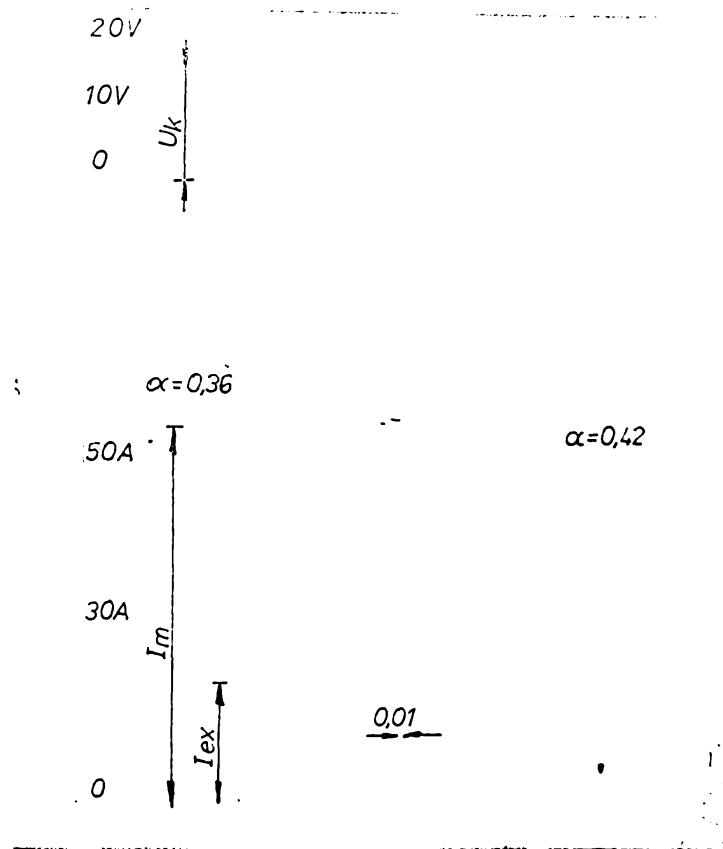


Fig. 7.8a

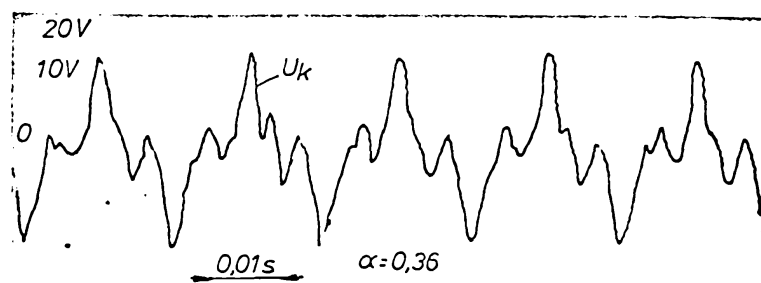


Fig. 7.8b



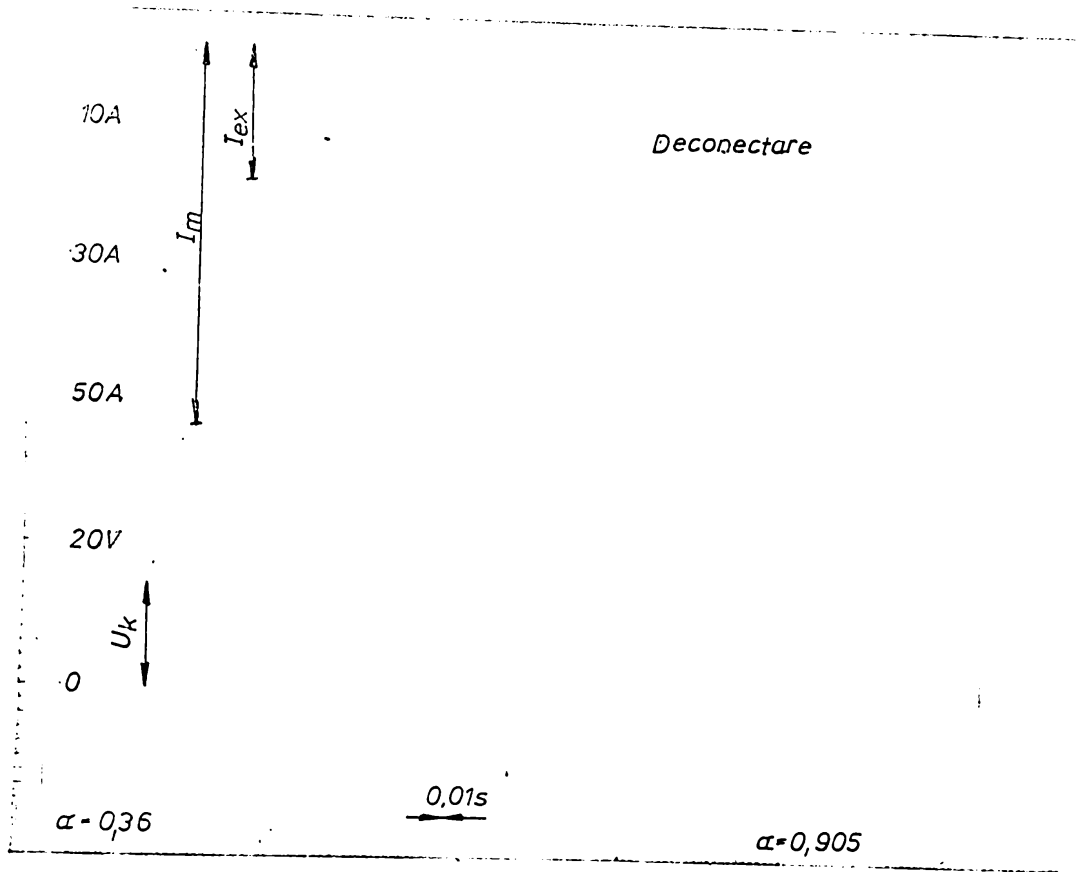


Fig. 7.9

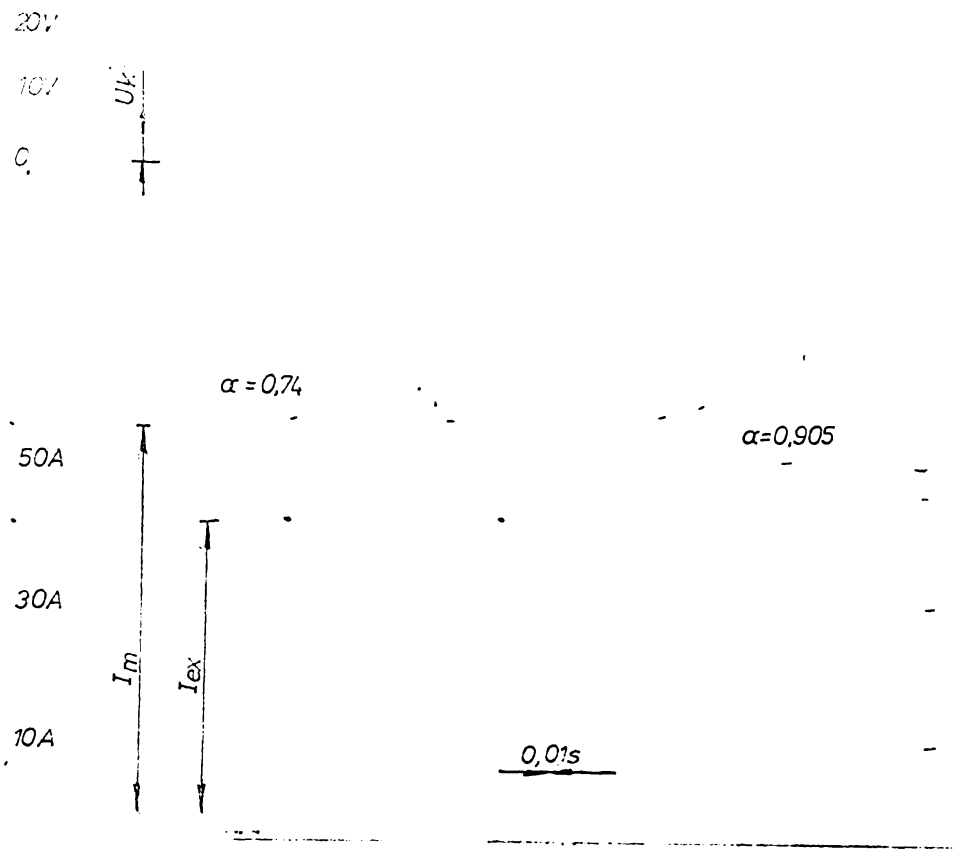


Fig. 7.10

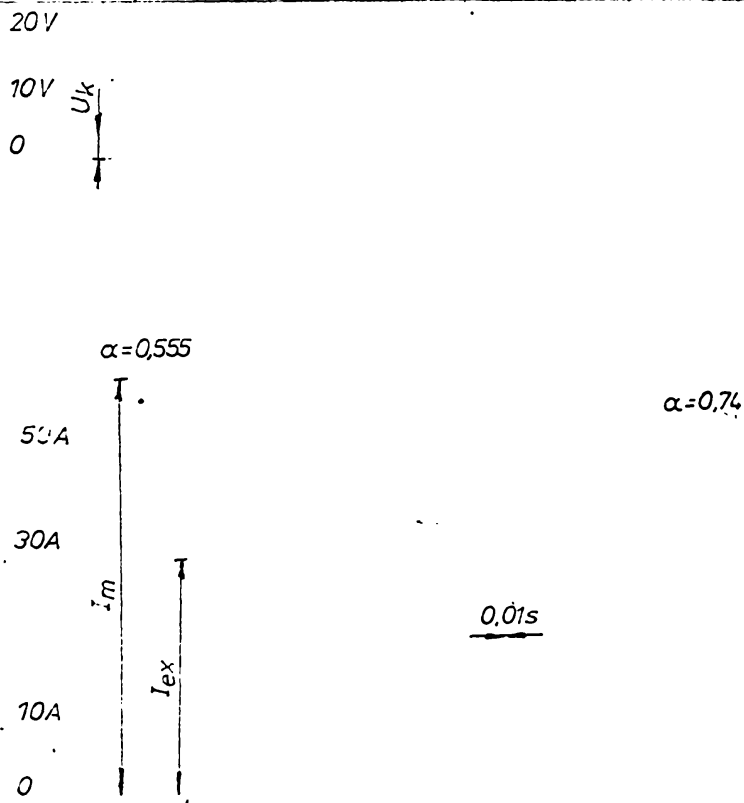


Fig. 7.11

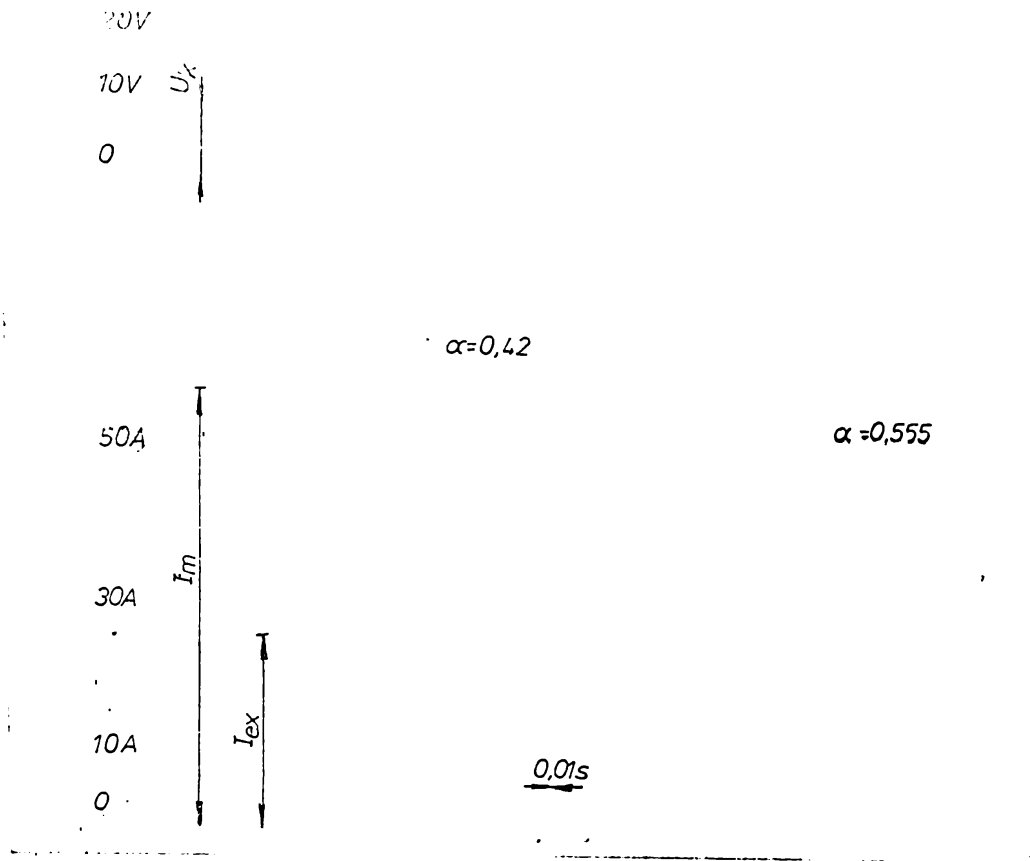


Fig. 7.12

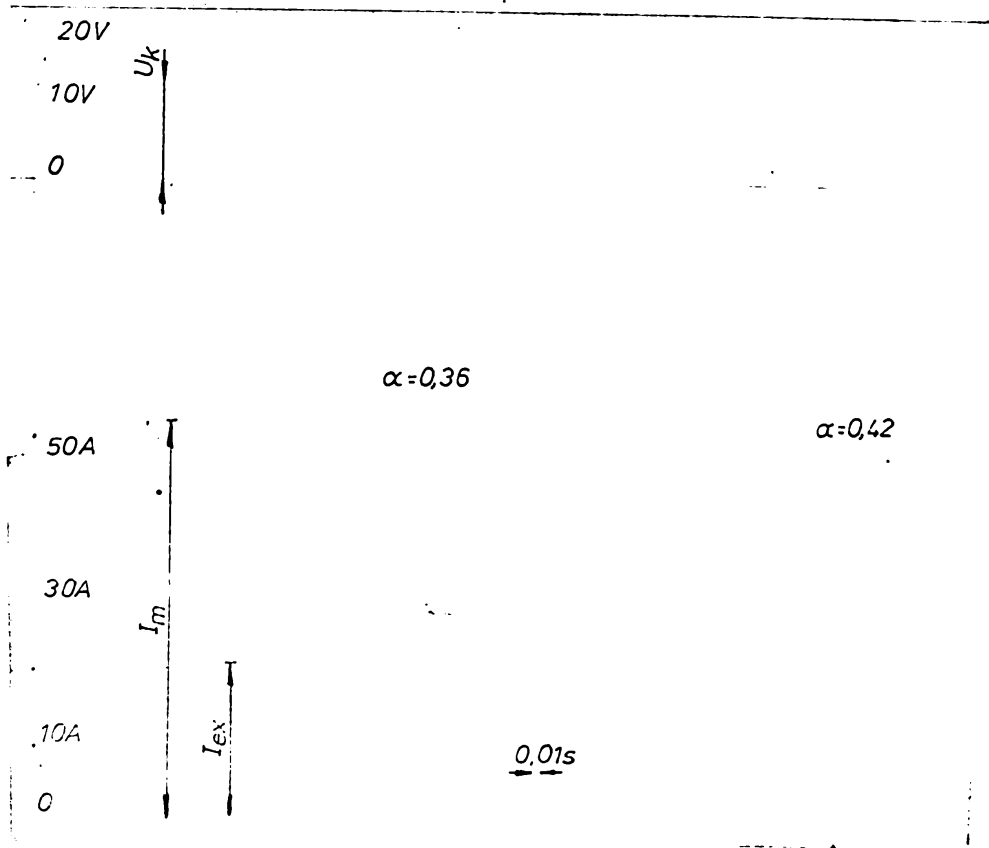


Fig. 7.13

7.3. MASURATORI PRIVIND STABILIREA CONTINUTII  
A CIMPULUI MOTORULUI CE 300/200-E

Mărimile  $I_m$ ,  $I_{ex}$ ,  $U_k$  au fost înregistrate cu oscilografu la  $U_m = \text{const.}$

