

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

Ing. GHIUR IOAN

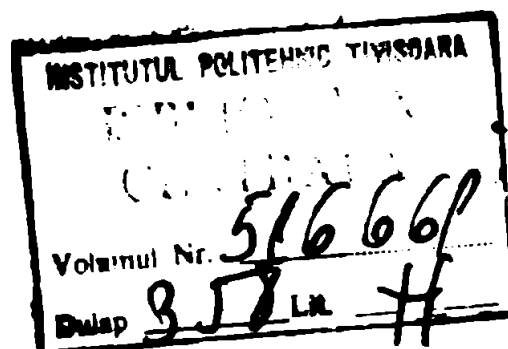
**ACTIUNEA ELECTRICA AUTOMATIZATA CU MASINI
LINEARE A TRANSPORTOARELOR DE MATERIALE**

Teză de doctorat

**CONDUCATOR STIINTIFIC
Prof. dr. ing. Servacia Eugen**

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

- Timișoara, 1966 -



CUPRINS

	Pag.
1. Introducere.....	1
2. Aspecte specifice propulsiei cu motoare liniare de mică viteză utilizate la sistemele de transport materiale.....	9
3. Aplicații ale mașinii liniare la acționarea electrică a trans- portoarelor de materiale.....	14
3.1. Considerații privind transportul de materiale, de mare ca- pacitate, realizat cu mijloace de transport convenționale, la noi în țară.....	14
3.2. Caracteristici ale sistemului de transport cu tremuri de va- goneti acționați cu motoare liniare.....	16
3.3. Sisteme de transport, vehiculare și manipulare cu acționare realizată cu motoare liniare.....	19
3.3.1. Transportor cu monoșină pentru sarcini individuale (linerail).....	20
3.3.2. Sisteme de transport cu peduri rulante acționate cu motoare liniare tip "Morrispac".....	22
3.3.3. Transportoare uzinale deservind linii tehnologice de fabricație.....	23
3.4. Sisteme de transport materiale de mare capacitate, formate din tremuri de vagoneti (gheaburi rulante) acționate cu motoare liniare.....	24
3.4.1. Sistemul de transport "Coulter roulant".....	25
3.4.2. Sistemul de transport "AMBZ".....	28
3.4.3. Concluzii.....	31
4. Calculul forței dezvoltate de mașina liniară asincronă și caracte- ristici mecanice.....	37
4.1. Motorul liniar asincron. Principiul de funcționare, efecte specifice.....	38
4.1.1. Efecte specifice motorului liniar.....	39
4.2. Oportunitatea supragunerii influenței efectelor specifice. Factorii de corecție pentru efectul transversal, efectul pelicular și dispersia în întrefier.....	42
4.2.1. Factorii de corecție pentru efectul transversal.....	43
4.2.2. Corecția de efect pelicular și dispersia în întrefier....	47
4.3. Calculul forței de propulsie la motorul liniar asincron unila- teral, utilizând o teorie unidimensională.....	48

4.3.1. Calculul expresiei forței de propulsie convenționale.....	48
4.3.2. Calculul forței de propulsie la mașina liniară asincronă ținând cont de efectul longitudinal.....	54
4.3.3. Elemente de calcul ale forței de propulsie la motorul liniar asincron considerând saturația indusului feromagnetic.....	62
4.4. Determinarea experimentală a caracteristicilor mecanice și a forței de propulsie la pornire a unor tipuri de mo- toare liniare. Compararea rezultatelor cu performanțele determinate analitic.....	66
4.4.1. Forța de propulsie la motorul liniar ML - 01.....	66
4.4.1.1. Determinarea experimentală a caracteristicii mecanice.....	66
4.4.1.2. Determinarea analitică a caracteristicii mecanice și compararea cu cea obținută experimental.....	71
4.4.2. Forța de propulsie la motorul liniar ML - 03.....	76
4.4.2.1. Determinarea experimentală a caracteristicii mecanice.....	76
4.4.2.2. Determinarea analitică a caracteristicii mecanice și compararea cu cea obținută experimental.....	81
4.4.3. Determinarea forței de propulsie la pornire a unui motor liniar considerând saturația indusului feromagnetic.....	85
4.5. Concluzii privind determinarea pe cale analitică a forței de voltare de motoarele liniare.....	91
4.6. Elemente de calcul optimal al unor parametri la motorul liniar asincron unilateral de viteză redusă.....	93
4.6.1. Considerații privind influența modificării unor parametri ai motorului liniar asincron unilateral asupra performanțelor acestuia.....	93
4.6.2. Criterii de proiectare optimală a motorului liniar asincron.....	99
4.6.2.1. Criteriul factorului de calitate.....	101
4.6.2.2. Criteriul maximului raportului forță de propulsie - putere absorbită.....	101
4.6.3. Calculul optimal al unor parametri ai motorului li- niar asincron folosind criteriul maximului raportului forță de propulsie - putere absorbită.....	102
5. Sistemul de transport material cu trenuri de vagoane acționate de motoare liniare realizat la IPSTIșiseara.....	114

5.1.	Actualitatea și importanța practică a abordării temei.....	114
5.2.	Sistemul de transport cu trenuri de vagoneti ecartament	
	600 mm, acționați cu motoare liniare ML - 02.....	117
5.2.1.	Prezentare generală.....	117
5.2.2.	Disponerea motoarelor liniare și automatizarea	
	sistemului de transport cu trenuri de vagoneti	
	ecartament 600 mm acționați cu motoare liniare	
	ML - 02 la stația pilot a IPTV Timișoara.....	119
5.2.3.	Experimentări efectuate privind funcționarea	
	sistemului de transport cu trenuri de vagoneti	
	ecartament 600 mm, acționați cu motoare liniare,	
	la stația pilot a IPTV Timișoara.....	125
5.2.3.1.	Experimentări în regim dinamic cu trenul	
	de vagoneti neîncărcat.....	125
5.2.3.2.	Experimentări în regim dinamic, în situa-	
	ția trenului cu 14 vagoneti încărcati	
	și 9 vagoneti neîncărcati.....	129
5.2.4.	Concluzii privind experimentările în regim dinamic	
	legate de performanțele sistemului de transport	
	ecartament 600 mm cu motoare liniare.....	130
5.3.	Sistemul de transport cu trenuri de vagoneti ecartament	
	1435 mm, acționați cu motoare liniare ML - 03.....	132
5.3.1.	Prezentare generală.....	132
5.3.2.	Determinarea experimentală a performanțelor mo-	
	toarelor liniare de propulsie ale sistemului de	
	transport ecartament 1435 mm.....	138
5.3.3.	Concluzii privind determinările experimentale a	
	performanțelor sistemului de transport format din	
	vagoneti ecartament 1435 mm, acționați cu motoare	
	liniare.....	143
6.	Elemente de automatizare ale sistemului de transport cu trenuri	
	de vagoneti acționați cu motoare electrice liniare.....	148
6.1.	Problematika automatizării sistemului de transport cu	
	motoare liniare.....	148
6.2.	Traductorul de proximitate de tip inductiv.....	149
6.2.1.	Principiul de realizare al traductorului de proximitate..	150
6.2.2.	Schema bloc, schema de principiu, funcționarea	
	traductorului.....	151
6.2.3.	Considerații privind blocul oscilator.....	156
6.2.4.	Experimentări, forme de ancă, reglaje.....	158
6.2.5.	Eficiența economică și concluzii.....	159

6.3. Traductorul liniar de viteză.....	159
6.3.1. Principiul de funcționare, schema bloc.....	160
6.3.2. Realizare practică.....	163
6.3.3. Experimentări, oscilogramme.....	168
6.4. Asigurarea securității traficului la sistemele de transport materiale cu motoare liniare.....	172
6.4.1. Asigurarea distanței de securitate între două trenuri succesive.....	172
6.4.2. Protecția în cazul ruperii trenului (a cuplajului dintre vagoanelor).....	173
6.5. Considerații privind posibilități de soluționare a unor probleme de automatizare ale sistemelor de transport cu motoare liniare.....	175
7. Calculul tehnico-economic a vehiculării unei cantități de material impuse în varianta sistemului de transport cu motoare liniare sau folosind camioane de mare capacitate, la un traseu concret din cariera Anina.....	178
7.1. Prezentare generală.....	178
7.2. Asigurarea capacității de transport prescrise folosind sistemul de transport cu trenuri de vagoanelor acționati cu motoare liniare.....	179
7.2.1. Calculul consumului specific de energie și al costului specific al transportului la sistemul analizat.....	179
7.3. Asigurarea capacității de transport prescrise folosind sistemul de transport material cu camioane de 50 t.....	184
7.3.1. Calculul costului specific al transportului.....	185
7.3.2. Calculul consumului specific de energie.....	185
8. Concluzii generale.....	187
Bibliografie.....	192

1. INTRODUCERE

Îndeplinirea pe plan superior a prevederilor Programului partidului de făurire a societății socialiste multilateral dezvoltate, obiectiv fundamental al cincinalului 1987 - 1991, se concretizează prin creșterea și modernizarea forțelor de producție, pe baza afirmării cu putere a revoluției tehnico-stiințifice, prin realizarea unei noi calități în toate domeniile de activitate. Creșterea economică realizată în actualul cincinal reprezintă expresia unui model de dezvoltare, care integrează în mod armonios analiza științifică asupra stadiului atins în dezvoltarea economiei naționale și o viziune realistă privind noile fenomene apărute în economia mondială, în special implicațiile prelungirii crizei de materii prime și energetice. În acest context, obiectivul strategic stabilit de Congresul al XII - lea al PCR, ca în viitorul deceniu țara noastră să devină independentă din punct de vedere al combustibililor și energiei, implică realizarea integrală a prevederilor în domeniul dezvoltării bazei energetice, recunoscându-se aportul substanțial pe care-l vor avea în producerea energiei electrice utilizarea cărbunilor și a șisturilor bituminoase. Astfel, în 1990, energia electrică produsă pe bază de cărbune și șisturi va reprezenta 25% din întreaga producție de energie la nivel național.

Activitatea aferentă deschiderii unei noi cariere pentru exploatarea, la suprafață, a cărbunilor și șisturilor bituminoase, implică lucrări care să asigure accesul la zăcămint (așa numita descoperțare), lucrări în urma cărora o mare cantitate de material steril trebuie evacuat. Pe de altă parte, materialul util (cărbunul sau șistul) trebuie transportat, în cantități mari, din carieră în incinta termocentralei, uneori pe distanțe apreciabile. Așadar, procesul de transport aferent vehiculării unor cantități considerabile de material caracteristic exploatărilor de combustibil solid este o verigă extrem de importantă în tehnologia de producție a energiei electrice, ea asigurând în ultimă instanță, cantitatea de combustibil necesară funcționării termocentralei la parametrii optini.

Procesul de transport mențit mai sus trebuie să îndeplinească următoarele cerințe:

- să asigure o capacitate mare de transport
- să fie continuu
- să fie fiabil
- să fie eficient din punct de vedere al costului specific și al consumului specific de energie.

Ținând cont de cerințele susamintite, în transportul de materiale specifice exploatării combustibililor solizi (steril, cărbune, ist) s-a impus, cu precădere, la noi în țară, două sisteme de transport de mare capacitate, constituind categoria aqa numitelor sisteme de transport clasice sau convenționale :

1) Transportul cu camionne de mare capacitate (40 și 100 t), care prezintă avantajul unei mari mobilități, putând urmări ușor frontul de lucru al excavatorului din carieră. Sistemul are o serie de dezavantaje, care indică tot mai acut problema înlocuirii sale cu un alt sistem de transport, care să fie mai eficient: consum mare de motorină, cheltuieli mari de exploatare (cauciucuri, piese de schimb), consum de energie la mers în gol.

2) Transportul cu benză de cauciuc, care prezintă avantajul unei continuități a procesului de transport; se pot menționa însă următoarele aspecte dezavantajoase: nu se pot transporta materiale cu granulație grosieră, cost ridicat al covorului de cauciuc, a cărui realizare necesită completări din import, sistemul se defectează des, îndeosebi datorită ruperii covorului de cauciuc, nu se pot înscrie în curbe în plan orizontal.

În afară de aceste două sisteme, folosite îndeosebi la vehicularea materialelor în cadrul carierelor, ar mai putea intra în discuție și transportul pe cale ferată, mai ales pe magistralele suficient de lungi pe care se transportă combustibilul solid la termocentrale. Sistemul este fiabil, robust și necesită cheltuieli de exploatare scăzute, dar solicită o amănunțită consistență a solului, trasee cu declivități mici și investiții mari pentru locomotive, stații, cale, vagoane.

Având în vedere aspectele menționate, s-a impus ca necesară abordarea unor sisteme de transport materiale cu un caracter neconvențional, care să rezolve într-un mod eficient problema vehiculării unor cantități mari de material în condiții de fiabilitate ridicată, continuitate, consum specific scăzut de energie și cost specific scăzut al transportului.

Dintre sistemele de transport neconvenționale de mare capacitate, care prezintă o serie de avantaje certe în raport cu altele, tot de factură neconvențională (transport cu funicularul sau sistemul de transport materiale containerizat), s-a impus sistemul de transport cu trenuri de vagoneti acționați cu motoare electrice liniare. Aplicarea eficientă, pe plan mondial, al acestui sistem de transport (îndeosebi în Franța) a determinat, și la noi în țară, formarea unor colective de cercetare, care să studieze posibilitatea aplicării motorului liniar în domeniul transportului minier de mare capacitate.

La Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timisoara, Facultatea de Electrotehnică, cercetările privind studiarea preabilității și eficienței sistemului de transport minier cu trenuri de vagoneti acționați cu motoare liniare asincrone a dedarat încă din anul 1966, odată cu realizarea unor modele

experimentale de propulsie cu inductor liniar unilateral, testate în laboratoarele facultății.

În anul 1972 se proiectează stația pilot de transport material cu trenuri de vagoneti ecartament 600 mm acționați cu motoare liniare, etapă la care a participat și autorul prezentei lucrări, în cadrul cercului de cercetare științifică studentească. Această stație pilot a fost pusă în funcțiune în anul 1975, fiind primul sistem de transport material cu motoare liniare de la noi din țară, testat la nivelul unei linii experimentale cu lungimea de 74 m, prevăzut cu motoare liniare de propulsie de tip MI-02 și cu două stații de descărcare, torsională și elicoidală.

Prezentat conducerii superioare de partid și de stat, sistemul de transport material cu motoare liniare a fost remarcat ca fiind una din soluțiile potențiale pentru rezolvarea transportului de mare capacitate, apreciindu-se aplicarea cu succes a sistemului îndeosebi în domeniul exploatărilor de suprafață și recomandându-se în acest sens continuarea cercetărilor pînă la definitivarea soluțiilor ce se vor aplica la scară industrială. În această idee, prin nota primită de IPTVT de la Cancelaria Comitetului Central al Partidului, se recomandă ca, printre altele, cercetările în domeniul motorului liniar aplicat la transportul minier să constituie o sarcină prioritară pentru Institutul Politehnic Timișoara.

În vederea implementării cât mai rapide a sistemului de transport cu motoare liniare în exploatarea industrială, în urma unor studii și calcule de eficiență și evaluare a posibilităților de execuție, s-a ajuns la concluzia necesității realizării primului tronson cu caracter industrial experimental al sistemului analizat la cariera de ăsturi bituminose de la Anina, sistemul de transport cu motoare liniare putînd să rezolve într-un mod eficient din punct de vedere economic problema vehiculării unei mari cantități de steril, actuala soluție de transport, cea cu autocamioane, nereușind să asigure întreaga capacitate de transport necesară datorită unor aspecte dezavantajoase care au fost menționate mai înainte.

În această idee, în anul 1983 a fost realizată și pusă în funcțiune, tot în incinta stației pilot a IPTVT, prima linie experimentală de transport cu trenuri de vagoneti ecartament 1435 mm acționați cu motoare liniare MI-03, care, caracterizată printr-o mare robustețe și fiabilitate, să poată prelua și vehicula în condiții optime granulatia grosieră a sterilului din carieră.

În urma experimentărilor efectuate asupra acestui sistem de transport, s-au putut determina parametrii și performanțele care stau la baza proiectării și ulterior a realizării tronsonului industrial din cariera de ăsturi bituminose Anina sau din orice carieră cu caracteristici asemănătoare.

La data de 18.03.1985, cu ocazia ședinței de avizare a lucrării "Studierea, cercetarea și experimentarea unor noi sisteme de transport în cari-

ora de sisturi bituminoase -Anina- motor liniar", desfășurată la Consiliul Tehnico - economic al Ministerului Minelor, în prezența tov. ministru adjunct al minelor, secretar de stat, au fost avizate favorabil lucrările de cercetare, proiectare și execuție prototipuri, realizate sub coordonarea Institutului Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, legate de abordarea noilor și complexelor elemente și fenomene ce caracterizează transportul cu motoare liniare. Pe baza avizelor favorabile primite din partea unor beneficiari potențiali (Combinatul Minier Valea Jiului Petroșani și Intreprinderea Minieră de Exploatare a Sisturilor Bituminoase Anina), Ministerul Minelor consideră oportună implementarea la nivel industrial al sistemului de transport cu motoare liniare, propunând ca utilajele necesare acestei etape să fie asimilate în cadrul unor unități din Ministerul Industriei Construcțiilor de Mașini. În cadrul "Programului de mecanizare, automatizare complexă și robotizare" pentru Ministerul Minelor, program ce va fi preluat de NICH, se va prevedea o teză pentru realizarea unui sistem de transport acționat cu motoare liniare, aplicabil în diferite condiții de exploatare specifice carlororlor, vizând în final automatizarea complexă a acestui sistemului, prin aceasta, ridicarea considerabilă a productivității muncii în domeniul vehiculărilor de materiale.

Teza de doctorat ce urmează a fi prezentată abordează o parte din rezultatele activității de cercetare desfășurate de autor în domeniul sistemelor de transport materiale cu motoare liniare, activitate începută din anii studenției, continuată apoi, fără întrerupere, din anul 1970. Ea cuprinde rezultatele unor cercetări privind posibilitatea estimării teoretice a forței de propulsie dezvoltată de motorul liniar asincron, pe baza unui model analitic de calcul care, fără a neglija aspectele legate de manifestarea unor fenomene specifice mașinii liniare, să ofere un instrument de calcul relativ simplu și eficient a caracteristicilor mecanice a motoarelor liniare. Se va ține cont în acest calcul de unele date constructive și de material ale motorului, precum și de o variație reală a unor parametri ai motorului, indicați de constructor.