Datele rezultate din oscilograme sînt redade în tabela 7.6. iar oscilogramele în figurile 7.14 ... 7.17.-

- Tabela 7.6

La  $U_m \cong 450$  V

Nr. oscilogramă	1	2	3	4
$I_m$ (A)	49	49	55	54
$I_{ex}$ (A)	36	32	23	18
	0,735	0,654	0,42	0,33
$U_k$ (V)	6	7	10,5	15

In timpul reglării continui a cîmpului ştrandul nu a permis menţinerea riguros constantă a valorii curentului  $I_m$ . Pentru realizarea acestei condiţii, ar fi fost necesară şi reglarea continuă a excitaţiei generatorului frînă.

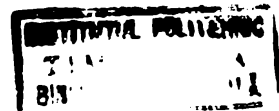
Avînd însă valorile citite ale lui  $\alpha$  din tabelul de mai sus, se pot calcula valorile lui  $I_{ex}$  în ipoteza  $I_m = \text{ct.}$  In acest caz din citirile oscilogramelor ar fi rezultat fig.7.18.

7.4. MASURATORI EFECTUATE ASUPRA VARIATORULUI  
DE TENSIUNE CONTINUA

Pentru stabilirea unui regim optim de funcţionare a variatorului s-au efectuat încercări de reglare la diferite frecvenţe de lucru şi diferite lăţimi de impulsuri.

Intrucît aceste regimuri sînt determinate de parametrii electrice ai variatorului s-a răcut oscilografiera

. / .



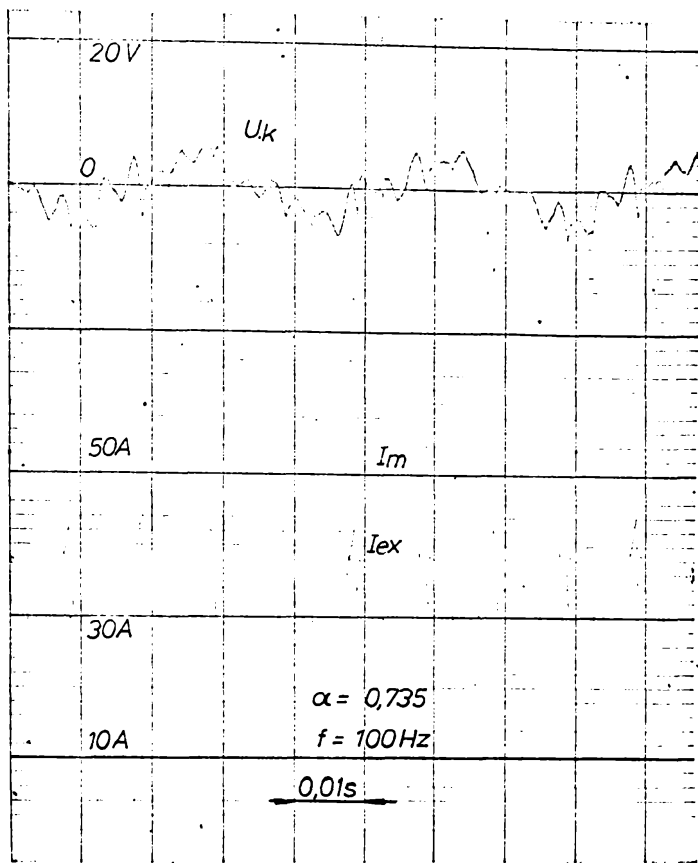


Fig. 7.14

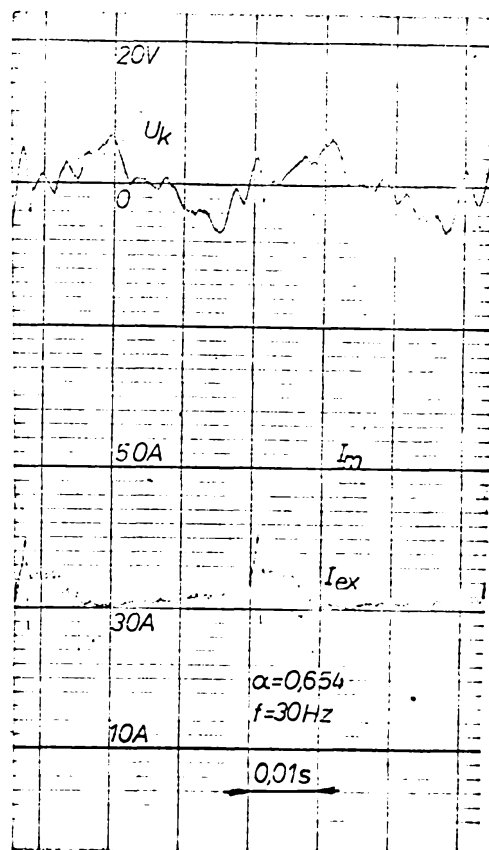


Fig. 7.15

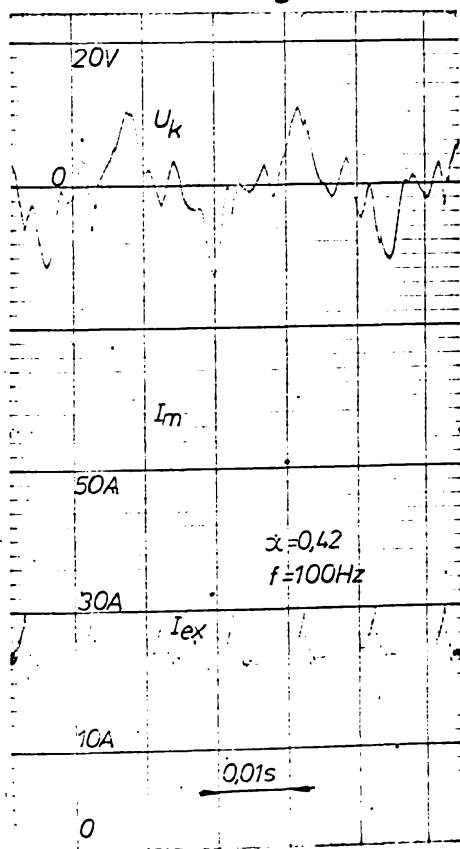


Fig. 7.16

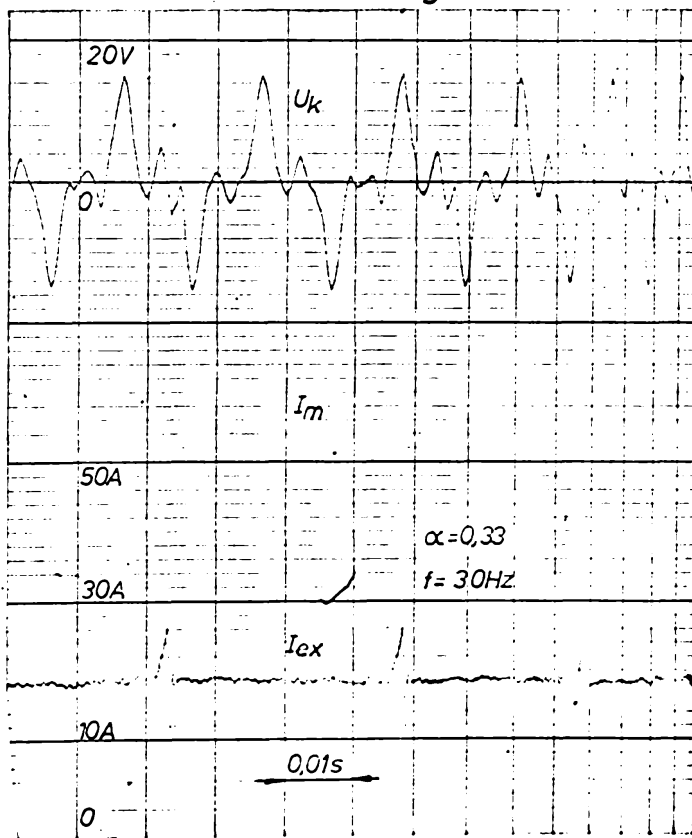


Fig. 7.17

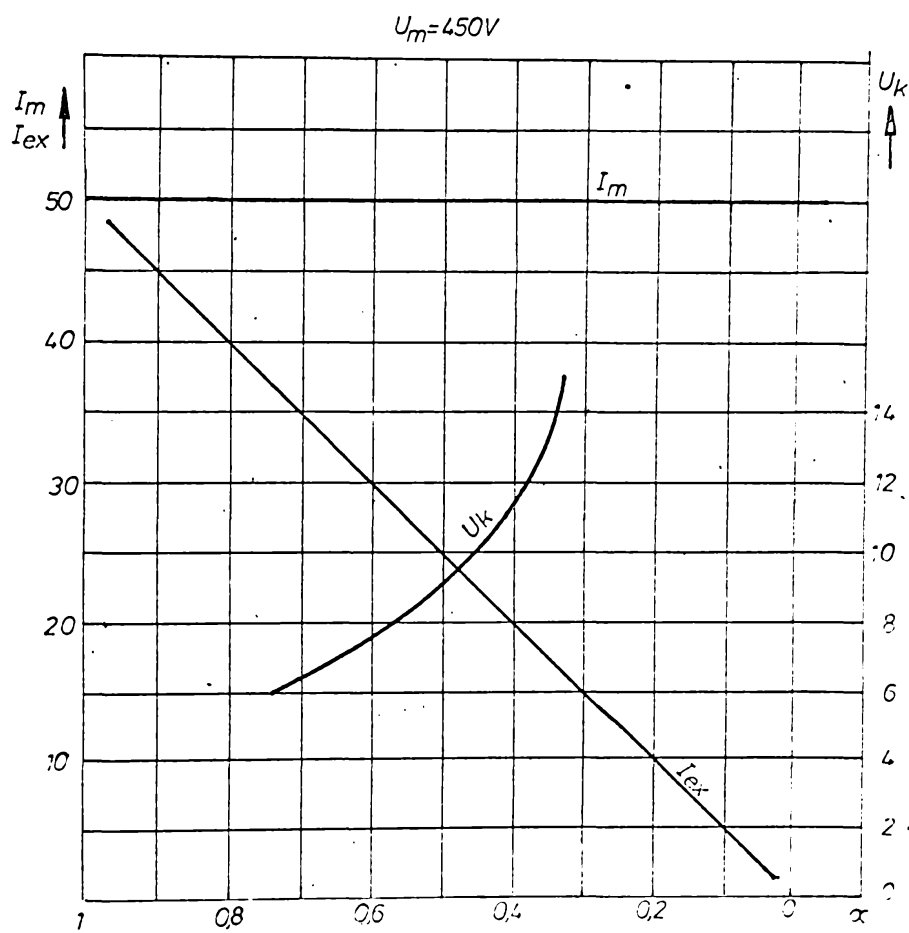


Fig. 7.18

acestor parametrii.

In fig.7.19 sînt reprezentate oscilogrammele pentru:

$$I_{T_1}(\tau); U_o(\tau); U_{T_3}(\tau) \text{ și } U_{T_1}(f).$$

### 7.5. CONCLUZII ASUPRA REZULTATELOR MASURATORILOR

La reglarea în trepte a slăbirii cîmpului, curentul motorului prezintă salturi între o valoare minimă impusă  $I_{\min} = 50 \text{ A}$  și două valori maxime: una momentană, de vîrf:  $I_{\max v}$  și alta stabilizată  $I_{\max \text{ stab}}$ , acestea apărînd datorită faptului că salturile de curent la valoarea  $I_{\max v}$  nu au putut fi urmărite de turația motorului,  $I_{\max \text{ stab}}$  apare la valcarea la care turația motorului a putut atinge valoarea corespunzătoare curentului și fluxului la un  $\alpha$  dat.

In fig.7.1, 7.3 coordonatele curentului  $I_{\max v}$  sînt determinate de intersecția liniei-punct, iar coordonatele curentului  $I_{\max \text{ stab}}$  de intersecția liniei întrerupte cu caracteristica  $n(I_m)$  la anumit  $\alpha$ .