În lucrare se face și o sinteză critică a principalelor sisteme de transport de tip convențional folosite la ora actuală la noi în țară pentru vehicularea unor cantități mari de material, se prezintă caracteristicile cele mai importante ale sistemelor de transport cu motoare liniare, și se face prezentarea principalelor date tehnice privind două dintre sistemele de transport de mare capacitate cu motoare liniare realizate în RFG și Franța. Se tratează apoi aspectele specifice concrete a două variante constructive autohtone ale susnumitului sistem de transport, realizate și testate la stația pilot a IPTVT cu participarea efectivă a autorului lucrării. Se evidențiază o serie de particularități constructive, se prezintă și se prelucreză rezultatele experimentărilor și se fac recomandări privind posibilități ulterioare de optimizare a

performanțelor sistemelor de transport analizate. Dată fiind preabilitatea acestor sisteme la o automatizare aproape totală, în lucrare, autorul abordează problema realizării a două elemente esențiale ale procesului de automatizare: traductorul de proximitate de tip inductiv și traductorul liniar de viteză, făcându-se și o prezentare sintetică a posibilităților de rezolvare a altor probleme ale automatizării sistemului. În finalul lucrării, printr-un calcul de aplicare al sistemului de transport cu motoare liniare pentru situația unui traseu concret și a unei capacități de transport date dintr-o carieră, autorul va argumenta, prin indicii de eficiență economică net superioare celor ce caracterizează sistemele de transport convenționale, interesul justificat privind abordarea tezei de studiu.

Teza este structurată pe 8 capitole.

În cap. 2 se prezintă o serie de aspecte specifice propulsiei liniare de mică viteză ($V_{\text{sincron}} < 10 \text{ m/s}$), domeniu în care se încadrează și sistemele de transport materiale ce urmează a fi studiate. Se menționează modalitatea de manifestare a efectului longitudinal de capăt și la viteze mici, rolul important al sistemului de rulare roată-cină, cu toate că în această situație forța de propulsie dezvoltată depinde de aderență, etc.

În cap. 3, după o prezentare critică a caracteristicilor avantajoase și dezavantajoase ale principalelor sisteme de transport materiale de mare capacitate de tip convențional autohtone și evidențierea aspectelor în majoritate avantajoase ale sistemelor de transport cu motoare liniare, autorul tratează câteva aplicații tipice ale acestor sisteme de transport la vehiculări de materiale, unele cu caracter uzinal, ^{altele de mare capacitate} realizate cu trenuri de vagoșe acționate cu motoare liniare (sistemele din RFG și Franța).

În cap. 4 autorul abordează problema găsirii unui model analitic de calcul a forței de propulsie dezvoltată de motorul liniar asincron, ținând cont de manifestarea unui singur efect dominant (în cazul de față, cel longitudinal), celelalte efecte fiind luate în considerare prin coeficienți de corecție calculați prin studiul separat al acestor fenomene. Pe baza unei teorii unidimensionale, autorul calculează expresia așa zisei forțe de propulsie convenționale (cea care ar fi dezvoltată de motorul liniar în absența efectelor specifice acestuia). Folosind o teorie tehnică a efectului longitudinal, se pun în evidență unele efecte longitudinale de capăt, efectuându-se o analiză calitativă și cantitativă a efectului acestor unde asupra forței de propulsie rezultante a motorului liniar. Se determină experimental caracteristicile mecanice a unor tipuri realizate de motoare liniare și se compară rezultatele cu performanțele determinate analitic. Se abordează în finalul acestui capitol, problema calculului optimal al unor parametrii la motorul liniar AL-03, folosind criteriul maximului raportului forță de propulsie - pierdere absorbită.

Cap. 5 cuprinde prezentarea celor două sisteme de transport cu motoare liniare realizate la stația pilot a IPTVT: cu ecartamentele 600 mm și 1435 mm. Se dau detalii privind construcția, funcționarea și alimentarea cu energie a sistemelor de transport menționate, se descriu experimentările în regim dinamic și se prezintă performanțele obținute, evidențiindu-se îndeosebi consumul specific redus de energie al sistemelor studiate. În finalul capitolului se prezintă concluzii critice privind posibilitățile de îmbunătățire a performanțelor sistemelor de transport testate.

În cap. 6 autorul prezintă principalele probleme pe care trebuie să le rezolve automatizarea sistemului de transport cu motoare liniare, insistând în special asupra realizării a două elemente ale procesului de automatizare: traductorul de proximitate de tip inductiv și traductorul liniar de viteză. Se prezintă, sintetic, o modalitate de rezolvare a altor probleme ale automatizării sistemului de transport: încărcarea secvențială, vagonet cu vagonet, a trenului și asigurarea distanței de securitate dintre trenurile de vagoneti.

Cap. 7 cuprinde un calcul concret al unui sistem de transport cu motoare liniare, în condiții de carieră având impuse traseul și capacitatea de transport. Se calculează numărul total de motoare liniare de propulsie, diagrama de mers, investițiile, consumul specific de energie și costul specific al transportului. Se compară acești indici de eficiență economică cu cei caracteristici sistemelor clasice de transport (camioane), pentru aceeași aplicație concretă, evidențiindu-se avantajele certe ale sistemului cu motoare liniare.

În capitolul 8 se prezintă concluziile generale ale lucrării.

Contribuțiile originale aduse de autor, legate de activitatea de cercetare desfășurată la tematica ce constituie obiectul prezentei lucrări, sînt următoarele:

- Analiza critică comparativă a avantajelor și dezavantajelor prezentate de sistemele de transport convenționale antohtone de material, în raport cu cele acționate cu motor liniar.

- Aport monografic, constînd dintr-o prezentare selectivă a unora din cele mai de seamă aplicații ale motorului liniar la sistemele de transport, vehiculare și manipulare de material, de capacități mici, cu selecționarea unor soluții tehnice ce pot avea și alte aplicații potențiale.

- Prezentarea în detaliu a două sisteme de transport material de mare capacitate, justificînd astfel, prin eficiența economică certă, testată, a acestora, necesitatea conceperii și realizării unui astfel de sistem la nivel industrial și la noi în țară.

- Aport monografic, în sensul selectării și ordonării elementelor necesare stabilirii modelului matematic de calcul a forței de propulsie

dezvoltate de motoarele liniare, pe baza unei bogate bibliografii.

- Stabilirea expresiei forței de propulsie convenționale pe baza unui model matematic unidimensional și luarea în considerare a forțelor efectului longitudinal de capăt la intrarea sub inductor al unui indus segmentat (tren de vagoneti) și în situația unor viteze scăzute (4-6 m/s).

- Explicarea calitativă a influenței efectului longitudinal de capăt la intrare asupra forței de propulsie a motorului liniar, în situația unui indus discontinuu (segmentat) la alunecări mari ($\alpha=0,3 - 0,5$).

- Contribuții privind aplicarea rezultatelor teoretice obținute la calcule concrete, privind tipuri constructive date de motoare liniare și verificarea experimentală a rezultatelor obținute prin calcule.

- Conceperea unor părți constructive și calculul acționării stației pilot de testare a performanțelor sistemului de transport cu motoare liniare ecartament 600 mm.

- Contribuții la montarea, echiparea, realizarea instalației electrice și punerea în funcțiune a stației pilot pe actualul amplasament.

- Conceperea și realizarea bazei experimentale, a schemelor, montajelor și a înzestrării tehnice necesare obținerii unor testări concludente ale sistemelor de transport realizate.

- Evidențierea experimentală a posibilității de îmbunătățire a performanțelor la pornire ale motoarelor liniare EL-02 și EL-03 prin folosirea, pentru alimentarea acestora, a unor surse de frecvență variabilă și a unor tipuri constructive diferite de indusuri.

- Analiza critică a realizării practice a trenului de vagoneti ecartament 1435 mm, cu considerații privind îmbunătățirea și reconsiderarea unor detalii constructive, pentru definitivarea unei variante industriale optime.

- Deducerea unei metode de calcul optimal a unor parametrii ai motorului liniar, cu scopul obținerii de performanță energetică superioară.

- Realizarea și testarea traductorului liniar de viteză.

- Realizarea și testarea traductorului de proximitate de tip inductiv.

- Conceperea unor soluții originale privind comanda secvențială automată a încărcării vagonetilor și a menținerii spațiului de securitate între două trenuri succesive.

- Punerea la punct a unui algoritm de calcul pentru un sistem de transport cu motoare liniare, în situația unui traseu concret și a capacității de transport date.

Majoritatea rezultatelor cercetării din domeniul abordat de anterior au fost materializate sub forma contractelor de cercetare științifică, încheiate cu institute de cercetare și inginerie tehnologică, având ca profil lucrări

crări de construcții din industria minieră (I.C.I.T.P.L.C.I.L. Iova) sau activitate de proiectare privind extracția lignitului (I.C.I.T.P.M.L. Craiova). De asemenea, prin intermediul institutului susmenționat de la Craiova, s-a realizat colaborarea contractuală cu Intreprinderea Minieră de Exploatare a Sistemelor Bituminoase de la Anina, privind definitivarea bazei experimentale a realizării tronsonului industrial cu caracter experimental din această carieră.

X

X X

Elaborarea acestei lucrări s-a făcut sub îndrumarea permanentă și generoasă a conducătorului științific, prof. dr. ing. Eugen Seracin, cărui autorul îi aduce și pe această cale respectuoase mulțumiri. Îndrumarea atență de care a beneficiat autorul, atât în activitatea de cercetare științifică, cât și în cea de elaborare a tezei, a fost deosebit de utilă în formarea sa profesională.

Autorul mulțumește de asemenea, tov. dr.ing. Arsene Rădoi, pentru întregul sprijin acordat și colaborarea deosebit de rodnică în domeniul cercetărilor privind sistemele de transport neconvenționale cu motoare liniare.

Tuturor colegilor aparținând colectivelor de Electrotehnică și Instalații Electrice, precum și Electroenergetică, care l-au sprijinit sub diferite forme și l-au încurajat pe toată durata elaborării tezei, autorul le adresează calde mulțumiri.

2. Aspecte specifice propulsiei cu motoare liniare de mică viteză utilizate la sistemele de transport materiale

Sistemele de propulsie cu motoare electrice liniare s-au dezvoltat în general în două mari direcții:

1) Sisteme de transport de mare viteză, în categoria cărora intră vehiculele la care se evită limitarea de viteză impusă de fenomenul de aderență caracteristic contactului clasic roată-cină prin sustentatie (pernă) magnetică, realizându-se, prin propulsie cu motoare electrice liniare alimentate cu tensiuni de frecvențe ridicate, viteze de deplasare de 250-500 km/h. Acest domeniu de viteză, situat între limitele superioare de viteză atinse pe calea ferată și cele inferioare atinse cu avioanele, se aplică la transportul de călători, fiind rentabil în special în situația transportului suburban ($V_{\max} = 200 - 300$ km/h) sau interurban, pe rute de 750 - 1200 km, cu $V_{\max} = 300 - 500$ km/h, acolo unde traficul este deosebit de intens impune acest lucru. În aceste condiții, aspectele dezavantajoase ale sistemului de transport pe pernă magnetică și motor liniar de propulsie, cum ar fi prețul relativ ridicat al convertizoarelor statice de frecvență necesare alimentării motoarelor liniare și a căii-estacadă prevăzută cu indusul în diferite variante, consumul suplimentar de energie pentru asigurarea puterii active de control la amortizoarele electrice active ale oscilațiilor în regim dinamic, realizarea bobinelor supraconductoare, cu întreaga instalație de refrigerare și consum de energie suplimentar la sistemele electrodinamice de levitație, realizarea sistemului de menținere și control automat al întrefierului (pernei magnetice) extrem de complex, asigurarea sistemelor de securitate în caz de avarii, etc., sînt compensate de avantajele pe care le oferă aceste sisteme: acoperă necesitățile unui trafic intens de călători în zonele suburbane și urbane, demaraj rapid pe orice vreme, absența poluării, silențiozitate, sollicitări reduse în cale, a cărei întreținere se reduce sensibil, asigurarea unui grad sporit de confort în timpul călătoriei, etc.

2) Sistemele de transport de mică viteză, în categoria cărora intră sistemele de transport materiale (benzi transportoare continue sau discontinue, formate din tremuri de vagoaneți), precum și sisteme de transport vehiculare și manipulare cu acționare liniară întâlnite în industrie sau în alte domenii (pompe de metal lichid, elemente modulare de transport usinale, grinzi rulante cu motoare liniare, sisteme de întindere a tablelor de aluminiu, etc.).

Din categoria aplicațiilor în domeniul propulsiei de mică viteză, folosirea motorului liniar la acționarea sistemelor de transport materiale

cu benzi discontinue (tronuri de vagoneti) se impune ca deosebit de eficiență, datorită avantajelor date pe care le prezintă în raport cu celelalte mijloace neconvenționale de transport materiale.

Avantajul esențial al oricărui sistem de propulsie cu motor liniar în raport cu sistemele acționate cu motor rotativ este faptul că în urma interacțiunii utile dintre câmpul magnetic inductor și curenții secundari induși, partea mobilă a motorului, (indusul), supusă acțiunii forței electromagnetice, suferă o deplasare direct liniară, nemaifiind necesară transmiterea mecanică, ce caracterizează sistemele de propulsie cu motoare rotative. Rezultă deci o simplificare a lanțului cinematic, crește fiabilitatea și scade prețul de cost.

Sistemele de transport cu motoare liniare de mică viteză, rulează pe roți, existând contactul direct roată-șină. În această situație, pentru a avea rezistențe specifice la înaintarea vehiculului cât mai mici, deci consumuri specifice de energie cât mai reduse, trebuie asigurată geometria optimă roților de rulare, existența unei racordări cu o anumită rază de curbare între bandașul roții și buza bandașului fiind o condiție esențială în vederea asigurării unei suprafețe de contact minime (teoretic punctiforme) între roată și capul șinei. Astfel se asigură frecări minime între cele două părți aflate în mișcare una față de cealaltă. Pe de altă parte, trebuie asigurată și o întreținere corespunzătoare a sistemului de rulare în timpul exploatarei.

Sistemele de transport clasice, bazate pe fenomenul de aderență, se caracterizează printr-o greutate relativ mare a vehiculelor, condiție impusă de aderență. Rezultă o creștere importantă a consumului specific de energie (kwh/t km de material transportat).

La sistemele de transport cu motoare liniare de mică viteză, deci deplasarea se face pe roți, dezvoltarea forței de tracțiune nu depinde de aderență, ci numai de interacțiunea câmp inductor-curenți induși. În situația în care indusul este fixat la partea inferioară a unor vagoneti, roțile de rulare asigură doar mobilitatea indusului care, dacă inductorul liniar este asincron, se va accelera, independent de aderență, până la o viteză corespunzătoare alunecării nominale. Deci viteza de deplasare a indusului depinde doar de "alunecarea" relativă ce există între câmpurile inductor, respectiv indus, întreg sistemul inductor liniar - indus comportându-se ca o crană electrică electromagnetice. Viteza de deplasare a unei câmpului magnetic inductor depinde de pasul polar al motorului liniar, dat constructiv, precum și de frecvența de alimentare. Rezultă deci posibilitatea de reglare a vitezei motorului liniar prin modificarea frecvenței sursei ce asigură alimentarea inductorului.

Legat de aspectul modificării performanțelor motorului liniar odată cu modificarea frecvenței de alimentare, cercetările efectuate în labora-

toarele reacții de electrostatică au evidențiat creșterea substanțială a forței de propulsie în special la alunecări mari (îndeosebi la pornire), în situația alimentării inductorului liniar de la surse de tensiuni și frecvențe scăzute, cum ar fi cicloconvertorul static de frecvență sau convertizorul rotativ, și a folosirii indușului tip colivie. Acest fenomen, provocat de absența, la alunecările respective, a efectului transversal (efect specific motorului liniar, ce se va trata în capitolul următor), precum și de scăderea întrefierului magnetic prin dispunerea barelor conductoare în creștături fresate în placa induș, este utilizabil îndeosebi în situațiile în care se necesită vehicularea unor sarcini considerabile la viteze de deplasare mici cum ar fi de exemplu stațiile de încărcare ale trenurilor de vagoaneți cu acționare liniară (soluție de altfel adaptată la sistemul de transport francez, unde motoarele liniare aferente stațiilor de încărcare se alimentează la frecvențe ^{scăzute} de la cicloconvertoare statice, permițându-se și o umplere favorabilă a vagoanelor la vitezele scăzute de rulare ale acestora).

Referitor la aspectul performanțelor motorului liniar la frecvențe de alimentare scăzute, se menționează că paralel cu creșterea forței de propulsie la alunecări mari, se evidențiază și o înrăutățire sensibilă a unor parametri energetici, cum ar fi randamentul și factorul de putere. Așadar, eficiența de aplicare a metodei se va studia pentru fiecare caz în parte.

Forța de tracțiune a sistemelor cu tracțiune liniară nedepinzând de aderență, aceste sisteme de transport se pot utiliza și în condiții de teren accidentat, elementul mobil (trenul de vagoaneți) putându-se deplasa și pe trasee cu declivități ridicate, chiar peste 200 ‰, situație imposibilă la mijloacele clasice de transport material (bensile transportoare sau calea ferată). Independența de aderență a forței de propulsie implică o cale de rulare relativ simplă și ieftină, care nu necesită amenajări speciale și costisitoare de infrastructură. Vitezele de deplasare fiind relativ scăzute, nu apar solicitări dinamice deosebite la elementul mobil și cale, rezultând cheltuieli de întreținere scăzute ale căii.

Tot ca urmare a posibilității de adaptare la orice profil de teren a sistemului de transport cu motoare liniare, în situația alegerii unui traseu convenabil, sistemul de transport (trenul încărcat) se poate accelera gravitațional, coborînd pantele cu declivități negative, energia astfel acumulată determinînd posibilitatea străbaterii unor distanțe apreciabile fără motoare de propulsie și consum de energie. Dacă totuși aceste zone sînt prevăzute cu motoare liniare, accelerarea gravitațională a trenului (a indușului) peste viteza sincronă a motorului permite stabilirea unui regim de frînare cu recuperare de energie a sistemului de transport.

Vitezele de rulare fiind relativ scăzute, nu apar probleme deosebite privind transferul de energie (captarea curentului) de la linia de contact

la vehicolul prevăzut cu motorul liniar de propulsie (aspect confirmat de fiabilitatea ridicată, din acest punct de vedere, a sistemelor de transport uzinale tip monoșină).

În situația celor mai eficiente aplicări ale sistemelor de transport cu motoare liniare de mică viteză, și anume la vehicularea unor cantități mari de material pe distanțe relativ lungi (8 - 10 km) cu ajutorul trenurilor de vagoane de lungimi variabile, conectarea motoarelor liniare se face automat, numai atunci când trenul acoperă complet suprafața inductoarelor. Elementul de automatizare care asigură această cuplare este un traductor de proximitate de tip inductiv, montat sub tren, în zonele active (cele prevăzute cu motoare de propulsie). Același traductor decuplează, automat, motorul liniar în momentul în care trenul (indusurile) i-au părăsit suprafața. Această cuplare automată a inductoarelor are două consecințe:

- Motoarele fiind cuplate numai în prezența trenului, scade considerabil consumul specific de energie al sistemului de transport.

- Regimul de funcționare al modulelor de propulsie constituite din motoare liniare este intermitent. Acest regim are implicații importante privind reducerea puterii aparente totale maxime care trebuie realizată pentru întreaga instalație, deci la dimensionarea și alegerea transformatoarelor de alimentare (6/0,4 kV), această putere aparentă fiind direct proporțională cu \sqrt{DA} , unde DA este durata relativă de conectare a unui motor liniar. Conectarea intermitentă determină de asemenea, o mai puțin pronunțată încălzire a motorului, intervalul de conectare în sarcină urmându-i un considerabil interval de deconectare, în care motorul poate evacua o parte din căldura acumulată în timpul cuplării.