In cazul nostru valorile medii ale curenților  $I_{\max}$  pentru diferite grade  $\alpha$  sînt:

$$\begin{aligned} I_{\max v} &= 65(\text{A}) & I_{\max \text{ stab}} &= 58(\text{A}) & \text{în cazul } U_m &= \text{ct} \\ \text{și } I_{\max v} &= 64(\text{A}) & I_{\max \text{ stab}} &= 58(\text{A}) & \text{în cazul } P_m &= \text{ct} \end{aligned}$$

Comparînd aceste variații de curent cu valcarea curentului de reglare continuă a slăbirii cîmpului, rezultă următoarele salturi procentuale care solicită înfășurările motorului:

$$\frac{I_{\max v}}{I_{\min}} = 30\%$$

$$\frac{I_{\max \text{ stab}}}{I_{\min}} = 15\%$$

Deci, în privința solicitărilor termice ale înfășu-

Fig. 7.19a

Fig. 7.19b



nărilor motorului, reglarea continuă a slăbirii cîmpului prezintă posibilitatea unei majorări a puterii motorului cu 15%.

La reglarea continuă se poate observa și o reducere a tensiunii maxime dintre lamelele de colector în special în zona interesată a slăbirilor pronunțate de cîmp. Astfel la  $I = 50 \text{ A}$ ,  $U = 450 \text{ V}$   $\alpha = 0,36$ , în cazul reglării în trepte  $U_k = 16,5 \text{ V}$  iar în cazul reglării continue  $U_k = 12,5 \text{ V}$ .

În acest caz îmbunătățirea potențialului la colector se poate exprima procentual prin raportul tensiunilor  $U_k$  rezultînd o valoare de 32%.

De asemenea, se observă că în cazul slăbirii în trepte în timpul procesului tranzitoriu apare o slăbire de cîmp mai pronunțată decît cea comandată, fapt care în cazul slăbirilor pronunțate de cîmp ar putea provoca apariția unor fenomene de comutație periculoase.

Valorile determinate pentru  $\alpha_{\min}$  și  $v$  sînt date în tabela 7.5.

Acest lucru confirmă concluziile teoretice stabilite în capitolul 3.

Măsurarea inductivității unei secțiuni a bobinajelor rotorice efectuată pentru un rotor ecranat și unul necranat a pus în evidență o micșorare a cîmpului transversal al creștăturii respectiv o scădere a inductivității creștăturii cu circa 30%. În realitate se poate conta pe o scădere mai pronunțată a acesteia, fapt care nu s-a putut determina cu precizie prin metoda de măsurare utilizată din cauza influenței cîmpurilor parazite (frontal, etc.).

Astfel se asigură o comutație superioară a motorului ecranat la turații mari în zona slăbirilor de cîmp pronunțate.

Oscilogramele tensiunii între lamelele colectorului în cazul reglării slăbirii de cîmp cu ajutorul variatorului de tensiune cu tiristoare au pus în evidență apariția unui număr mai mare de armonici superioare fără ca vîrfurile de tensiune să depășească limitele admise.

. / .

Din cauza creșterii ponderii acestor armonici se preconizează ca motoarele utilizate în astfel de sisteme să fie prevăzute cu amortizoare de creștătură de tipul studiat în prezenta lucrare pentru asigurarea unei comutații corespunzătoare.

CAPITOLUL - 8  
CONSIDERAȚII FINALE.

## 8. CONSIDERATII FINALE

Lucrarea de doctorat cuprinde rezultatele studiilor încercărilor făcute de autor pe o perioadă îndelungată asupra problemei reglării continue a câmpului motoarelor de tracțiune cu excitație serie, în vederea utilizării rezervelor transmisiei electrice de pe locomotivele diesel.

Principalele rezultate ale cercetării și contribuțiile personale ale autorului sînt concretizate în următoarele:

1) Rezultatele cercetărilor pot constitui un punct de plecare în acțiunea de modernizare a locomotivelor diesel existente și în proiectarea locomotivelor noi cu caracteristici îmbunătățite, dotate cu mașini electrice cu putere maximă.

2) În situația reglării în trepte a câmpului motoarelor electrice de pe locomotivele diesel, transmisia electrică are la dispoziție rezerve importante de putere care pot fi utilizate prin trecerea de la slăbirea în trepte a câmpului la slăbirea continuă.

În cazul locomotivei CFR 060-DA-1 aceste rezerve sînt utilizate la circa 30% din puterea actuală a locomotivei.

Rezervele existente pot fi puse în exploatare fie prin reducerea greutateii transmisiei, fie prin montarea pe locomotivă a unui motor diesel de putere sporită, pînă la 1000 kW. În acest scop motorul diesel Sulzer 12 LDA\_28 este utilizat prin mărirea gradului de supraalimentare. Prima variantă ar implica reproiectarea generatorului și a motoarelor de tracțiune din această cauză, se preferă cea de-a doua variantă care implică mai puține modificări.

Prin mărirea puterii motorului diesel apare o depășire a capacității de putere constantă a generatorului, în special în cazurile de sarcini mari, din această cauză este necesar să se

. / .

crească și turația generatorului, pentru a menține valoarea actuală a tensiunii maxime.

3) Aplicarea slăbirii continue a câmpului motoarelor electrice de tracțiune la locomotiva 060-DA-1, fără alte modificări, conduce la îmbunătățirea condițiilor de funcționare ale locomotivei prin:

- eliminarea fenomenelor tranzitorii din mașinile electrice ale transmisiei cauzate de reglarea în trepte a câmpului;

- mărirea fiabilității mașinilor electrice ale transmisiei, ca urmare a reglajului la valoarea minimă a curentului de sarcină;

- reducerea șocurilor în părțile mecanice ale locomotivei.

4) Prin slăbirea continuă a câmpului motoarelor electrice de tracțiune se asigură utilizarea integrală optimă a puterii motorului diesel până la viteza maximă admisă din punct de vedere constructiv.

5) Utilizarea integrală a rezervelor din transmisie asigură îmbunătățirea performanțelor locomotivei în ansamblu, prin creșterea vitezei acestuia la tonaj dat al trenului sau remorcarea unor tonaje mai mari.

În cazul utilizării unui motor diesel de 2750 C.P., locomotiva va putea tracta un tren cu o greutate standard de 400 tf cu viteza de 140 km/h.

Având în vedere însă că în acest caz s-ar depăși turația maximă a motorului electric de tracțiune GDM-533, este necesară modificarea raportului de transmisie de la motor la osiile motoare sau reproiectarea motorului de tracțiune cu scopul mării turației maxime pentru a se putea merge la slăbiri mai adânci de câmp.

6) Studiul și cercetările posibilităților existente de realizare a slăbirii continue de câmp a motoarelor electri-

ce de tracțiune cu excitație serie, a determinat prioritatea schemelor cu tiristoare față de alte sisteme.

7) Instalația de reglare cu tiristoare realizată, poate fi aplicată imediat pentru încercări pe locomotivă diesel electrică fără să necesite modificări mari în schema electrică a acesteia.

Ea poate fi încadrată, relativ ușor și în schema de comandă automată a slăbirii câmpului.

8) Verificările experimentate pe standul Institutului Politehnic din laboratorul de locomotive diesel, au confirmat valabilitatea determinărilor teoretice privind comportarea motorului la reglarea în trepte și continuă, precum și valabilitatea schemei de reglare concepută cu variator de tensiune continuă, montat în paralel cu înfășurarea de excitație a motorului.