Sistemele de propulsie cu motoare liniare de mică viteză se alimentează în general de la rețea ($U = 380V$, $f = 50Hz$). Alimentarea de la rețea prezintă avantajul accesibilității surselor și a folosirii unei aparaturi standardizate de us curent, (380V, 50Hz). De asemenea, s-a constatat experimental că prin alimentarea inductoarelor de la rețeaua industrială, forța de propulsie dezvoltată de un indus tip placă fier - placă cupru (aluminiu) este considerabil mai mare decât la indusul tip colivie, rezultând o mai ușoară fezabilitate a indusurilor și un pret de cost mai redus. Viteza sincronă a motorului liniar depinzând direct proporțional cu frecvența de alimentare, rezultă la 50Hz o viteză de deplasare relativ mare a sistemului de transport, deci o productivitate ridicată. Aspectul dezavantajelor al alimentării motoarelor la joasă tensiune (380V) este valoarea ridicată a curenților absorbiți, care pot atinge sute de amperi. Aceste valori implică o supradimensionare a aparaturii de conectare a motoarelor (separatoare, întrerupătoare, contactoare, rele termice, etc.), precum și a secțiunii cablurilor de alimentare, toate acestea având repercusiuni asupra pretului de cost a instalației elec-

trice, care crește. De asemenea, asigurarea unei densități admisibile de curent în înfășurarea motorului liniar se face prin realizarea acestuia cu conductoare profilate, izolate cu fibă de sticlă.

Folosirea unor surse de frecvență redusă se impune în situația în care masele vehiculate sînt considerabile sau se vehiculează material în zone cu declivități sporite (panta cu $i > 50\%$), fiind necesară asigurarea unei forțe de propulsie substanțială de către motoarele liniare. Forța dezvoltată la pornire de o unitate de propulsie creștînd cu scăderea frecvenței de alimentare, scade numărul acestora pe unitatea de lungime a traseului, scad investițiile în echipament electric și, corespunzător, costul specific al transportului ar tinde să scadă. Această situație implică însă asigurarea convertizoarelor statice sau rotative de frecvență sau a cicloconvertoarelor, care sînt scumpe, se complică fezabilitatea indusului în colivie, iar aparatura de forță trebuie adaptată noii frecvențe de alimentare (în special transformatoarele și condensatoarele de compensare a factorului de putere). Așadar, soluția privind sursa de alimentare a motoarelor liniare trebuie aleasă cu mult discernămint, făcîndu-se un studiu de optim, în care să se țină cont de toți factorii tehnici, economici și de productivitate care intervin.

La sistemele de transport, vehiculare și manipulare de material cu caracter uzinal, puterile instalate fiind relativ mici, variația de viteză a elementului mobil se poate face eficient modificînd valoarea tensiunii de alimentare a inductorului liniar:

Datorită întrefierului mecanic relativ mare al motorului liniar asincron, caracteristic aplicațiilor de mică viteză (în cazul aplicațiilor la sisteme de transport cu trenuri de vagoneti, întrefierul nu se poate reduce sub 6 mm din considerente mecanice, determinate de imperfecțiunile constructive privind planeitățile cîi și ale trenului), factorul de putere este scăzut, avînd valori de maximum 0,4. Acesta trebuie neapărat compensat, procedeu realizat de cele mai multe ori cu ajutorul bateriilor de condensatoare. Rezultă creșterea investițiilor suplimentare în echipamentul electric aferent sistemului de transport cu motoare liniare.

Avînd în vedere faptul că utilizarea la sistemele de transport material de mare capacitate reprezintă cea mai eficientă și semnificativă aplicație a motoarelor liniare de mică viteză, se va face în continuare o prezentare critică a sistemelor clasice (convenționale) care asigură în prezent vehicularea unei cantități mari de material la noi în țară. Se vor menționa apoi, caracteristicile sistemului de transport cu motoare liniare, evidențîndu-se aspectele lor avantajoase în comparație cu sistemele clasice de transport.

3. APLICATII ALE MASINII LINIARE LA ACTIUNEA ELECTRICA

A. TRANSPORTUL MASINILOR DE MATERIALE

3.1. Considerații privind transportul de materiale, de mare capacitate, realizat cu mijloace de transport convenționale la noi în țară.

Procesul de transport materiale, caracterizat prin vehicularea unei cantități mari, trebuie să satisfacă următoarele cerințe:

- să asigure o capacitate mare de transport;
- să fie eficient din punct de vedere al costului specific al transportului și al consumului de energie;
- să fie continuu;
- să fie fiabil.

În funcție de cerințele susmențite, în transportul de mare capacitate de la noi din țară s-au impus, în etapa actuală, în principal, trei sisteme de transport:

1) Transportul cu camioane de mare capacitate (40 și 100 t). Este actualmente cel mai folosit sistem, care s-a impus datorită următoarelor avantaje:

- camioanele pot transporta material cu o granulație grosieră;
- prezintă o mare mobilitate, putând urmări ușor frontul de lucru;
- defectarea unui camion nu intrerupe procesul de transport;
- se poate face descărcarea în puncte diferite.

Față de aceste aspecte avantajoase, sistemul de transport cu camioane prezintă următoarele dezavantaje:

- consum mare de motorină (combustibil lichid din ce în ce mai deficitar și mai scump);
- cheltuieli mari de exploatare (cauciucuri, piese de schimb, șoferi, mecanici auto);
- necesită șosele betonate (altfel, fie că sistemul de transport prezintă intreruperi nedorite, fie că trebuie schimbate 2 - 3 rinduri de cauciucuri pe an);
- procesul de transport nu poate fi automatizat și necesită un personal numeros;
- raportul dintre greutatea proprie a camionului și cea a materialului transportat (sarcină utilă) este mare, aproximativ 1:1, de unde rezultă un consum specific ridicat de energie la mersul în gol.

- transportul este intermitent
- distanța de transport de mărime, ca urmare a faptului că coșca-
ua nu poate avea o pantă mai mare de 9° .

2) Transportul cu benzi de cauciuc

Acest sistem de transport de mare capacitate are următoarele avan-

taje:

- asigură un caracter continuu procesului de transport
 - poate prolua volume mari de material dislocat
 - poate lucra direct și corelat cu productivitatea unui excavator.
- Prezintă următoarele dezavantaje:

- nu poate transporta materiale cu granulație groasă (se dete-
riorază rapid coverul de cauciuc)
- cost ridicat al utilajelor și al întreținerii acestora, în speci-
al al coverului de cauciuc cu inserție metalică, procurat la pre-
țuri de cost ridicate din fabricile din țară, cu completări din
import.
- timp mare afectat mutării liniilor pentru urmărirea frontului de
lucru
- solicitatea la întindere puternică, mai ales la pornirea în sar-
cină, motorul de antrenare fiind dispus la capătul benzii
- în cazul defectării motorului de antrenare, montarea și demontarea
acestuia necesită utilaj și personal numeros, iar timpul de înle-
cuire e relativ lung
- nu se pot înscrie în curbe în plan orizontal
- nu pot fi instalate cu o înclinație mai mare de 20° (materialul ar
curge)
- coeficient redus de utilizare în timp (aprox. 40%) din cauza nu-
meroselor defecțiuni, în special ruperea coverului din cauciuc
(mai ales iarna)
- consumă aprox. 30% din energie pentru șersul în gol
- aliniere pretentioasă
- roțile necesită rășină etanșă, altfel ruginesc datorită pătrun-
derii apei și determină frecări mari ale coverului de cauciuc,
consum sporit de energie și pot chiar provoca ruperea coverului.

3) Transport pe calea ferată

Aspecte avantajoase:

- grad ridicat de siguranță în funcționare
- cheltuieli de exploatare mici
- unitățile de transport (vagoanele) au capacități de transport
mari

Dezavantajele sistemului :

- transportul este intermitent
- se poate aplica numai acolo unde consistența solului permite acest lucru
- declivitatea pantelor se nu pot urca e limitată la valori mici, din cauza aderenței roată-sină; din această cauză, traseul trebuie lungit considerabil, crecând investițiile și prețul de cost specific al transportului.
- reclama investiții mari în locomotive, vagoane, stații, linii, infrastructură
- nu se poate cupla direct cu excavatorul, ci numai combinat cu benzile transportoare.

Avind în vedere numeroasele aspecte dezavantajoase ale sistemelor de transport convenționale privind asigurarea unor capacități de transport ridicate la distanțe mari, s-au propus o serie de sisteme de transport neconvenționale (cu funiculare, sistem containerizat în tuburi sub presiune Trans-sincroest). Aceste sisteme fie că se pot aplica eficient numai acolo unde configurația terenului o permite (funicularul), fie că sînt încă prea costisitoare (sistemul de transport în tuburi).

În acest context, prezentînd o serie de aspecte deosebit de avantajoase, dintre soluțiile de transport material neconvenționale s-a impus sistemul de transport cu trenuri de vagoneti acționați cu motoare electrice liniare.

3.2. Caracteristicile de transport cu trenuri de vagoneti acționați cu motoare liniare

Acest sistem de transport, care va fi prezentat în detaliu în capitolele următoare, constă din vagoneti metalici cu una sau două osii, cuplați între ei printr-o articulație sferică sau de altă formă, cuva fiecărui vagonet fiind unită cu cuva vagonetului următor printr-o bandă de cauciuc ondulată, putîndu-se astfel realiza jgheaburi rulante cu lungimi variabile.

De partea inferioară a fiecărui vagonet este fixat un indus sub formă de placă de oțel, pe care se suprapune o altă placă, de cupru sau aluminiu (indus "sandwich").

De calea de rulare e fixat inductorul motorului liniar, care, la o alimentare trifazată, generează un cîmp magnetic alunecător. Interacțiunea dintre acest cîmp și curenții induși în placa de cupru (aluminiu) generează o forță de propulsie care provoacă o deplasare liniară a indusului mobil (a trenului). Distanța dintre două inductoare trebuie să fie mai mică decît lungimea jgheabului rulant.

Noul sistem de transport, cel cu trenuri de vagoneti (jgheaburi rulante) acționate cu motoare liniare, reunește avantajele transportului

526 661
358

cu bandă și a celui pe calea ferată (cu vagoneti) prezentând următoarele caracteristici:

- rulara roată-șină, asigurând un contact minim între elementul mobil (roata vagonetului) și cel fix (șina), se caracterizează printr-o rezistență specifică opusă mersului minimă (față de contactul covor de cauciuc - role, sau banda pe pneuri roată camion sosea), deci un consum specific minim de energie;
- transportul se poate face pe un traseu cu înclinare în curbă în toate planurile (atât orizontal, cât și vertical), permisă de natura cuplei;
- se poate transporta material cu granulație grosieră (acest avantaj se întâlnește la transportul pe cale ferată);
- încărcarea și descărcarea se face în mod continuu, trenul având aspectul unui jgheab rulant continuu;
- este posibil transportul pe trasee cu declivități până la 300%, acest tip de transport nedepinzând de aderența roată-șină, cuplajul electromagnetic inductor-indus comportându-se ca o adevărată cremalieră electromagnetică;
- în cazul înlocuirii transportului cu camioane rezultă o mare economie de carburanți și deci o utilizare mai rațională a surselor de energie primară;
- la defectarea unui motor liniar de propulsie, acesta se poate înlocui repede și simplu, cu utilaje și personal redus;
- culoarul rulant având o structură de transport cu bandă discontinuă, permite extinderea transportului pe distanțe nelimitate cu investiții relativ reduse (avantaj întâlnit la transportul pe săi cu șine);
- sistemul se pretează la o automatizare totală;
- personal de întreținere și supraveghere redus.

Acționarea cu motor liniar a culearelor rulante contribuie, în plus, față de transportul cu bandă și cel pe calea ferată, ^{cu} următoarele avantaje:

- nu se mai pune problema aderenței, care limitează accelerațiile la pornire și decelerațiile la frinare;
- nu consumă energie la mers în gol, cuplarea alimentării inductoarelor liniare realizându-se automat, prin transductoare de proximitate, numai când trenul este deasupra lor. Se autorizează plecarea trenului pe traseu numai dacă acesta este încărcat;
- înlăturarea dispozitivului de transmisie a cuplului de la motorul rotativ la perechile de roți;
- se micșorează greutatea părții mobile, inductoarele fiind fixate de calea de rulare;

- prin aplicarea cuplei automate la trenuri, sistemul discontinuu, format din trenuri cu lungimi de 120 sau 250 m, poate deveni un sistem continuu în zonele de încărcare și descărcare. După încărcarea trenului înaintea, prin decuplare automată, trenurile pot circula independent pe magistrale, la puncte diferite de descărcare;
- la coborirea pantelor, motorul liniar frinează suprasincron, fără nici o piesă supusă uzurii;
- prin alimentarea inductoarelor în curent continuu, se poate realiza frinarea de siguranță la căderea sursei de curent alternativ;
- sistemul poate folosi actualulele căi cu gine ale transportului minier, prin intercalarea unor tronsoane de cale echipate cu motoare liniare;
- calea de rulare se poate monta direct pe sol, pe traverse de lemn, eliminându-se consumul de oțel necesar realizării construcției metalice de susținere a căii de rulare de la altele sisteme de transport cu motoare liniare.

Ca aspecte dezavantajoase ale sistemului de transport cu trenuri de vagoneti acționați cu motoare liniare se pot aminti:

- menținerea întrefierului la o valoare constantă, între anumite valori, se poate face numai printr-o execuție deosebit de îngrijită a vagonetilor (asigurarea planității inductorilor) și a cuplajului sferic;
- datorită întrefierului relativ mare, comparat cu cel al mașinilor electrice rotative, randamentul și factorul de putere sînt relativ scurte;
- necesitatea unui sistem de desprindere de pereții cuvei a unor materiale aderențe și de curățire a liniei de eventuale obstacole;
- asigurarea unei tehnologii corespunzătoare pentru turnarea în rîndă a inductoarelor liniare și pentru realizarea legăturii elastice dintre cuve.

Aspectele avantajoase, menționate în cele expuse anterior, recomandă sistemul de transport cu trenuri de vagoneti (jgheburii rulante) acționate cu motoare liniare la transporturi de mare capacitate (mii de tone pe zi), pe trasee avînd lungimi considerabile (10-20 km), acolo unde căile de transport sînt în general fixe (magistralele de transport). Aplicația sistemului analizat devine extrem de rentabilă la capacități mari de transport, deoarece creșterea cantității de material vehiculată se face prin creșterea lungimii trenurilor sau a numărului acestora. Transportul avînd loc pe aceeași cale de rulare și cu aceleași motoare liniare, crește doar investiția suplimentară în general de trenuri, celelalte componente ale investiției (în ceea ce

mulare și în echipament electric, cu pondere hotărâtoare în valoarea finală a investiției) rămânând constante. Rezultă deci o scădere simțitoare a costului specific al transportului.

Alte aspecte avantajoase sînt adaptabilitatea sistemului la orice configurație a terenului, faptul că nu consumă combustibil lichid, robustețe, înaltă fiabilitate și nu necesită elemente de import.

Toate aceste calități au făcut ca sistemul de transport cu motoare liniare să fie în atenția specialiștilor, realizîndu-se instalații experimentale și industriale de mare capacitate, care-și demonstrează eficiența, impunînd conceperea și realizarea altora, deci extinderea acestui sistem de transport.

Înainte de prezentarea mai detaliată a structurii și performanțelor concrete a două astfel de sisteme, se vor arăta, în cele ce urmează, câteva aplicații ale motorului liniar privind transportul, vehicularea și manipularrea unor materiale sau sarcini utile avînd capacități reduse, folosite ca sisteme de transport uzinal, de deservire a proceselor de producție.

3.3. Sisteme de transport, vehiculare și manipulare cu acționare realizată cu motoare liniare

Calitatea esențială a motoarelor electrice liniare, aceea de a transforma interacțiunea cîmp magnetic alunecător primar-curenți induși secundari într-o forță care provoacă direct o mișcare rectilinie a elementului mobil, au determinat aplicarea eficientă a acestui gen de propulsie în domeniul unor sisteme de transport, vehiculare și manipulare, de cele mai multe ori intruzinală, a unor sarcini caracterizate printr-o mare diversitate.

Ținînd cont de criteriul eficienței conversiei energiei electrice-energie mecanică și îmbunătățirea performanțelor energetice, precum și de cel al posibilităților de modificare ale vitezei și a forței de propulsie, se vor menționa în cele ce urmează câteva elemente caracteristice ale unor acționări mai reprezentative cu motoare liniare de tipul menționat mai sus.

1) Simplificarea considerabilă a lanțului cinematic, în sensul eliminării transmisiei ca element intermediar între motorul rotativ și roată. Eliminarea acestei verigi intermediare a lanțului cinematic oferă avantajul creșterii fiabilității și a randamentului global și scăderii prețului de cost.

2) Sarcinile vehiculate impun puteri relativ scăzute ale motoarelor liniare de propulsie (la care, așa cum se va vedea din aplicațiile ce urmează a fi prezentate, ordinul de mărime este în jurul valorilor de 1,5 - 5 kVA).

3) Utilizarea propulsiei cu motoare liniare la acționări ce deservesc linii tehnologice, la grinzii rulante, la antrenarea diferitelor piese ale unor utilaje și instalații permite realizarea tehnologică de precizie ridicată, întreținerul putîndu-se astfel regla la valori mici (1 - 2 mm), ceea ce conduce la performanțe energetice superioare.

4) Posibilitatea frinării eficiente prin inveșarea fazelor, fără a avea piese în contact direct, supuse uzurii.

5) Pentru o frecvență de alimentare de 50 Hz, este dificilă coborîrea la viteză sub valoarea de 1 m/s. Pentru reducerea vitezei, se poate utiliza alimentarea inductoarelor liniare cu frecvențe scăzute folosind convertizoare statice de frecvență. Această soluție determină însă creșterea costului specific al transportului și se impune numai în situațiile în care reglarea vitezei se impune cu necesitate.

O altă metodă de modificare a vitezei ar fi realizarea unei variante hibridă motor - liniar - frînă liniară de curent continuu, aceasta din urmă impunând o sarcină reglabilă, deci o alunecare ajustabilă și stabilă. Soluția prezintă însă dezavantajul unui randament scăzut, în special în domeniul vitezelor foarte mici.

6) Reglarea forței de propulsie la unele tipuri de motoare liniare se poate face prin modificarea tensiunii de alimentare (sistemul Morriupac).

7) Elementele de propulsie se pot realiza în variantă modulară, creșterea forței de propulsie al sistemului de transport putîndu-se face simplu prin prin intercublarea unui număr variabil de astfel de module.

8) Traseele pot fi extrem de diferite, de la cele mai simple la cele ramificate cu macas, în circuite închise sau deschise.