Principalele contribuții ale autorului la problema reglării continue a fluxului, motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie, prima realizare practică în țară, constau în:

a) Stabilirea unor sisteme practice de slăbire continuă a câmpului motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie cu motor auxiliar de curent continuu și cu variator de tensiune continuă (Cap.2.1.1.3 și 2.1.2.4).

b) Stabilirea metodei de ecranare a înfășurărilor din ancoșă cu platbenzi de cupru și elaborarea metodologiei de calcul și încercarea pe motor, în vederea imprimării tensiunilor reziduale de vîrf la comutație.(Cap.3.2.4).

c) Deducerea relației de calcul pentru stabilirea dependenței dintre gradul de slăbire al câmpului " $\alpha$ " și numărul de trepte de slăbire " $m$ ".(Cap.3.3.1).

d) Deducerea relației de calcul a coeficientului de neuniformitate a reglării forței de tracțiune  $K_{FT}$  în funcție de numărul de trepte de slăbire a câmpului " $m$ " (Cap.4.1).

e) Conceperea schemei, proiectarea, realizarea și experimentarea variatorului de tensiune continuă pentru reglarea continuă a câmpului motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie.

. / .

f) Stabilirea unor măsuri practice pentru ridicarea performanțelor locomotivei diesel electrice CFR 060-DA-1.

Experiențele modeste, au fost efectuate pentru explicarea considerațiilor teoretice din lucrare privind comportarea motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie la reglare în trepte și continuă.

De menționat faptul că, pentru elucidarea tuturor considerațiilor teoretice stabilite în lucrare privitor la utilizarea integrală a rezervelor transmisiei electrice prin slăbirea continuă a cîmpului motoarelor electrice de tracțiune cu excitație serie, sînt necesare experiențe complexe, sistematic conduse, direct pe locomotivă, care nu pot sta la dispoziția autorului, motiv pentru care sugerăm aceasta întreprinderii "Electroputere" Craiova precum și Institutului de Studii, Cercetare și Proiectare Căi Ferate, care dispun de posibilități adecuate (stand de probă a unei transmisii de pe locomotivă sau locomotivă).

În această privință asigurăm tot sprijinul în introducerea pe locomotivă a reglării continue cu variator de tensiune continuă a cîmpului motoarelor electrice de tracțiune.

Autorul își va continua cercetările în privința stabilirii mai precise a influenței ecranării motoarelor cu platbenzi de cupru în ancoșă precum și extinderea metodei de reglare și pe alte mijloace de tracțiune și în primul rînd la noile tipuri de vagoane de tramvai ce se fabrică în Timișoara.

-----

BIBLIOGRAFIE

1. Zăgănescu I. Locomotive și automotoare cu motoare termice. Editura Didactică și Pedagogică București - 1972.
2. Stepanov A.D. Avtomaticheskoe regulirovanie moșcinosti v teplovozaĥ i gazoturbovozaĥ. Izdatelstvo "Mašinostroenie" Moskva 1964.
3. Kamenetĥkii B.G. Raționalne metode polucenia karakteristik postoianoi moșcinosti dlia teplovozoĥ s elektriceskoi peredacoi. Trudĭ V.N.I.I.J.T. - Vĭpusk 213 - 1961.
4. Șișkin K.A. "Teplovozi" jeldorizdat - Moscova 1960
5. - Patent - Franța  
Perfectionnement aux dispositifs de commande des locomotives diesel electriques. Cie Electro - Mécanique - 1964.
6. Körner G.M.; Borodulin I.P. - Teplovozi s postoianoi regulirovkoĭ magnitnoĭ potoka tiagovĭh electrodvigatelei. - Elektriceskaia i teplovoznaia Tiaga.
7. Popovici Vl. și Wagner W. - Cercetări privind folosirea puterii nominale a motorului diesel până la viteza maximă a locomotivei diesel electrice 060-DA de 2100 CP. Buletinul Științific I.P.T., seria nouă, tom 9 (23), 1964.
8. Petrov B.P.; Stepanov A.D. - Elektriceskoe oborudovanie i avtomatizaciia elektriceskovo podvižnoĭ sostava - Gosenergoizdat Moscova - Leningrad 1963.
9. Richter R. Mașini Electrice. Vol.1. - Traducere din limba germană - Editura Tehnică. București-1958
10. Mayer M. Tiristoarele în practică (Traducere din limba germană - RFG) Editura Tehnică - București 1970.
11. Gouthiere J.; Gregoire J.; Hologne H. - Les hacheurs a thyristors en traction électrique. ACES - Revue Nr.2 - 1970.



12. Schilling W. - Thyristortechnik - München-Wien 1968.
13. I.C.P.E. - Echipament electric cu tiristoare pentru acționarea troleibuzului articulat. TV 2 EA - 1969.
14. I.C.P.E. - Temă de cercetare pentru "Echipament tiristorizat pentru tramvaiul TM-39". Varianta 600 V. - 1972.
15. I.C.P.E.+I.T.C.V.T.T. - Măsurători prototip vagon tramvai cu echipament de comandă tiristorizat. Timișoara-1973.
16. Lecorguillier J. - Les vannes électroniques à électrodes de déclenchement et leur applications. Dunod, Paris - 1966.
17. Bossi H.J.; Löcker H.; Winkler K. - Schaltungstechnik der gesteuerten traktionsstromrichter am wechsell- und Gleichspannungsfahrdraht. Bull.Schweiz Elektrotech. Ver - 1971 No.1.
18. Glazenko T.A. - Poluprovodnikovye preobrazovateli elektroprivodah postoiannovo toka. Izdatelstvo "Energhia" 1975.
19. KIEPE-ELEKTRIK - Beschreibung und Einstellanweisung der Kiepe - Impulssteuerung.
20. - S.C.R. Manual General Electric. 1964
21. Negreanu A. - Frecvența optimă la reglarea motoarelor serie de curent continuu prin lățimi de impulsuri de tensiune. Teză de doctorat. I.P.T. Timișoara - 1970.
22. Dembo A.P. și alții- Parametri sovremionix Tiagosih dvigatelei electrovozov i avtinomnih locomotivov. - Izdatelstvo "Nauca" - 1964.
23. Joffe A.B. - Tiagovil Electriceskio Maşini. Izdatelstvo "Energhia" - 1965.
24. Trettin C. - Wirbelstromdämpfung des Nutenfeldes in Dynamoankern. Mitteilung aus dem Dynamowerk der Siemens - S. A.G. - 1935.
25. Taylor - Improving commutation in d.c. machines. "Elec.Times" - 1970, 158 No.16.-