În cele ce urmează se prezintă câteva aplicații caracteristice motoarelor liniare în domeniul transport, vehiculare și manipulari de sarcină.

3.3.1. Transportor cu monoșină pentru sarcini individuale (Linerail)

Prin concepția sa generală, acest tip de transportor se deosebește de numai de transportoarele normale cu monoșină suspendată, în care organele mobile (cărucioarele care susțin sarcinile) sînt tractate de un element comun, unic (lanțul), dar și de transportoarele pe monoșină la care cărucioarele purtătoare de sarcină sînt de tip automotor. Într-adevăr, față de acestea din urmă există diferența substanțială că micșorarea căruciorului este independentă de aderența dintre roțile motoare și calea de rulare.

Sistemul "Linerail" este construit dintr-o casetă semiînchisă, în care sînt amplasate toate organele necesare menținerii, ghidării și alimentării cărucioarelor ce o parcurg (fig. 1.a) [24]

Indusul fin este construit dintr-o lamă subțire de cupru sau de aluminiu, aplicată pe suprafața inferioară a feței superioare a casetei. Caracteristicile standard ale căii de rulare se indică în fig. 1.a.

$$H = 200 \text{ } \mu\text{m}; \quad L = 210 \text{ } \mu\text{m}; \quad h = 155 \text{ } \mu\text{m}; \quad \delta = 3, \text{ } \mu\text{m}$$

Lungimea fiecărui element este de 4 m, iar greutatea de 28 kg/m.

Această cale de rulare este suspendată pe organele de susținere (gricui, planșee, etc.) cu ajutorul unor profile dublu T sau L.

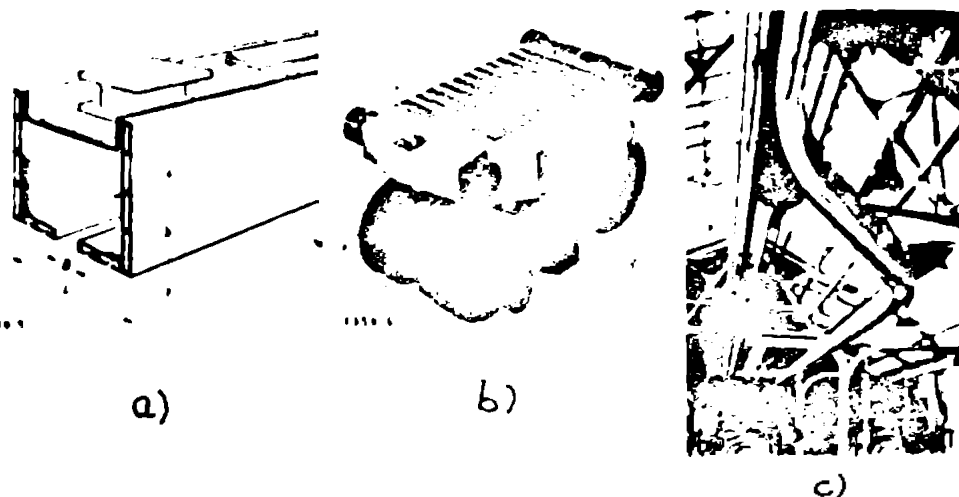


Fig. 1 Transportor cu monoșină tip "Linerail"

În interiorul căii de rulare se deplasează căruciorul (fig.1.b). Acesta este constituit dintr-un cadru care duce sarcina. Pe cadru sînt aplicate 4 roți de rostogolire și 2 roți de ghidaj. Cadru este legat de blocul inductor printr-o suspensie elastică. Blocul liniar este prevăzut de asemenea cu 4 roți mai mici decît primele, care au scopul de a menține constant întrefierul dintre inductor și lama subțire a indusului (Cu sau Al).

Cînd este cazul, pe cărucior se aplică dispozitive de reglare a vitezei.

Căruciorul poate fi prevăzut cu blocuri inductoare de putere mai mare sau mai mică. Deși prin mărirea puterii se măresc și dimensiunile blocurilor inductoare și în consecință amputamentul cărucioarelor, caracteristicile căii de rulare rămîn neschimbate.

Asadar, aceste tipuri de cărucioare sînt automotoare.

Se pot de asemenea cupla în tandem două cărucioare automotoare.

Ca performanțe ale acestui transport se pot aminti:

- vitezele obținute sînt cuprinse între 0 - 3 m/s.

În aplicațiile mai complexe aceste viteze se pot controla automat cu ajutorul unui dispozitiv electronic, care preselecționează diferite viteze de regim, fiecare adecvată unei porțiuni particulare a unui anumit itinerar, iar între limitele de putere ale motorului, menține constantă viteza, independent de greutatea sarcinii transportate.

- forța de împingere a fiecărui bloc inductor este de 2 daN corespunzînd translației unei sarcini de 100 kg. Dublînd sau triplînd blocurile inductoare, se poate dubla sau tripla forța de împingere. Călea de rulare poate suporta sarcini de aprox. 1 t/m.

- frînarea se obține prin inversarea fazelor tensiunii de alimentare. Inversarea poate fi comandată de un dispozitiv indicator de apropiere sau de un dispozitiv electronic care, în cazul unei coborîri, efectuează o

frinare suprasincronă, pentru menținerea vitezei între limitele prestabilite.

- itinerariile pot fi de tipul cel mai diferit: simple, cu sacos, (fig.1.c), circuite închise, etc.

3.3.2. Sisteme de transport cu poduri rulante acționate cu motoare liniare tip "Morrispac"

Acest tip de motor liniar se poate întrebuința atât ca element fix, provocând deplasarea liniară a unei șine mobile, cât și ca element mobil pe șină fixă. Forța de atracție dintre șină și motor este de aprox. 10% din forța de împingere liniară. Intrefierul este de aprox. 2,5 mm și este menținut constant cu ajutorul unor role din material plastic montate pe rulmenți cu bile. [94].

Motorul se construiește în diferite tipodimensiuni. Datorită faptului că în cazul sistemului prezentat modificarea forței de propulsie se face prin modificarea tensiunii de alimentare a motorului liniar cu ajutorul dispozitivului "Lintrol" asupra căruia se va reveni în continuare, se prezintă în fig. 2 caracteristicile forței de împingere - tensiune de alimentare pentru diferite tipuri de motoare.

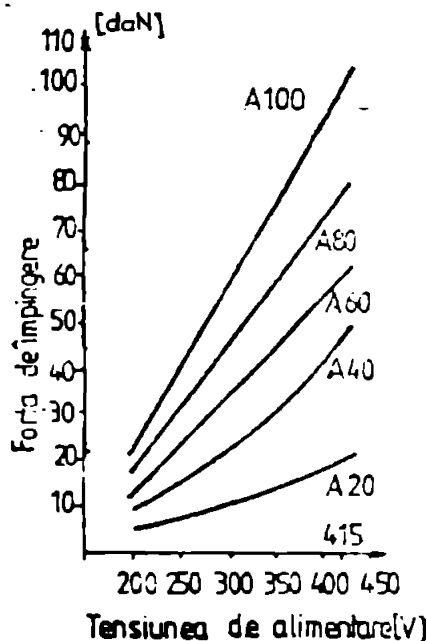


Fig. 2 caracteristicile $F = f(U)$ pentru diferite tipuri de motoare liniare Morrispac

Acest tip de motor liniar este deosebit de util pentru deplasarea rapidă a materialelor, pe distanțe scurte, atunci când trebuie să se asigure o mișcare alternativă cu accelerații și decelerații mari.

În general s-a putut constata că pentru a deplasa în plan o sarcină de 1 tonă, sînt suficiente forțe de împingere de ordinul 15 - 25 daN în funcție de accelerația care se dorește să se obțină.

Reglarea mișcărilor motoarelor liniare "Morrispac" se face cu ajutorul unui dispozitiv numit "Lintrol", a cărui caracteristici de funcționare variază de la simpla comandă manuală, la desfășurarea complet automată a programelor de lucru memorate sau condiționate de aparate automate de corectare

a impulsurilor (feedback), impulsuri ce se aplică pe tiristoare.

Cu ajutorul acestui dispozitiv se pot obține:

- poziționarea exactă a cruciorului, atât prin comandă manuală, cât și prin comandă automată.
- reglarea vitezei în limite destul de restrinse, chiar în cazul unor mari variații de sarcină. În acest caz se utilizează reglarea automată în buclă închisă, folosind ca traductor de viteză un tahogenerator.
- reglarea forței de împingere prin tensiunea de alimentare
- frinarea prin inversarea conectării a două faze.

Un exemplu practic de aplicare a dispozitivului Morrispac a fost realizat pe un pod rulant cu capacitatea de 500 kg, pe care au fost aplicate două motoare liniare capabile să dezvolte o forță de 15 daN fiecare. Acestea conferă podului rulant o viteză de translație longitudinală care poate fi prestabilă automat (de la un minim de 12 m/min la un maxim de 110 m/min), cu ajutorul dispozitivului "Lintrol". De asemenea, s-au realizat și alte poduri rulante, cu posibilitatea vehiculării unor sarcini de două, respectiv cinci tone.

3.3.3. Transportoare rulante deservind linii tehnologice de fabricație

Distanțele semnificative se bazează pe forța de propulsie generată de interacționarea inductor unilateral mobil (cruceiorul) - incus fix (calea de rulare). În fig. 3. [46] se prezintă porțiunea de întoarcere a unei căi în circuit închis, constituind un traseu paralel cu o linie tehnologică de fabricație; se remarcă elementul mobil, format din două crucioare autopropulsate legate în tandem, de care se suspendă sarcina care trebuie vehiculată pentru deservirea liniei tehnologice.



FIG. 3 Transportor rulant cu motor
re liniare ce deserveste o
linie tehnologică de fabri-
cație

Caracteristicile motorului liniar sînt:

$P = 1,6 \text{ kVA}$; $U = 330 \text{ V}$; $V_g = 1,5 \text{ m/s}$; Intrefier de 2 mm; grosimea plăcii
indus: 1 mm cupru.

În situația în care se lipsește reglarea vitezei, mai precis micșo-
rarea acesteia, se folosește, după cum s-a amintit anterior, sistemul hibrid
al acestor liniar - frînă liniară în curent continuu. În astfel de sisteme se deserv-

vede tot o linie tehnologică de fabricație, așa prezentată în fig. 4. [46]



Fig. 4. Sistem de reglare hibrid a vitezei transportorului, folosind ansamblul motor liniar - frână liniară.

Caracteristicile motorului liniar din sistemul hibrid sînt:

$I_n = 1,5$ A; $U = 300$ V; $V_n = 1,5$ m/s; întrefier de 2 mm; grosimea plăcii inductiv: 1 mm cupru.

3.4 Sisteme de transport materiale de mare capacitate, formate din trenuri de vagoane (vagoane volante) acționate cu motoare liniare

Prima instalație experimentală privind sistemul de transport menționat a fost realizată de către firma Ferlin - Gerin, la Grenoble în anul 1968 [44]

Instalația experimentală avea o lungime de 100 m, prezentînd o structură similară sistemului cu acționare liniară descrisă principal la subcap.3.2. Trenul de vagoane avea o lungime de 15,5 m, vagoanele aveau două eșii, iar întrefierul realizat a fost de 5 mm. Cuplarea motoarelor liniare s-a făcut automat prin traductoare inductive de proximitate. În scopul reglării vitezei trenului, alimentarea motoarelor liniare se făcea de la surse de tensiuni și frecvențe variabile, echipate cu tiristoare. În dreptul stațiilor de încărcare și descărcare, viteza trenului era de 1 - 3 m/s, iar pe calea liberă atingea valori de 7 - 15 m/s. Calou de rulare era dublu suprapus. Frînarea putea fi efectuată în contracurent sau în regim suprasincron.

În afară de jghețul rulînt construit de firma Ferlin - Gerin, a fost realizat, tot în Franța, un alt sistem de transport tot sub formă de tren continuu de vagoane acționate cu motoare liniare, așa numitul sistem "accas" [44]. Principal, acest sistem se asemănă cu cele descrise anterior. Testările privind performanțele acestui sistem de transport s-au desfășurat pe o cale experimentală lungă de 300 m, dar în afară de acesta mai există în funcțiune, trei instalații mari de transport cu trenuri de vagoane acționate cu motoare liniare funcționînd pe principii similare, montate în întreprinderi miniere; [44]

- două sisteme de transport în minele de nichel din Noua Caledonie. Dintre acestea, una are o lungime de 2 km, transportând 900 t de minereu pe oră, pe trasee cu declivități de 2 %. A doua instalație are o lungime de 200 m, transportând 400 t de minereu pe oră (se prevede extinderea la 800 t/h), străbătând trasee cu declivități de până la 38 %.

- un sistem de transport la minele de fier din Lothringen, lângă Metz (Franța).

Cercetările în domeniul sistemelor de transport cu motoare liniare au continuat, materializându-se prin realizarea a două astfel de sisteme ce se vor prezenta în detaliu în cele ce urmează.

3.4.1. Sistemul de transport "Coulloir roulant"

Primul tronson industrial al unui sistem de transport cărbune în galerii subterane, cu trenuri de vagoneti acționați cu motoare liniare, a fost pus în funcțiune în octombrie 1971 în bazinul carbonifer Provence. Transportul cărbunelui a fost asigurat de două trenuri având lungimea de 225 m fiecare. Lungimea totală a traseului era de 2,3 km, iar capacitatea de transport asigurată de 520 t/h. [32]

În anul 1974, prin extinderea căii de rulare, a creșterii puterii instalate și a ameliorării sensibile a dispozitivelor de telecomandă și telecontrol, capacitatea de transport a sistemului a crescut la 800 t/h, fiind asigurată de o funcționare neîntreruptă de 12 ore a sistemului. Viitoare proiecte privind extinderea aplicării sale în bazinul carbonifer Provence, prevăd folosirea unui sistem de rulare compus din 4 trenuri cu lungimea de 330 m fiecare.

Acest sistem se compune din trenuri formate din cuve metalice lungi de 1,5 m fiecare, fixate de un cadru prevăzută cu o singură osie, deci o singură pereche de roți de rulare. Acesta este un vagonet, legătura cu vagonetul următor realizându-se printr-un cuplaj sferic. Cuvele sunt unite între ele prin legături de cauciuc ondulat, fapt care conferă întregului tren aspectul unei benzi continue pe roți (coulloir roulant) (fig. 5).

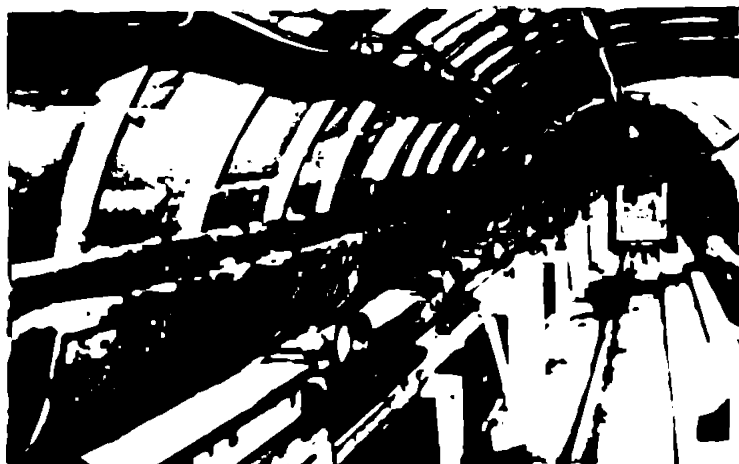


Fig. 5 Trenul de vagoneti al sistemului de transport "Coulloir roulant"

Traseul pe care circulă trenul are forma unui circuit închis, ce-

caracterizat prin:

- o infrastructură construită dintr-o construcție metalică, pe care sînt montate două căi de rulare suprapuse.
- două bucle semicirculare de întoarcere a trenului, în plan vertical, la capetele traseului.

Descărcarea trenului se face prin răsturnarea vagonetilor înscrise în bucla de întoarcere, în plan vertical, trenul circulînd în poziție de încărcare pe calea superioară a traseului și în poziție răsturnată pe calea inferioară (fig. 6). Materialul descărcat se colectează într-un buncăr.

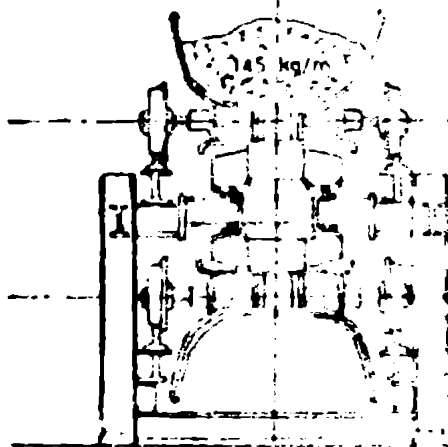


Fig. 6. Căile de rulare și circulație a trenului încărcat, respectiv descărcat, pe circuitul închis al traseului.

Motorul liniar de propulsie prezintă inductorul liniar fixat pe calea de rulare, între cele două sine, fiind turnat în rășină, avînd două cutii de borne: una pentru racordarea cablului de forță, cealaltă pentru cablurile circuitelor auxiliare (fig. 7). [32]

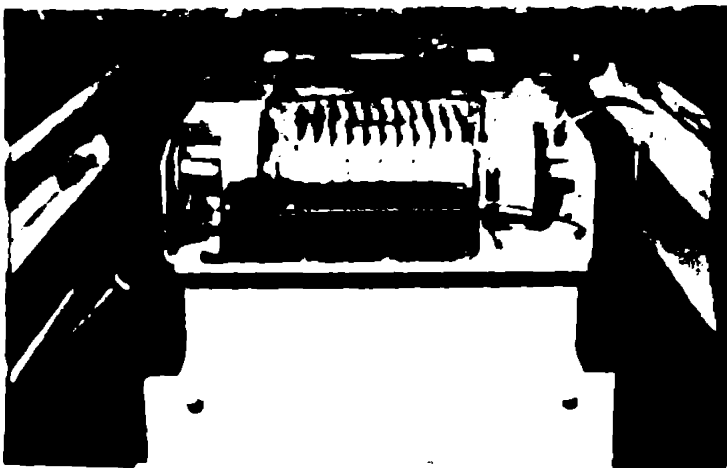


Fig. 7. Motorul liniar de propulsie al sistemului de transport.

Indusul este o placă masivă de oțel fixată de fundul fiecărui vagonet, de această placă fiind lipită o placă de cupru de 2 mm grosime. Interspacia acustică a fost de 5 mm pentru calea superioară și 7 mm pentru calea inferioară a circuitului.

Înfigurarea inductoare se alimentează la o tensiune de 1 KV. Distanța dintre inductoare este mai mică decât lungimea trenului, fiecare inductor realizînd propulsarea acestuia, astfel încît în momentul depleșirii de către un vagonet a unui inductor, primul vagonet este deja "apucat" de induc-

terul următor, mișcarea fiind astfel continuă.

Punerea sub tensiune a inductoarelor se face automat cu ajutorul unor detectoare de prezență (traductoare inductive), numai când indusul acoperă inductorul respectiv.

Viteza sincronă a motorului liniar este de 8,3 m/s. La viteza nominală a trenului de 7 m/s, forța de propulsie asigurată de motorul liniar, conform caracteristicii sale mecanice, este de 600 N, la un randament de 70%. Dependentele $F = f(v)$ și $\eta = f(v)$ ale motorului liniar de propulsie se prezintă în fig. 8. [32]

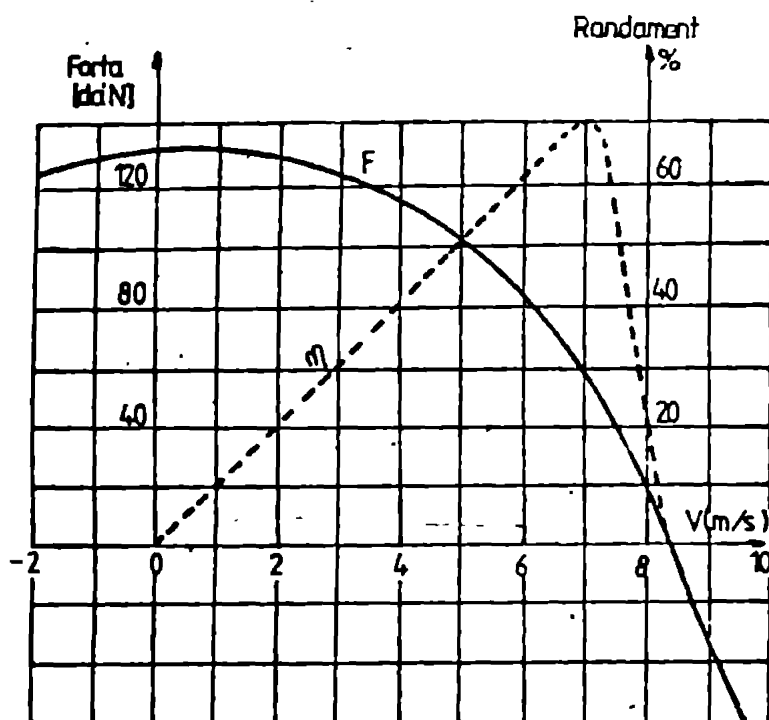


Fig. 8. Caracteristici ale motorului liniar de propulsie

Durata reală a unui ciclu de transport este de 820 s. În zonele de încărcare și descărcare, vitezele de deplasare ale trenului sunt mai mici (aprox. 2,5 m/s). Motoarele liniare care echipează aceste zone sunt alimentate prin dispozitive echipate cu tiristoare.

Menținerea întrefierului minimal de funcționare se asigură prin existența unor role montate pe fiecare inductor liniar, nivelul la care rola depășește suprafața inductorului fiind egal cu întrefierul minim de lucru. Există de asemenea, un sistem automat de menținere a unei distanțe de securitate între două trenuri succesive.

Frinarea se face fie electric, în contracurent, fie prin frine cu saboți (frine de siguranță), care intră în funcțiune fie la căderea tensiunii de alimentare, fie în situația în care viteza trenului scade sub o valoare de 0,5 m/s și acesta trebuie oprit.

Întreg sistemul de transport este complet automatizat, funcționarea sa fiind urmărită de un singur operator la un tablou sinoptic, plasat într-o cameră de comandă.

3.4.2. Sistemul de transport "ABB"

Acest sistem de transport, construit lângă localitatea Ned-Varionberg/Ventervald, a fost inaugurat în ianuarie 1976, an în care a și fost testat, experimentările continuând și în 1977.[99]

lungimea totală a căii este de 1,5 km, urcând a se realiza un traseu industrial cu lungimea de 45 km, în varianta vehicularii a două feluri de material: carbune, având o capacitate de transport de 5 mil. t/an, respectiv pietriș, (2 mil. t/an). Principalii parametri pe care îi asigură sistemul sînt:

- sarcină utilă transportată: 16,5 t/m;
- raportul dintre sarcina utilă și sarcina vehiculului gol: 3:1;
- lungimea unui nodul (element) de transport: 6 m;
- lungimea totală a trenului: 94 m în condiții experimentale;
- lungimea totală a trenului în situația aplicării la nivel industrial: 2500 m;
- viteza nominală la transport = 22,1 m/s.

Acădar, vagonetii au o lungime de 6 m, prezintă două esii, cu 0,6 t/ecie în situație încărcată, iar ecartamentul este 1435 mm. Calea de rulare este suspendată pe construcție metalică.

O vedere longitudinală a trenului în absența căii, este re arată în fig. 9.

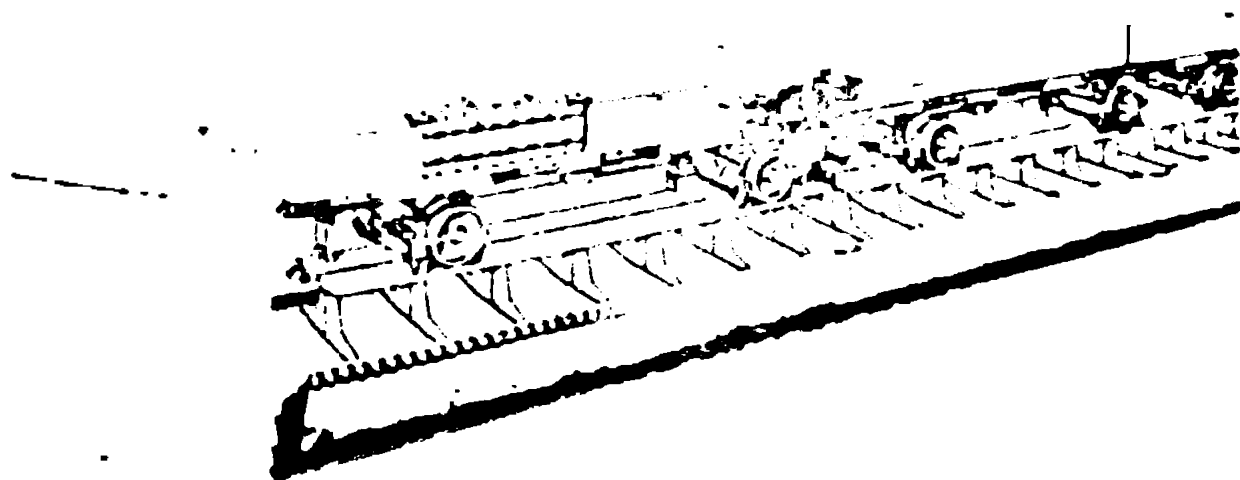


Fig. 9 Sistemul de transport "ABB" - vedere longitudinală

O vedere transversală este redată în fig. 10.[99]

Iupă cum reiese din această figură, structura de rezistență a vagonetului este formată dintr-o țeavă metalică 1, de care sînt fixate, prin intermediul unor profile, cele două lagăre 2, în care se află esile 3, cu roțile de rulare 4. Acest ansamblu este decelat de rigid și ușor ca greutate specifică. În partea superioară a cadrului vagonetii se află fixat încușul 5, constituit dintr-o placă de aluminiu de 10 mm grosime, avînd o lungime de 6 m. Această placă pătrunde în interstițiul dintre două inductoare 6 fîmte bilate-

ral (motoarele liniare de propulsie). Intrefierul variază între 6 - 15 mm.

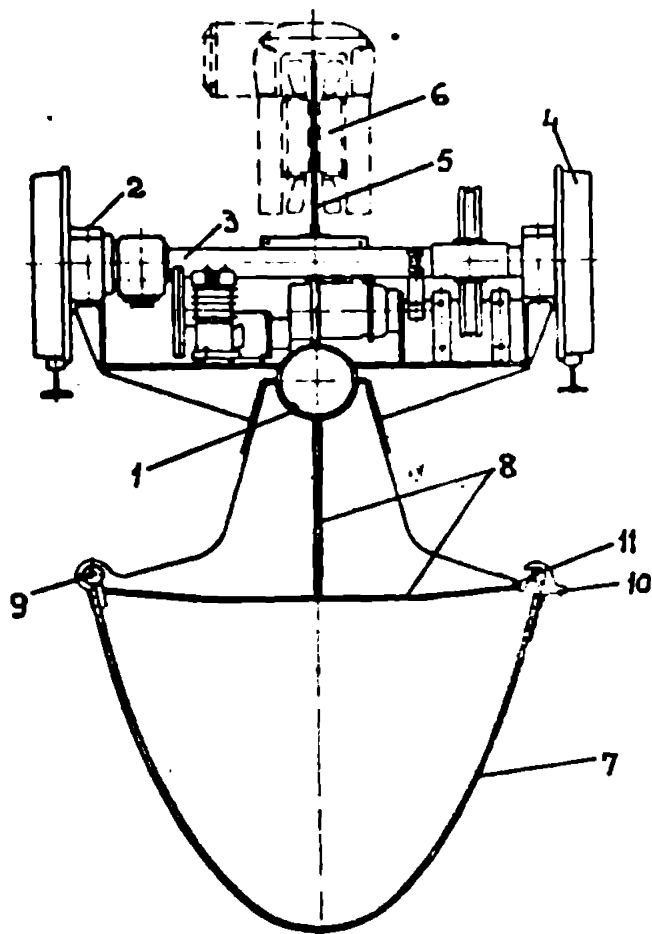


Fig. 10. Vedere transversală a sistemului de transport "ASZ"

De partea inferioară a țevii șasiu 1, se află fixată așa-numita cuvă în care se încarcă materialul. Această cuvă 7 este de fapt o bandă de cauciuc continuă, fixată de țouva 1 cu ajutorul unor prăfile 8. Banda de cauciuc este articulată pe o parte, (articulația 9), pe cealaltă fiind fixată de profilele 8 printr-un sistem de cirlige detașabile 10. În momentul descărcării, cirligele se desprind de longeronul 11, banda se desfășoară, dând posibilitatea materialului să curgă din cuvă. (fig. 11.).

O vedere a trenului de vagoaneți, unde se poate vedea curbarea in-cusului într-o anumită zonă a traseului, se prezintă în fig 12.



Fig. 11. Descărcarea materialului la sistemul de transport "ASZ"



Fig. 12. Trenul de vagoați într-o zonă a traseului cu o anumită rază de curbură.

Motoarele liniare asincrone de propulsie au următoarele caracteristici principale:

- forță de propulsie nominală: 10 kN ;
- putere nominală: 220kw ;
- tensiune de alimentare: 900V ;
- randament: 71% ;
- factor de putere: 0,6 necompensat ;
- viteză sincronă: 25,2 r/s.

În funcție de configurația traseului, sistemul folosește 4 tipuri de motoare liniare, cu performanțe diferite. O vedere transversală a trenului având indusul aflat într-o zonă activă, cu menționarea amplasării motoarelor liniare de propulsie (ML) se prezintă în fig. 13. [99]

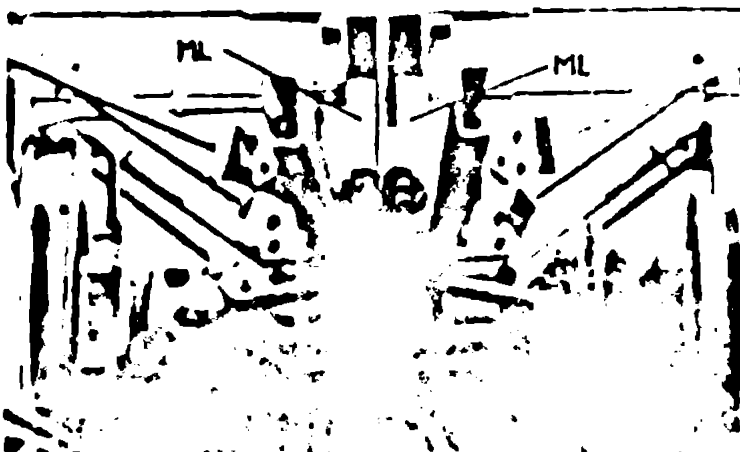


Fig. 13. Vedere transversală a trenului având indusul în zona activă (în dreptul motoarelor liniare de propulsie (ML)).

Conectarea și deconectarea inductorului liniar se face automat, cu ajutorul unor relee sensibile la polaritatea unui magnet permanent fixat pe vehicul (fig. 14.).

Prințarea sistemului se face mecanic, asupra unui disc ce se rotește solidar cu una din axile vagonului aplicându-se doi saboți cu frecvon tip clește. (fig. 15.). Comanda stringerii saboților se face pneumatic, iar de-

clanzarea acestei comenzi se face prin telecomandă, prin unde radio ultrascurte (UKV). Fiecare vagonet are un sistem propriu de frinare și un receptor UKV. Acest sistem de frinare este eficient îndeosebi în caz de avarie.

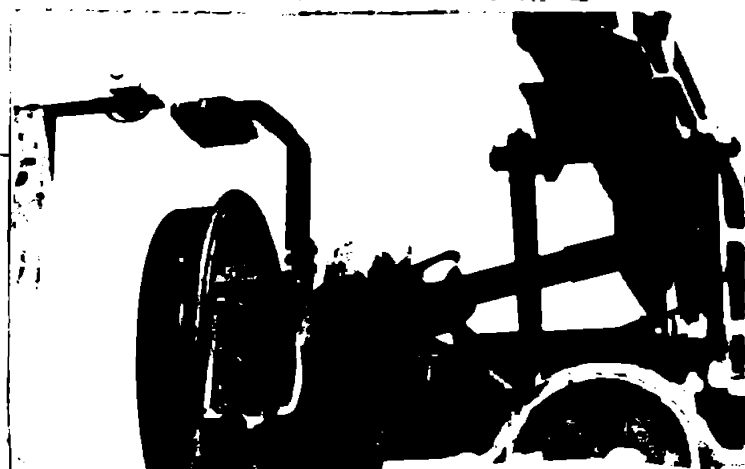


Fig. 14. Conectarea automată a motoarelor liniare. 1-relevu de cuplars; 2-magnet permanent fixat pe vehicul



Fig. 15. Sistemul de frinare al trenului de vagoneti. 1-disc solidar cu osia vagonetului; 2-saboti de frinare comandați pneumatic

Ca aspecte dezavantajouse ale acestui sistem de transport se pot rezuma:

- soluția inductorului bilateral necesită o ghidare pretențioasă a indusului, îndeosebi în curbe;
- suportul căii de rulare necesită realizarea unei construcții metalice costisitoare;
- sistem de frinare sigur, dar complicat;
- nu se indică modalitatea de refixare a cuvei de canciue de cadrul de susținere, după procesul de deschidere.

3.4.3. Concluzii

În subcapitolul 3.4. au fost prezentate două sisteme de transport materiale de mare capacitate, formate din trenuri de vagoneti acționați cu motoare liniare. Întreaga configurație constructivă a sistemului rezultând sub forma unor jgheaburi rulante continue. Au fost alese spre a fi prezentate cele două sisteme având în vedere următoarele considerente:

- contribuțiile majore recunoscute pe care le-a adus cercetarea științifică din țările unde au fost realizate sistemele de transport anterior-

or prezentate atât la fundamentarea bazei teoretice a complexelor fenomene caracteristice motoarelor electrice liniare, cât și la confirmarea practică a acestora prin modele și instalații experimentale realizate în premieră pe plan mondial.

- realizarea unor instalații cu caracter industrial, de mare complexitate, unde au putut fi estimați o serie de indicatori privind eficiența economică concretă a acestor sisteme neconvenționale de transport, rezultatele obținute determinând în unele situații extinderea sistemelor respective.

- prezentarea unor caracteristici tehnice și funcționale concrete, precise și clare, suficient de numeroase, care să permită o estimare realistă a performanțelor și a eficienței sistemelor studiate, cu posibilitatea unei evaluări comparative ale acestora cu cele ale altor sisteme de transport existente.

Din analizarea celor două sisteme de transport materiale cu motoare liniare prezentate în detaliu în subcapitolele precedente, se desprind o serie de concluzii deosebit de utile privind rentabilitatea și eficiența aplicării acestui sistem neconvențional de transport material, justificarea din acest punct de vedere a introducerii ei și la noi în țară, se oferă un indicator clar privind asigurarea unei baze experimentale care să precedă realizarea sistemului industrial de mare anvergură, și ceea ce este cel mai important, se va putea stabili cu certitudine, prin prisma performanțelor comparative obținute, și a evidentierii aspectelor caracteristice, avantajoase și dezavantajoase, locul și competitivitatea sistemului de transport cu motoare liniare conceput și realizat la Facultatea de Electrotehnică din Timișoara, al cărui studiu constituie obiectul prezentei teze.

Astfel, în mod concret, o serie de caracteristici cum ar fi:

- independența de aderența și posibilitatea utilizării în toată perioada anului, indiferent de condițiile climatice a sistemului de transport cu motoare liniare;

- nu folosește combustibil lichid, deficitar și scump, nu folosește cauciucuri, este robust și fiabil;

- asigură continuitatea procesului de transport și poate fi extins cu investiții relativ mici; elimină importul;

- asigură vehicularul unei cantități mari de material (mii de t/a) pe distanțe lungi în condițiile unui cost specific, al transportului, mai mic decât la mijloacele de transport convenționale (caz concret sistemul ASBZ - RFC [9]);

- nu consumă energie la călătorie în gol, consum specific de energie redus;

- potrivit în a automatizare totală,

recomandă sistemul de transport cu trenuri de vagoane acționate cu motoare

liniare ca fiind un înlocuitor potențial al sistemelor de transport clasice, îndeosebi la vehicularea unei cantități mari de material pe distanțe relativ lungi, pe trasee orizontale. Aceste sisteme s-ar putea aplica în condiții avantažoase, la noi în țară, îndeosebi în carierele de suprafață, acolo unde trebuie vehiculată o cantitate de material atingând până la 10.000 t/h, fie pe magistralele ce transportă cărbune din carieră la termocentrală (cu lungimi de 5 - 15 km), fie pe traseele pe care se vehiculează sterilul din cariere la haldă. Ultimul caz reprezintă situația în care, folosindu-se judicioas curbele de nivel ale traseelor aluse, prin realizarea unui sistem de transport hibrid motor liniar - gravitațional, s-ar putea asigura vehicularea materialului în condițiile unei investiții minime.

Cele două sisteme de transport prezentate în subcap. 3.4. au arătat rolul important pe care îl are etapa testărilor pe instalații experimentale privind performanțele sistemelor de transport cu motoare liniare, înaintea etapei de realizare al acestui sistem la nivel industrial. Necesitatea acestei etape se justifică prin:

- traseul scurt al instalației experimentale necesită investiții relativ reduse;
- fiind vorba de un model experimental, se pot efectua pe acesta, îmbunătățiri impuse de rezultatele experimentărilor;
- instalația experimentală fiind modelul la scară redusă a unei instalații industriale de mari proporții, pe baza concluziilor etapei de testare pe instalația experimentală se poate estima realist eficiența economică globală a sistemului cu caracter industrial. Modificări ulterioare realizate pe instalația experimentală cu investiții minime, pot avea urmări deosebite privind scăderea costului specific al transportului la instalația industrială

Așadar, rezultatele testărilor efectuate pe instalații experimentale cu caracter de stații pilot pot justifica o investiție substanțială în instalația cu caracter industrial printr-o eficiență economică favorabilă, obținută pe un model la o scară redusă, ușor de realizat și mai ieftin.