26. Lemberg A.Ia. - Raschet optimalnovo ostablenia polia tsiagovogo elektrodvigatelja teplovoza. "Izvestia vuzov. Elektromekhanika" №.5 1961.
27. Boldov N.A. și Stepanov A.D. - Teploelectriceskii podvignoi sostav. Izdatelstvo "Transport" Moscova 1968.
28. Uz.ELECTROPUTERE Craiova - Fișa de calcul a motorului GDTM-533.
29. Uz.ELECTROPUTERE Craiova - Buletin de încercare a motorului GDTM-533.
30. Institutul de Studii și Cercetări Transporturi "Indrumător calcule de tracțiune". București - 1970.
31. Negreanu A. - Sporirea posibilităților de utilizare a materialului rulant electric, prin slăbirea cîmpului inductor. Electrotehnica N.4 - 1973.
32. Popa A. și alții - Tracțiunea trenurilor. Editura Didactică și Pedagogică - București, 1965.
33. Dordea Toma - Mașini electrice. Editura Didactică și Pedagogică - București, 1970.
34. Nitschke E. - Referitor la comanda electronică a vagoanelor motor ale întreprinderii de transport cu tramvaie din orașul Stuttgart. "Technische Mitteilungen" No.1/1963.
35. Wagner Rudolf - Variator electronic de curent continuu pentru reglarea vitezelor vehiculelor electrice de tracțiune. Siemens Zeitschrift ianuarie 1964.
36. Damscher D., Costache N. și alții. - Comanda automată a transmisiei electrice la automotorul "23 August" Lucrările primului congres internațional al Federației Mondiale pentru comanda automată. Moscova 1960.
37. Finescu D.; Zaroni R. - Reglarea automată a instalației de forță a automotorului diesel CFR-501 cu ajutorul amplificatoarelor magnetice. Lucrările primului congres internațional al Federației Mondiale pentru comanda automată. Moscova 1960.

. / .

38. Munteanu G. - Calculul tracțiunii trenurilor și frâne automate. București E.D.P. - 1964.
39. Negreanu A. - Curs de locomotive și trenuri electrice. București E.D.P. 1964.
40. Müller S. - Elektrische Werkbahnlokomotiven mit Thyristorsteuerung. Siemens Z. 42(1968).
41. Wagner R. - Elektronischer Gleichstromsteller als Feldsteller für elektrische Maschinen. Siemens Z. 39 (1965).
42. --- - Manualul Inginerului Electrician vol.II. București, Editura Tehnică - 1954.
43. --- - Manualul Inginerului Electrician vol.VI. București, Editura Tehnică - 1958.
44. Cantemir L.; Opreșor M. - Tracțiune Electrică. București E.D.P. - 1971.
45. Mikloși C.; Sora C. - Tracțiunea Electrică. București E.D.P. 1961.
46. Negreanu A. - Locomotive și trenuri electrice. (notițe curs) - 1970.
47. Popa Al. - Cu privire la determinarea vitezelor de circulație a trenurilor de marfă. Bul. Institutului Politehnic București Nr.3 1965.
48. Popa Al. - Cu privire la determinarea tonajelor și vitezelor optime ale trenurilor de marfă remorcate cu locomotive diesel 060-DA. Buletinul Institutului Politehnic București No.6/1966.
49. Condacse N. - Locomotive electrice. București - 1966.
50. Piotrovski I.M. - Mașini Electrice, Editura Energetică de Stat 1953.
51. Zaharcenko D.D.; Šliahto P.N. - Podvijnoi sostav electriceskhih jelezniĥ dorog. - Tom.II. Moscova 1959.
52. Petrov B.P.; Stepanov D.D. - Electricescos obovudovanie i automatizaciia electricescovo podvijnovo sostava. Moscova 1963.
53. Romano Paul - Series chopper control system for rapid transit cars. Conf. Rec; IEEE Int.Semicond. Power convert. Baltimore 1972.

54. Jizongji Fshinasa; Ichimura Kenji, Ito Shoji - A power  
thyristor chopper. Tokyo Shibaura Electric  
Co. Ltd. Sept. 1972.
55. Löcker H. - Ein Thyristor mit vollleistungsfähiger  
Gleichstromsteller - Steuerung.  
Brown Boveri Mitteilungen No. 1 Januar  
1969.
56. Burdubuş Irina - Reglajul tensiunii maxime a generatorului  
pe locomotiva diesel electrică cec. de  
2100 CP. Revista căilor ferate Nr. 7 - 1970.
57. Străinescu I.; Florescu D.; Săndulache G. - Optimizarea  
unui sistem de reglare automată cu varia-  
tori de curent continuu cu tiristoare,  
folosite în tracţiunea urbană. Electro-  
tehnica No. 4 - 1974.
58. Hondius H. - 2100-PS dieselelektrische Lokomotiven der  
Baureihe 060 DA für die Rumänischen  
Staatsbahnen. Eisenbahntechnik Rundschau,  
II 1960., III 1960.
59. Cetin - Induktivität bei Gleich-, Wechsel-, und  
Mischstrom. Archiv für Elektrotechnik  
350 Hz 1965.
60. - Indrumatorul de cuploare și întreprinderea  
a locomotivei diesel electrice 060-DA.  
Centrul de documentare și publicații teh-  
nica a M.C.C.F. - București 1967.
61. Negreanu A. - Măsurarea inductivității diferențiale a  
motoarelor serie de curent continuu cu  
osciloscopul catodic. Sesiunea științifi-  
că a I.P.P.T. - Mai 1968.
62. Braşovan Mihai - Acționări electro-mecanice Hd. Didactică  
și Pedagogică - București 1967.