Așa au fost concepute și realizate sistemele de transport cu caracter industrial din minele de cărbune din Provence (Franța), cu o lungime de 2,5 km și o capacitate de transport de 600 t/h, precum și cele de la minele de nichel din Noua Caledonie, cu lungimile de 2, respectiv 20 km. Modelul experimental premergător acestor instalații, model pe care s-au inițiat testările, a fost cel realizat în 1964 la Grenoble de către firma Merlin - Gerin.

Pe acest principiu trebuie să se materializeze și realizarea primului tronson cu caracter industrial de transport material cu sisteme acționate cu motoare liniare. Cercetările efectuate la stația pilot a Facultății de Electrotehnică din Timișoara privind realizarea și testarea a două sisteme de transport material cu trenuri de vagoane acționați cu motoare liniare

confirmă această idee.

Cele două sisteme realizate la stația pilot vor fi prezentate în detaliu în capitolele următoare. Se vor menționa în cele ce urmează doar câteva aspecte privind particularitățile și performanțele ale sistemului de transport românesc realizat la I.P.T.V.T., comparativ cu cele similare, ale sistemelor de transport analizate și prezentate în subcap.3.4.

Similar sistemului de transport francez, sistemul românesc constă din trenuri de vagoneti cu o singură osie, articulați printr-o articulație sferică. Aceasta oferă posibilitatea înscrierii în curbe în plan orizontal (raza căii la stația pilot este $R_{\text{min}} = 60$), și în plan vertical (diametrul stației de descărcare elicoidală este 2,3 m). Inductorul liniar (ML - 02) este fixat de calea de rulare ecartament 600 mm și este turnat în rășină, fiind prevăzut cu termistoare înglobate în înfășurarea inductorului pentru a se asigura decuplarea acestuia în caz de supraîncălzire.

Fată de sistemul de transport francez, cel românesc prezintă următoarele aspecte avantajoase:

- Prezintă posibilitatea descărcării trenului de vagoneti într-o stație de descărcare torsională. Acest sistem de descărcare se recomandă în special în locurile unde materialul transportat nu trebuie descărcat într-un loc bine determinat (bunch), el putând fi răspândit pe toată lungimea stației de descărcare. Un exemplu caracteristic al aplicării eficiente a acestei stații ar fi descărcarea sterilului ce se evacuează în haldele carierelor de suprafață (ex. cariera de gisuri bituminose de la Anina).

- Cuplarea automată a inductoarelor liniare se face cu traductoare de proximitate de tip inductiv de concepție originală, cu o eficiență de până la 60 mm.

- Poate folosi actualele căi cu gine de transport minier prin intercalarea unor tronsoane de cale echipate cu motoare liniare.

- Se elimină consumul de cea 300 t/km oțel necesar pentru menținerea căii duble suprapuse, realizându-se astfel un cost specific al transportului cu cea 50 % mai redus decât la sistemul de transport francez.

- Față de motorul liniar folosit în bazinul carbonifer Provence, care are aceeași suprafață activă și viteza sincronă ca și ML - 02, dar are un inductor tip sandwich fier - cupru cu $\delta_{\text{Cu}} = 2$ mm și un întrefier mecanic de 5 mm, motorul liniar al sistemului românesc (ML - 02) este prevăzut cu o placă inductivă de Cupru cu $\delta_{\text{Cu}} = 3$ mm. Estimând forța specifică dezvoltată la pornire de cele două motoare liniare la același întrefier magnetic (7 mm), rezultă:

$$P_{\text{sp1}} = \frac{1300 \text{ W}}{25 \times 58 \text{ cm}^2} = 0,9 \text{ W/cm}^2 \text{ (motorul francez)}$$

$$P_{\text{sp2}} = \frac{1800 \text{ W}}{25 \times 58 \text{ cm}^2} = 1,24 \text{ W/cm}^2 \text{ (ML - 02)}$$

Rezultă la motorul sistemului românesc un câștig de 30 %. Acest câștig de forță dezvoltată la pornire în cazul lui ML - 02 provine din adâncimea creștăturii acestuia (70 mm, față de 50 mm la inductorul francez), adică un raport $\frac{70 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 1,4$. Așadar, câștigul de forță la MB - 02 provine dintr-o încărcare superioară a creștăturii acestuia.

- Deși factorul de putere la ML - 02 este inferior motorului francez (0,346 față de 0,4), acesta poate fi compensat cu eficiență prin utilizarea unui sistem de transport hibrid motor liniar - elevator. Acesta din urmă, propus a fi utilizat pentru a realiza urcarea trenurilor de vagoane de pe o treaptă de carieră pe alta (punte cu declivități foarte pronunțate), este acționat cu motoare electrice rotative de tip sincron. Prin funcționarea acestor motoare în regiă supraexcitată, aceste motoare debitează energie reactivă în rețea. Această energie va putea fi utilizată la compensarea, parțială sau integrală, a factorului de putere scăzut al motoarelor liniare ce asigură propulsia trenului pe traseul orizontal al treptei de carieră.

- Prin folosirea cicloconvertorului static de frecvență, alimentând motoarele înaintare la frecvențe scăzute (5 - 15 Hz) se vor putea asigura motoarelor liniare din stațiile de încărcare viteze reduse (0,8 - 1,5 m/s), permițându-se astfel o umplere optimă a trenurilor. S-a constatat că la aceste frecvențe, folosindu-se un inductor tip placă fier-colivie cupru (aluminiu) se pot obține forțe de propulsie la pornire având valori de două sau chiar de trei ori mai mari decât cele obținute la același motor, alimentat de la rețea. Rezultă așadar posibilitatea ca în aceste zone numărul de motoare liniare să scadă.

La sistemul de transport românesc s-a conceput un dispozitiv de menținere a distanței minime de siguranță între două trenuri succesive bazat pe circuite logice, superior ca fiabilitate celui francez, bazat pe temporizarea unui releu. De asemenea, sistemului de transport românesc i s-a conceput un dispozitiv de protecție la ruperea trenului, dispozitiv care lipsește celui francez.

Sistemul de transport realizat la I.P.N.T., prezintă încă și câteva aspecte care trebuie încă rezolvate. Acestea sînt:

- punerea la punct și realizarea frînelor mecanice de siguranță;
- stabilirea unei tehnologii de realizare a legăturilor de casine endulat între cuvele trenurilor;
- conceperea unui sistem de decuplare la avarie în situația în care intrerul scade sub valoarea minimă admisibilă;
- soluționarea descărcării din vagoane a unor materiale aderențe (ex. argila).

Sistemul de transport material cu motoare liniare "AJLI" realizat

in RFO prezintă, pe lângă aspectele dezavantajoase menționate la sfârșitul subcap. 3.4., și următoarele particularități:

- Repornirea automată a trenului, cauzată de căderea accidentală a rețelei de alimentare, se poate face numai dacă sistemul magnet - rețea, ce asigură conectarea automată a motoarelor liniare, se află față în față în momentul revenirii tensiunii (la trenul oprit). Acest lucru este puțin probabil.

- Având inductorul vertical, trenul nu se poate înscrie în curbe având raze de valori mici, așa cum se impune deseori la traseele din cariere.

Față de aceste particularități dezavantajoase ale sistemului de transport cu motoare liniare realizat în RFO, aspectele comparative favorabile ale sistemului românesc (inductor unilateral și inductor orizontal, fixat de partea inferioară a trenului de vagoneti, cuplare automată a inductoarelor prin traductoare de proximitate aflate sub tren, posibilitate de înscriere în curbe cu raze mici) rezultă din cele menționate la compararea sistemului de transport românesc cu cel francez.

Ținând cont de toate aspectele comparative analizate mai sus, se poate concluziona faptul că datorită aspectelor sale avantajoase și originale, sistemul de transport cu trenuri de vagoneti acționați cu motoare liniare realizat la I.P.T.V.T. poate reprezenta o soluție eficientă și rentabilă privind transportul de materiale de mare capacitate aplicat și la noi în țară, adaptabil în special condițiilor concrete din carierele de suprafață, competitiv cu celelalte realizări similare pe plan mondial.

4. CALCULUL FORTEI DEZVOLTATE DE MASINA LINIARA ASINCRONA SI CARACTERISTICII MECANICE

In situatia aplicării sistemului de transport cu tremuri de vago-
neti acționati cu motoare electrice liniare la vehicularea unei anumite ca-
pacități de material pe un traseu concret impus de beneficiar, dintre indicato-
rii economici ce caracterizează eficiența acestui sistem neconvențional de
transport in raport cu sistemele clasice de aceeași capacitate, costul speci-
fic al transportului și consumul specific de energie al sistemului se pot con-
sidera ca fiind esențiali. In cazul celorlalti indicatori, valoarea acestora este
influențată decisiv de numărul total de motoare liniare ce asigură propulsia
sistemului, costul acestor motoare, împreună cu intregul echipament electric
de forță și comandă aferent avind o pondere hotărîtoare in stabilirea inves-
tițiilor totale și, implicit, a costului specific al transportului. Dat fiind
faptul că numărul de motoare liniare montate pe unitatea de lungime a traseului
depinde atât de rezistențele de mers, in general calculabile rapid, întimpă-
nate la înaintarea tremului de vagoneti pe traseu, cit și de forța de propul-
siv dezvoltată de fiecare motor in parte la o anumită viteză, se impune ca
absolut necesară găsirea unei posibilități de estimare analitică, relativ rap-
dă și suficient de precisă, a caracteristicilor mecanice a motoarelor liniare
folosite. Această metodă trebuie să asigure calculul caracteristicilor men-
ționate ținînd cont atât de o serie de date ale mașinii liniare, furnizate
de constructor, cit și de evaluarea realistă și operativă a manifestării unor
efecte specifice motorului liniar, estimându-se cantitativ influența acestor
efecte asupra valorii finale a forței de propulsiv dezvoltate. Relațiile de
calcul obținute trebuie să fie ușor manevrabile, fără a fi necesară folosirea
ordinatorului electronic, in condițiile păstrării unei precizii suficient de
ridicate pentru calcule practice. Astfel, se va putea pune la dispoziție pro-
iectantului un instrument de calcul operativ și suficient de exact care, in
cazul utilizării unor motoare liniare de tipul celor analizate in prezenta
lucrare, poate constitui un mijloc rapid de estimare a eficienței economice
globale a acestui sistem neconvențional de transport pentru o aplicație con-
cretă dată.

Capitolul 4 se va referi in continuare la o modalitate de abordare
a problemei in discuție.

4.1. Motorul liniar asincron. Principiul de functionare; efecte specifice.

Motorul liniar nu poate obtine, in mod intuitiv, dintr-un motor rotativ, tãiat dupã generatoarea și desfãșurat în plan.

Inductorul se obtine prin împachetarea unui miez magnetic format din tole prevãsute cu un anumit număr de crestãturi, ce pot fi seminechise sau deschise. În crestãturi se introduce înfãșurarea, care e de obicei în două straturi.

Pentru evitarea pierderilor suplimentare, bobinole înfãșurãrii se construiesc având capetele cât mai scurte. Înfãșurarea fiind în două straturi, în situația unor curenți primari de valori mari conductoarele fiind profilate, configurația spațialã optimã a bobinelor inductorului se obtine destul de greu, razele mici de curburi a capetelor de bobinã impunând dispozitive speciale și o tehnologie adecvatã.

Indusul liniar este de tip placã, fiind confecționat de obicei din două părți distincte:

- 1) placa feromagneticã, mediu de închidere a liniilor de cãmp magnetic inductor;
- 2) placa de aluminiu sau cupru, în care se închid liniile de curenți induse.

Uneori se confecționează și inductorii tip colivie, la care se frezează crestãturi în placa feromagneticã, în aceste crestãturi introducându-se apoi bare de Al sau Cu, unite prin barele de scurtcircuitare, dispuse în canale frezate perpendicular pe crestãturi.

Înfãșurarea inductoare trifazate, alimantatã de un sistem trifazat de curenți sinetnici, produce un cãmp magnetic alunecãtor, având viteza sincronã:

$$v_s = 2\tau f \quad (4.7.)$$

unde τ = pasul polar; f = frecvența de alimentare.

Acest cãmp magnetic mobil induce în secundarul placã de Al sau Cu curenți, atât cît unda cãmpului inductor are o deplasare relativã în raport cu indusul. Interacțiunea dintre cãmpul alunecãtor inductor și cãmpul de reacție al curenților induși în secundar generează forța de propulsie liniarã (forța de tracțiune).

Unele caracteristici constructive ale motorului liniar, dintre care se menționează:

- circuitul magnetic deschis;
- dimensiuni longitudinale și transversale finite;
- așezarea nesimetricã a bobinolelor celor 3 faze față de miezul magnetic al inductorului;

- influența puternică a capetelor de bobină asupra curenților induși;

- grosimea, în general mult mai mare, a plăcii indușului decît adîncimea de pătrundere a cîmpului electromagnetic, generează o serie de fenomene (efecte) specifice motorului liniar, ce vor fi prezentate în cele ce urmează.

4.1.1. Efecte specifice motorului liniar

Efectul longitudinal

Considerînd cazul unui inductor finit (cazul real al mașinii liniare), datorită acestei lungimi finite, corespunzătoare unei "secționări" bruscă a circuitului magnetic, se obține o variație bruscă a reluctanțelor magnetice la capetele mașinii.

Acest fenomen constructiv stă la baza efectului longitudinal.

Efectul longitudinal static

Constă din șuntarea cîmpului electromagnetic la capetele mașinii, aici existînd linii de cîmp care evită trecerea prin întrefier, închizîndu-se prin aer. Această șuntare apare atît în zonele de intrare, cît și în cele de ieșire a indușului de sub inductor. Teoretic, acest efect se poate lua în considerare printr-o zonă $K\lambda$ în care apare cîmpul de șuntare în afara întrefierului δ , λ fiind lungimea mașinii. Prin estimarea formei liniilor cîmpului de șuntare, se poate deduce o relație între K și dimensiunile geometrice ale mașinii. [70]

Efectul longitudinal dinamic

Acest efect este cauzat de intrarea și ieșirea succesivă, în timpul mișcării, a unor părți din induș, sub inductor. Astfel, în zona capătului de intrare a inductorului, în mod continuu, noi porțiuni din induș trec dintr-o zonă în care n-au loc nici un fel de fenomene electromagnetice în zona cu cîmp de sub inductor.

Pentru a pătrunde în esența efectului longitudinal dinamic se presupune un contur γ al secundarului, care se deplasează cu viteza V , (fig. 16), pe care se consideră un punct M .

Cînd $M \rightarrow M_1$, circuitul γ nu e străbătut de flux magnetic, acest circuit nefiind parcurs de curent electric i .

Cînd $M \rightarrow M_2$, conturul γ e străbătut de flux, deci apare curentul i care, prin fluxul său de reacție, se opune fluxului inductor. Dacă se presupune în continuare că $V = V_s$, adică indușul e în repaus față de unda spațială de cîmp inductor, γ e străbătut de un flux ce nu mai variază, deci în zona centrală în γ nu mai există curenți. Dar curentul ce a luat naștere sub muchia de intrare nu se stinge imediat, ci dispare la o distanță $\Delta = V \cdot T$, unde T este constanta de amortizare a acestui curent. Datorită fluxului de

reație sub muchia de la intrare, prelungită pe distanța Δ , cimpul magnetic resultant din intrefier este perturbat, rezultatul acestui fenomen fiind pierderi suplimentare și apariția unor forțe de frinare, ce conduc la diminuarea forței de propulsie. Analog se petrec fenomenele și ale ieșirea indușului de sub inductor, de această dată curentul ce ia naștere când $M \rightarrow M_4$ tinzând să acționeze cimpul inductor. Acest curent se amortizează însă rapid.

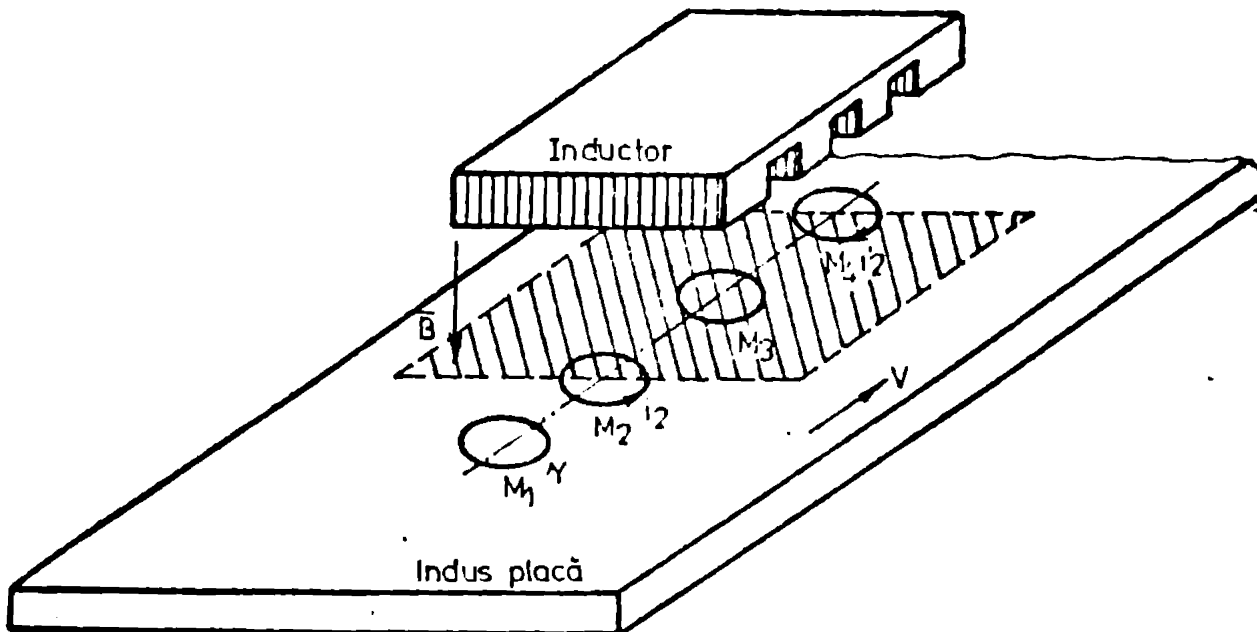


Fig. 16. Explicativă privind efectul longitudinal dinamic

Prin urmare, datorită acestui efect, chiar și la sincronism, în ipoteza neglijării armonicilor cimpului, apar curenți induși în secundar, care produc forțe și pierderi suplimentare.

Ponderele efectului longitudinal dinamic și a forțelor longitudinale de frinare scade cu creșterea numărului de poli al primarului. Efectul longitudinal la motor este maxim la sincronism dar are o pondere importantă într-o gamă largă a alunecărilor mici: $s = 0,2 - 0,0$.

În vederea limitării efectului longitudinal dinamic, se pot lua următoarele măsuri:

- modificarea profilului capetelor inductorului;
- introducerea unor bobine de compensație, plasate la capetele inductorului;
- creștături marginale semibobinate, care dau numai jumătate din solenauția zonei centrale, complet bobinate. Astfel, placa induș pătrunde treptat din zona fără cimp în zona cu cimpul (solenauția) maximă.

Efectul transversal

Acest efect este cauzat de valorile finite ale dimensiunilor transversale ale inductorului, respectiv indușului, precum și de caracterul liber,

nedirijat, al curenților induși în secundarul tip placă.

Datorită cîmpului inductor B , apar curenți secundari i , care au posibilitatea închiderii chiar în zona activă a mașinii, adică sub inductor. Deci în placă indus iau naștere bucle de curent ce se închid în zona activă, ceea ce echivalează cu apariția lui i_x și i_y (fig. 17).

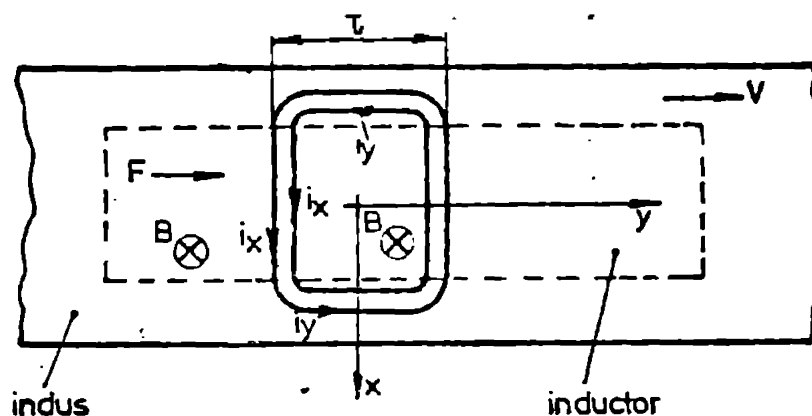


Fig. 17. Linii de curent induse și componentele ce determină manifestarea efectului transversal.

Componenta transversală i_x a curentului interacționează util cu cîmpul inductor B (ca la motoarele clasice), producînd forța tangențială F . Componenta i_y interacționează și ea cu B , dînd forțe tangențiale după axa x , inutile din punct de vedere al propulsiei, care, la un inductor plasat simetric, se echilibrează. Din punct de vedere al cîmpului, i_y dau o reacție B_{r2} care, în zona marginilor, are sens contrar reacției componentei utile B_{r1} .

Datorită reacției principale B_{r1} și a reacției marginale B_{r2} are loc o intensă redistribuție a cîmpului în întrefier, acesta prezentînd un minim în zona centrală (unde curenții indus utili sînt mari).

Prin prezența componentelor i_y , liniile de curent sînt aparent mai lungi decît în cazul absenței acestora și lucrurile se petrec ca și cum rezistivitatea echivalentă a plăcii s-ar mări de K_t ori ($K_t > 1$). Prin urmare, efectul transversal conduce la creșterea pierderilor și la reducerea factorului de putere.

Efectul transversal se poate neglija la motoarele liniare unde dimensiunea transversală e în general mare față de pasul polar.

Efectul de refluxare

Datorită pătrunderii cîmpului electromagnetic în placă masivă a indusului, se produce efectul de refluxare, care are drept consecință reducerea amplitudinii și modificarea fazei densității de curent în direcția adiacenței indusului. Repartiția cîmpului pe grosimea plăcii indus e modificată, ca în fig. 18 (motor liniar bilateral).

S-a notat cu 1,3 - inductoarele liniare; 2 - placa indus. Curentii de reactie din placa indus tind să atenueze cimpul la pătrunderea sa în indus, o consecință directă a acestui efect este mărirea aparentă a rezistivității plăcii și modificarea forței de propulsie.

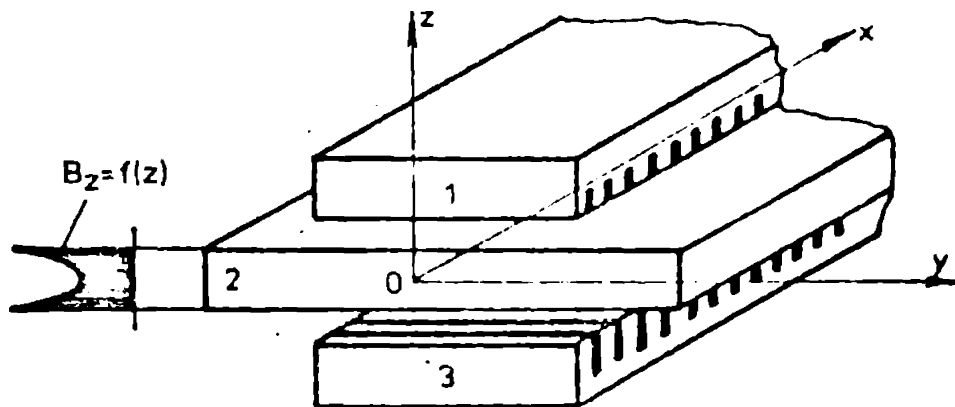


Fig. 18. Repartiția cimpului electromagnetic la manifestarea efectului de refluxare în cazul motorului liniar bilateral

Acest efect depinde de frecvența curentului din indus, constantele de material și de grosimea indusului.

Efectul de refluxare are o importanță marită la un indus feromagnetic. Analiza sa e îngreunată de neliniaritatea caracteristicii $\mu(H)$ și de efectul de saturație magnetică.

Distorsionarea liniilor de curent dintr-un indus placă, datorită efectului de refluxare, este cu atât mai pronunțată, cu cât grosimea indusului placă e mai mare. Pentru momentul pornirii ($s = 1$), efectul modificării grosimii indusului e maxim, datorită frecvenței de 50 Hz a curentilor induci.

4.2. Oportunitatea suprapunerii influenței efectelor specifice. Factorii de corecție pentru efectul transversal, efectul pelicular și dispersia în intrefier

După cum s-a menționat la cap. 4, numeroasele efecte care caracterizează funcționarea motorului liniar îngreunează considerabil găsirea unei metode eficiente de calcul electromagnetic a performanțelor acestui motor. A ține cont de toate aceste efecte înseamnă rezolvarea ecuațiilor de câmp în spațiul bidimensional. În acest sens, există numeroase lucrări, în care se propun fie soluții bi și tridimensionale analitice, fie numerice bidimensionale. [7, 69,29].

Se constată însă că în aceste cazuri, prinderea în relații matematice a fenomenelor specifice și deducerea unor parametri specifici dau până la urmă expresii matematice coasebit de complexe, pentru a căror rezolvare folosirea calculatorului electronic devine absolut necesară. Această ultimă

cerință este impusă și de calculele iterative care intervin frecvent la deducerea performanțelor motoarelor liniare studiate. Dezavantajele apar următoarele aspecte:

- 1) timpul de calcul pe calculator este mare;
- 2) urmărirea influenței diferiților parametri asupra performanțelor devine extrem de dificilă.

O serie de lucrări teoretice și experimentale au demonstrat însă oportunitatea estimării performanțelor motoarelor liniare pe baza rezolvării ecuațiilor de câmp ținându-se cont de manifestarea unui singur efect dominant, de care se ține seama printr-un model matematic cvasiunidimensional, celelalte efecte fiind luate în considerare prin coeficienți de corecție calculați prin studiul separat al acestor fenomene.

Această metodă a "tratării separate a fenomenelor" sau "teorii tehnice de câmp" se va folosi în continuare și în lucrarea de față. Astfel, se consideră că în aprecierea calitativă a fenomenelor ce vor sta la baza estimării performanțelor motoarelor asincrone liniare studiate, influența efectului longitudinal de capăt este determinantă. De acest efect se va ține seama la deducerea ecuațiilor câmpului electromagnetic, printr-o teorie cvasiunidimensională. Efectul transversal, pelicular și dispersia în întrefier vor fi luate în considerare prin coeficienții de corecție estimați conform celor specificate mai sus.

Metoda tratării separate a fenomenelor conduce la evidențierea rapidă a factorilor care influențează parametrii și performanțele motorului liniar, determinând totodată și o scădere pronunțată a timpului de calcul pe calculator.

Utilitatea metodelor bi și tridimensionale se menține după acest calcul preliminar amintit, în sensul creșterii preciziei și stabilirea corectă a traiectoriilor reale ale liniilor de câmp magnetic și a curenților induși în secundar.

4.2.1. Factorii de corecție pentru efectul transversal

În conformitate cu considerațiile menționate la începutul subcapitolului 4.2., stabilirea performanțelor motorului liniar, în mod concret a forței de propulsie dezvoltate, se poate face prin rezolvarea ecuațiilor de câmp în condițiile unui model matematic de calcul unidimensional numai în situația în care se ține cont de manifestarea unui singur efect specific dominant motorului liniar. Celelalte efecte se iau în considerare prin coeficienți de corecție fie calculați prin studiul separat al acestor fenomene (efecte), fie deduși făcându-se o analogie fenomenologică a manifestării acestor efecte la motorul liniar și la alte tipuri de motoare electrice rotative.

Această metodă a "tratării separate a fenomenelor" sau "teorie tehnică de câmp", care oferă o evaluare mai rapidă, directă și inginerască a performanțelor motorului liniar, se va folosi în continuare și în prezenta lucrare, considerându-se că efectul dominant, cu o contribuție hotărâtoare în stabilirea forței de propulsie a motoarelor liniare ce vor fi analizate, este efectul longitudinal de capăt. Ținând însă cont de o serie de date privind geometria motoarelor în studiu (în special lățimile diferite ale inductorului și indusului), de tipul inductorului (unilateral) și a indusului (tip placă fier - cupru (aluminiu)), precum și de valorile frecvenței secundare f_2 (în general scăzute), o apreciere analitică realistă a forțelor de propulsie dezvoltate de motorul liniar se poate face numai printr-o evaluare a ponderii pe care o au efectele transversal și pelicular asupra rezistivității plăcii secundare conductoare (Cu sau Al), parametru care este inclus, după cum se va vedea în continuare, în expresia forței de propulsie. Acuar, în condițiile susmenționate, se impune cunoașterea și aplicarea coeficienților de corecție ce iau în considerare efectele transversal și pelicular, considerații referitoare la stabilirea acestora făcând obiectul subcapitolelor 4.2.1. și 4.2.2.

În cele ce urmează, obiectul studiului îl constituie motorul liniar unilateral.

Pe baza unei teorii de câmp ce ia în considerare numai efectul transversal în placa de aluminiu (sau cupru), [18], considerându-se permeabilitatea și rezistivitatea miezului magnetic al secundarului infinite, s-au calculat coeficienții de corecție K_{tr} și K_{tm} (menționați și în lucrările [20]

[58]); K_{tr} determină creșterea rezistivității secundare R_2 , iar K_{tm} determină scăderea reactanței de magnetizare X_m .

$$K_{tr} = \frac{K_x^2}{K_R} \left[\frac{1 + (s \cdot \sigma_{ep} \cdot K_R / K_x)^2}{1 + s^2 \cdot \sigma_{ep}^2} \right] \geq 1 \quad (4.2)$$

$$K_{tm} = \frac{K_R}{K_x} \cdot K_{tr} \leq 1 \quad (4.3)$$

unde:

$$K_R = 1 - R_0 \left[(1 - js\sigma_{ep}) \frac{\lambda}{\alpha \cdot a_0} \cdot \text{th} \alpha a_0 \right] \quad (4.4)$$

$$K_x = 1 + R_0 \left[(s \cdot \sigma_{ep} + j) \frac{s \cdot \sigma_{ep} \cdot \lambda}{\alpha \cdot a_0} \cdot \text{th} \alpha a_0 \right] \quad (4.5)$$

$$\lambda = 1 / \left[1 + (\sqrt{1 + js\sigma_{ep}}) \text{th} \alpha a_0 \cdot \text{th} \frac{\pi}{6} (c - a_0) \right] \quad (4.6)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{6} \sqrt{1 + js\sigma_{ep}} \quad \sigma_{ep} = \frac{2 \cdot \mu_0 \cdot \sigma_{cu} \cdot \sigma_{cu} \cdot d_{cu}^2}{8 \cdot d_c \cdot (1 + K_p)} \quad (4.7)$$

$$\sigma_0 = \sigma_m + \sigma_{cu} \quad (4.8)$$

f_1 = frecvența de alimentare; τ = pasul polar al bobinajului primarului;
 δ_m = întrefier mecanic; d_{cu} = grosimea plăcii de cupru; σ_{cu} = conductivitatea plăcii secundare; s = alunecare; K_p = coeficient ce ia în considerare influența reluctanței magnetice a miezului magnetic al secundarului; K_g = factorul lui Carter; G_{ep} = factorul de calitate; a_0 = scărițimea echivalentă a inductorului; σ = scărițimea inducției.

Existența fierului masiv în situația unui indus tip "sandwich" (plăci fier - plăci cupru) cauzează apariția saturației magnetice și a curenților turbionari. Aceste fenomene vor fi luate în considerare la calculul influenței efectului transversal printr-un procedeu iterativ etapizat.[4]

Coeficientul K_p are expresia:

$$K_p \approx \frac{\tau^2}{\pi^2} \cdot \frac{\mu_0}{\mu_1 \cdot \delta_1 \cdot K_c \cdot \delta_0} \quad (4.9)$$

unde δ_1 este adâncimea de pătrundere a cîmpului magnetic în fierul masiv al secundarului:

$$\delta_1 \approx R_0 \left[\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\pi^2}{\tau^2} + 2\pi \cdot s \cdot \mu_1 \cdot \frac{\sigma_{cu}}{K_{t1}}}\right)}} \right] \quad (4.10)$$

μ_1 este permeabilitatea echivalentă a fierului masiv, iar K_{t1} este coeficientul de corecție de efect transversal corespunzător curenților induși în miezul magnetic masiv al secundarului.

a_0 este scărițimea echivalentă a miezului primarului, expresia sa ținând cont de dispersia frontală a cîmpului magnetic:

$$a_0 \approx a + \frac{\delta_0}{2} \quad (4.11)$$

Dacă se dă permeabilității fierului secundarului o valoare inițială μ_1 , se pot calcula expresiile (4.9) - (4.11) la valori date ale dimensiunilor geometrice și alunecării.

Se înlocuiește apoi motorul liniar real cu altul ideal, adică fără efect transversal, saturație sau curenți turbionari în miezul cu $\mu = \infty$, care însă, fiind echivalent energetic cu cel real are întrefierul echivalent δ_{∞} și factorul de calitate echivalent G_{∞} :

$$\delta_{\infty} = \frac{\delta_0 \cdot K_c \cdot (1 + K_p)}{K_{t1}} \quad (4.12)$$

$$G_{\infty} = \frac{2\tau_1 \cdot \mu_0 \cdot \tau^2}{\pi \cdot \delta_{\infty}} \left(\frac{\sigma_{cu} \cdot d_{cu}}{2\tau} + \frac{\sigma_1 \cdot \delta_1}{K_{t1}} \right) = \frac{2\tau_1 \cdot \mu_0 \cdot \tau^2}{\pi \cdot \delta_{\infty}} \cdot \sigma_{cu} \cdot \sigma_{\infty} \quad (4.13)$$

unde σ_{∞} este conductivitatea echivalentă a plăcii secundarului motorului ideal.

$\sigma_{\infty} \cdot \delta_{\infty} \cdot \sigma_{\infty}$ se calculează la o valoare dată a permeabilității magnetice μ

motorului secundarului, în timp ce în realitate acesta depinde esențial de soluția primară și de frecvența secundară $f_2 = kf_1$. Pentru calculul valorii echivalente a lui μ se poate folosi un calcul iterativ, al cărui principiu se arată cuprins în [47]. În vechi acestui calcul, pentru fiecare frecvență secundară f_2 și soluție primară e_{20} , la dimensiuni geometrice date, efectul transversal al motorului liniar real este estimat prin determinarea intrinsecului d_{00} și a factorului de calitate a motorului liniar ideal.

După cum rezultă din cele prezentate, metoda expusă pentru estimarea efectului transversal este laborioasă, necesitând utilizarea calculatorului electronic, înlocuibil în calculul iterativ a permeabilității μ .

Deociră, pentru a putea aprecia mai ușor influența efectului transversal asupra parametrilor motorului liniar, spre a fi inclus la efectul calculului, în literatura de specialitate se dau o serie de relații relativ simple, care oferă posibilitatea calculării, în cele mai multe cazuri, a unui coeficient K_t , care determină o creștere a rezistivității secundare.

Astfel, coeficientul de corecție Russel - Norworthy are expresia [58]

$$K_t = \frac{\pi \frac{l-1}{2b}}{\frac{\pi l}{2b} \left[1 + \operatorname{th} \left(\frac{\pi l}{2b} \right) \right] + \frac{\pi c}{2b}} \quad (4.14)$$

unde $l = 2a =$ lățimea primarului, iar $c =$ diferența dintre lățimile plăcii induse și a primarului.

În acest caz, creșterea rezistivității ρ a secundarului va fi dată de relația :

$$\rho^0 = \frac{\rho}{1 - K_t} \quad (4.15)$$

Prin analogia fenomenelor ce au loc în inductorul masiv, în formă de placă, a motorului liniar de inducție și o mașină electrică rotativă cu inductorul (rotorul) tot placă, dar în formă de pahar, în [43] se indică o altă formă a coeficientului de majorare a rezistivității secundare, având expresia:

$$K_t = 1 + \frac{1}{\xi_1 \left[\operatorname{cth} \xi_1 - \frac{1}{\xi_1} + \operatorname{th}(\xi_2 - \xi_1) \right]} \quad (4.16)$$

în care: $\xi_1 = \pi l_1 / 2b$, iar $\xi_2 = \pi l_2 / 2b$, cu $l_1 = 2a =$ lățimea inductorului, $l_2 =$ lățimea plăcii induse.

Relațiile (4.14) și (4.16) sînt independente de alunecare, depinzînd doar de configurația geometrică a motorului liniar.

Pentru motoare liniare avînd inductorul de lățime egală cu cea a inductorului, coeficientul K_{tr} are expresia: [15]

$$K_{tr} = \frac{1}{1 - \frac{\operatorname{th} \frac{\pi}{b} a_e}{\frac{\pi}{b} a_0}} \quad (4.17)$$

$$\text{avind } s_0 = a + (1-2)\delta$$

După cum se indică în [16], efectul transversal se poate neglija la motoarele liniare la care dimensiunea transversală e în general mare față de pasul polar. Avind în vedere faptul că fluxul de dispersie al capetelor de bobină induce tensiuni electromotoare în părțile laterale ale indusului, rezultând astfel pierderi suplimentare, tot din lucrarea [16] rezultă un raport optim între lățimea indusului și cea a inductorului, introducând condiția de maxim a forței:

$$\frac{2c}{2a} = 1,47 \quad (4.18)$$

Astfel se poate estima o lățime optimă a plăcii indus, atât din punctul de vedere al efectului transversal, cât și cel al asigurării unor pierderi minime.

4.22. Corecția de efect pelicular și dispersia în întrefier

Avind în vedere faptul că frecvența în secundar f_2 e menținută la valori scăzute, pentru factorul de corecție rezistiv al efectului pelicular, K_{ep} , în placa de cupru (aluminiu) a secundarului motorului linear unilateral se poate utiliza relația cunoscută de la mașinile rotative [17]:

$$K_{ep} = \frac{d}{d_g} \cdot \frac{\text{sh}(d/d_g) + \sin(d/d_g)}{\text{ch}(d/d_g) - \cos(d/d_g)} \quad (4.19)$$

unde d_g e adâncimea de pătrundere a cîmpului în cupru (aluminiu):

$$d_g^{-1} \approx \sqrt{2\omega\mu_0 \cdot \sigma_{Cu} + \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{\delta}\right)^2} \quad (4.20)$$

Astfel conductivitatea echivalentă a cuprului (aluminului), ținînd cont numai de efectul pelicular, devine:

$$\sigma_{Cu1} = \frac{\sigma_{Cu}}{K_{ep}} \quad (4.21)$$

Corecția corespunzătoare dispersiei în întrefier rezultă prin rezolvarea ecuațiilor de cîmp în întrefier, în absența plăcii indus. Drept condiție de echivalență s-a ales conservarea valorii componentei normale a inducției magnetice B_δ în întrefier la suprafața secundarului. În final rezultă un efect de creștere aparentă a întrefierului la valoarea δ_{01} :

$$\delta_{01} = \delta_0 \cdot K_d \quad (4.22)$$

$$K_d \approx \frac{\delta_0}{\pi \cdot \delta_0} \cdot \text{sh} \frac{\pi}{\delta} \cdot \delta_0 \geq 1 \quad (4.23)$$

În concluzie, utilizîndu-se σ_{Cu1} și δ_{01} în relațiile (4.2) - (4.11) se ia în considerare, aproximativ, efectul de refluxare și dispersie în întrefier.

4.3. Calculul forței de propulsie la motorul liniar asincron unilateral, utilizând o teorie unidimensională

Pe parcursul acestei subcapitole, problema calculării forței de propulsie la motorul liniar de inducție se va analiza sub două aspecte:

1) Deducerea ecuației componentei normale a inducției magnetice din întrefier în absența efectelor specifice motorului liniar și calculul amplitudinii unei componente a acestei componente, ce se compară față de înșus cu viteza unei plăci de curent staționare. Interacțiunea acestei unde cu fundamentala plăcii de curent inductoare va produce o nouă forță de propulsie convențională, care reprezintă forța utilă de tracțiune de motorul liniar (M), neglijând manifestarea fenomenelor: longitudinală (de capăt), transversală, de refluxare, etc. Se va determina forma simplificată a expresiei acestei forțe, care va permite un calcul mai expeditiv al caracteristicilor mecanice ale motorului liniar, așa cum se va ilustra în subcapitolele ce urmează.

2) Folosind teoria termenilor de ordin întâi longitudinal, pe baza unui model de calcul evasiunidimensional, se vor stabili ecuațiile cimpului electromagnetic din întrefierul mașinii liniare în această situație. Se vor pune în evidență undele efectului longitudinal, efectuându-se apoi o analiză calitativă și cantitativă a efectului acestor unde asupra forței de propulsie rezultante a motorului liniar.

Stabilirea ecuațiilor cimpului magnetic din întrefier se va face în ambele cazuri pe baza ecuațiilor lui Maxwell.

4.3.1. Calculul expresiei forței de propulsie convenționale

Deducerea pe cale analitică a acestei forțe se face pornind de la un model de calcul prezentat în fig. 19, adoptându-se următoarele ipoteze de calcul:

- înfășurarea trifazată este dezechilibrată sinusoidal de-a lungul mașinii sub formă de plăci de curent;
- Toate mărimile electromagnetice variază sinusoidal în timp;
- de prezența creșturilor și de efectele specifice motorului liniar se ține cont prin coeficienții de corecție care vor fi determinate ulterior, urmând fie forma finală a expresiei forței de propulsie, (după cum se va vedea în cazul manifestării efectului longitudinal (cap. 4.3.2.), fie valoarea unor parametri ai mașinii liniare care intră în expresia de calcul a forței (coeficientul efectului de refluxare, ce modifică valoarea conductivității echivalente a suprafeței (aluminului), factorul lui Carter, înșus de prezența creșturilor, precum și dispersia în întrefier, ambele ducând la un întrefier de calcul superior celui real, etc.);

- conform ipotezei de câmpuri susmențite, curenții induși în secundar au numai o componentă transversală.

- permeabilitatea miezului primarului și a plăcii de fier secundare se consideră infinite.

- se consideră în întregul câmpul magnetic inductor având numai componentă după axa Z (fig. 19).

Se notează densitatea liniară a solenității statorice cu a_{1y} , iar densitatea liniară locală a solenității rotorice cu a_{2y} .

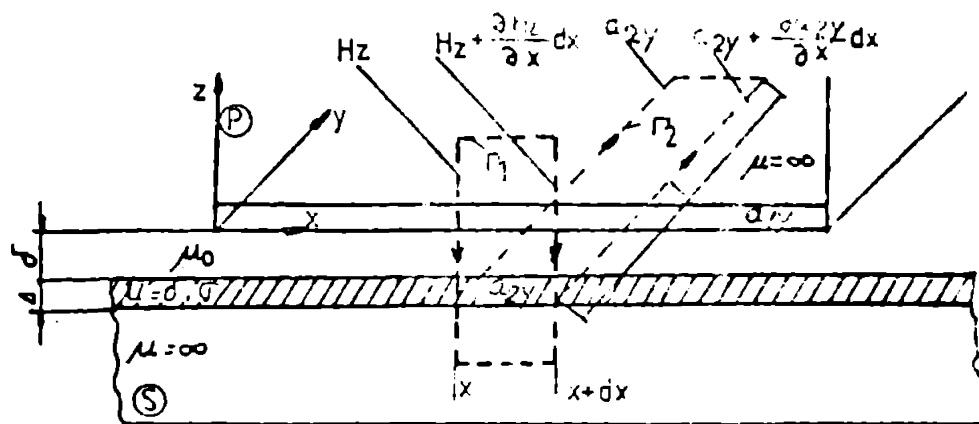


Fig. 19. Modelul de câmpuri pentru obținerea pe cale analitică a forței de propulsie convenționale la el. unilateral.

Pentru determinarea ecuației câmpului magnetic din întregul miez se vor scrie ecuațiile lui Maxwell.

Aplicând legea circuitului magnetic pe conturul Γ_1 (fig. 19), se obține:

$$\oint \left[H_z - \left(H_z + \frac{\partial H_z}{\partial x} dx \right) \right] = (a_{1y} + a_{2y}) dx \quad (4.24)$$

sau:

$$-\frac{\delta}{\mu_0} \cdot \frac{\partial B_z}{\partial x} = a_{1y} + a_{2y} \quad (4.25)$$

Pe de altă parte, din legea inducției electromagnetice aplicată conturului Γ_2 din planul secundarului rezultă:

$$\frac{\rho \cdot l}{\Delta} \left[\left(a_{2y} + \frac{\partial a_{2y}}{\partial x} dx \right) - a_{2y} \right] = -l \frac{\partial \Phi_z}{\partial t} dx \quad (4.26)$$

unde $\frac{\rho}{\Delta}$ definește rezistivitatea specifică a materialului din care este realizat conductorul (placa de cupru sau aluminiu), iar l este lungimea solenului liniar. Rezultă:

$$\frac{\rho}{\Delta} \cdot \frac{\partial a_{2y}}{\partial x} = - \frac{\partial B_z}{\partial t} \quad (4.27)$$

Eliminând între ecuațiile (4.25) și (4.27) densitatea liniară a solenității rotorice a_{2y} , se obține ecuația necompletă cu derivate parțiale a inducției rezultante B_z în direcția z:

$$-\frac{\delta \cdot \rho}{\mu_0 \cdot \Delta} \cdot \frac{\partial^2 r_1}{\partial x^2} - \frac{\rho}{\Delta} \cdot \frac{\partial a_{1y}}{\partial t} = \frac{\rho}{\Delta} \cdot \frac{\partial a_{2y}}{\partial x} = -\frac{\partial \mathcal{A}}{\partial t} \quad (4.28)$$

unde:

$$-\frac{\delta \cdot \rho}{\mu_0 \cdot \Delta} \cdot \frac{\partial^2 B_1}{\partial x^2} + \frac{\partial B_1}{\partial t} = \frac{\rho}{\Delta} \cdot \frac{\partial a_{1y}}{\partial x} \quad (4.29)$$

Acastă ecuație prezintă o soluție particulară a ecuației necomogene, respectiv o soluție generală ecuației omogene. Această soluție va reprezenta unda inducției magnetice ce se deplasează față de inductor cu viteză undei portătoare curent statorice (unda principală); în timp ce această soluție va pune în evidență influența undei efectului de câmp la bornele inductorului sub acțiunea inductorului (unda efectului longitudinal de câmp). Deoarece ne propunem determinarea forței de propulsie a motorului liniar în condiția manifestării efectelor specifice, determinăm soluția particulară a ecuației necomogene.

Pentru determinarea acestei soluții, se scrie expresia densității liniare a solenității statorice într-un punct al secundarului (sau a expresia fundamentalei):

$$a_{1y} = A_{1m} \sin \frac{\pi}{\tau_0} \left[x - (v_1 - v_2)t \right] = A_{1m} \sin(\beta x - \omega_1 t), \quad (4.30)$$

unde:

$$\beta = \frac{\pi}{\tau_0}; \quad (4.31)$$

$$s = 1 - \frac{v_2}{v_1}; \quad \text{reprezentă al. viteză secundarului;} \quad (4.32)$$

$v_2 = \text{viteză inductorului (de antrenare).}$

$$v_1 = \frac{\omega_1}{\beta}; \quad \text{viteza câmpului magnetic alundat statoric} \quad (4.33)$$

$\omega_1 = \text{pulsanta curentilor statorice.}$

Datorită variației câmpului magnetic liniar a solenității statorice, se consideră că toate câmpurile electrice magnetice deduse pe baza acestora, inclusiv inducția magnetică din întrafier, au o variație similară, intervenind între ele doar un defazaj constant φ . Pe baza acestor considerații se va putea deci scrie:

$$B_m = B_{m0} \sin(\beta x - \omega_1 t + \varphi) \quad (4.34)$$

În relația de mai sus, B_{m0} reprezintă valoarea soluției particulare a ecuației necomogene (4.29), a inductorului în întrafier, care va fi obiectul considerațiilor ce urmează.

Pentru determinarea soluției omogene, se scrie în reprezentarea în complex:

$$a_{1y} = \text{Im} \left\{ A_{1m} e^{j(\beta x - \omega_1 t)} \right\} \quad (4.35)$$

$$B_m = \text{Im} \left\{ \frac{B_{m0}}{s} e^{j(\beta x - \omega_1 t)} \right\} \quad (4.36)$$

în care

$$B_{-s} = B_{sm} \cdot e^{j\varphi} \quad (4.37)$$

Pe această buzi, ecuația (4.29) devine:

$$\frac{\pi^2 \cdot \delta \cdot \rho}{\tau^2 \cdot \mu_0 \cdot \Delta} \cdot B_{-s} - js\omega_1 B_{-s} = j \frac{\pi \cdot \rho}{\tau \cdot \Delta} A_{1m} \quad (4.38)$$

Împărțind în (4.38) ambii termeni cu ω_1 , se notează cu:

$$\frac{1}{G} = \frac{\pi^2 \cdot \delta \cdot \rho}{\omega_1 \cdot \tau^2 \cdot \mu_0 \cdot \Delta} = \frac{\pi^2 \cdot \delta}{\omega_1 \cdot \tau^2 \cdot \mu_0 \cdot \sigma \cdot \Delta} \quad (4.39)$$

unde s-a notat $\rho = \frac{1}{\sigma}$, σ fiind conductivitatea plăcii inductoare (de cupru sau aluminiu) de grosime Δ .

Factorul:

$$G = \frac{\omega_1 \cdot \tau^2 \cdot \mu_0 \cdot \sigma \cdot \Delta}{\pi^2 \cdot \delta} \quad (4.40)$$

reprezentând partea reală a cimpului magnetic din întrefier B_s în ecuația (4.38), a fost numit "factor de calitate", deoarece determină componenta activă a cimpului, adică cea care produce forța de propulsie. Marimea acestui factor oferă, sintetic, o primă informație cantitativă directă privind eficiența conversiei energie electromagnetice (a cimpului) - energie mecanică (forță dezvoltată), adică tocmai "calitatea" cu care mașina liniară realizează conversia susamintită. După cum se va vedea pe parcursul acestui capitol, expresia factorului de calitate va fi folosită frecvent, scrisă sub diferite forme (în afară de cea prezentată în relația (4.40)), tocmai datorită faptului că relativa ei simplitate oferă posibilitatea unei estimări într-o fază incipientă a performanțelor mașinii liniare în funcție de câteva date constructive ale acesteia.

Având expresia lui G , din ecuația (4.38) rezultă:

$$B_{-s} = \frac{-sG + j}{1 + s^2 G^2} \cdot \frac{\rho \cdot \tau}{\Delta \cdot \tau_1} A_{1m} \quad (4.41)$$

Forma complexă a inductiei în întrefier, B_{-s} , se mai poate scrie sub forma:

$$B_{-s} = \frac{-\rho \cdot \tau \cdot \tau_1 \cdot G^2}{\Delta \cdot \tau_1 \cdot G^2 (s^2 + \frac{1}{G^2})} + j \frac{\rho \cdot \tau_1 \cdot G}{\Delta \cdot \tau_1 \cdot G^2 (s^2 + \frac{1}{G^2})} = \frac{-\rho \cdot \tau \cdot \tau_1}{\Delta \cdot \tau_1 (s^2 + \frac{1}{G^2})} + j \frac{\rho \cdot \tau_1}{\Delta \cdot \tau_1 G (s^2 + \frac{1}{G^2})} = -L_{sd} + jL_{sq} \quad (4.42)$$

unde:

$$B_{sd} = \frac{\rho \cdot \tau \cdot \tau_1}{\Delta \cdot \tau_1 (s^2 + \frac{1}{G^2})} \quad (4.43)$$

reprezintă acea componentă a cimpului magnetic rezultat din întrefier, care

se prezintă nici un decalaj spațial în comparație cu unda progresivă a densității liniare a solenoidului static a_{1y} .

$$B_{-z} = \frac{\rho \cdot A_{1m}}{\Delta \cdot V_1 \left(s^2 + \frac{1}{G^2} \right) G} \quad (4.44)$$

se prezintă componenta câmpului rezultant din întrefier, în evoluția sa ca undă a_{1y} .

Pentru aflarea decalajului spațial φ din undele lui a_{1y} și B_{-z} se poate scrie:

$$B_{-z} = |B_{-z}| \cdot e^{j\varphi} = |B_{-z}| (\cos\varphi + j \sin\varphi), \text{ prin formula lui Euler (4.45)}$$

$$|B_{-z}| = \frac{\rho \cdot A_{1m} \cdot G}{\Delta \cdot V_1 (1 + s^2 G^2)} \cdot \sqrt{1 + s^2 G^2} = \frac{\rho \cdot A_{1m}}{\Delta \cdot V_1 \sqrt{1 + \frac{1}{G^2}}} \quad (4.46)$$

rezultă prin identificare:

$$|B_{-z}| \cos\varphi = B_{-z} \quad ; \quad |B_{-z}| \sin\varphi = B_{-z} \quad (4.47)$$

$$\cos\varphi = \frac{B_{-z}}{|B_{-z}|} = \frac{s \cdot \rho \cdot A_{1m}}{\Delta \cdot V_1 \left(s^2 + \frac{1}{G^2} \right)} \cdot \frac{\Delta \cdot V_1 \sqrt{s^2 + \frac{1}{G^2}}}{\rho \cdot A_{1m}} = \frac{s G}{\sqrt{1 + s^2 G^2}} \quad (4.48)$$

$$\sin\varphi = \frac{B_{-z}}{|B_{-z}|} = \frac{\rho \cdot A_{1m}}{\Delta \cdot V_1 \left(s^2 + \frac{1}{G^2} \right) G} \cdot \frac{\Delta \cdot V_1 \sqrt{s^2 + \frac{1}{G^2}}}{\rho \cdot A_{1m}} = \frac{1}{\sqrt{1 + s^2 G^2}} \quad (4.49)$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} = \frac{1}{s G} \quad (4.50)$$

Având expresia inducției magnetice rezultantă din întrefier, calculăm forța electromagnetică care se exercită asupra plăcii secundarului în cazul general când $V_2 \neq V_1$. Pentru aceasta vom scrie expresia densității superficiale a forței exercitate asupra plăcii secundarului rezultantă:

$$f_o = \frac{1}{2} B_z \cdot a_{1y} \quad (4.51)$$

Pentru motorul liniar unilateral.

Forța instantanee exercitată asupra statorului va fi:

$$f_s = \frac{1}{2} \int_0^{2p} B_z \cdot a_{1y} \cdot l \cdot dx \quad (4.52)$$

și conform principiului acțiunii și reacțiunii, forța instantanee exercitată asupra secundarului va fi:

$$F = -F_E = -\frac{1}{2} \int_0^{2p\tau} \frac{\partial}{\partial x} (E_2 \cdot a_{1y}) dx \quad (4.53)$$

Forța medie pe o perioadă $2\pi/\omega_1$ va fi:

$$F = \frac{\omega_1}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega_1} F dt = -\frac{\omega_1}{2\pi} \cdot \frac{\omega_1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega_1} \frac{\partial}{\partial x} (E_2 \cdot a_{1y}) dt dx =$$

$$= -\frac{1}{2} \frac{\omega_1^2}{2\pi} \int_0^{2p\tau} \int_0^{2\pi/\omega_1} (E_2 \cdot a_{1y}) dt dx = \frac{\omega_1^2}{2\pi} \int_0^{2p\tau} \int_0^{2\pi/\omega_1} E_{2x} a_{1y} dt dx \quad (4.54)$$

deoarece, așa cum s-a văzut, $\omega_{1y} < \omega_1$, iar ω_{2x} este în cuadratură de fază cu a_{1y} , iar produsul $E_{2x} \cdot a_{1y}$ are o medie în perioada $2\pi/\omega_1$.

Considerând amplitudinea tensiunii liniare a solenoidului statoric,

avem:

$$F = \frac{1}{2} \frac{\omega_1^2}{2\pi} \cdot 2p\tau \frac{z \cdot \rho \cdot A_{1m}^2}{\Delta \cdot V_1 (s^2 + \frac{1}{\gamma^2})} \cdot \frac{2\pi}{\omega_1} = \frac{1 \cdot \rho \cdot \tau}{\sigma_{Cu} \cdot \Delta} A_{1m}^2 \cdot \frac{1}{V_1} \frac{1}{s^2 + \frac{1}{\gamma^2}} =$$

$$= \frac{\tau}{\sigma_{Cu} \cdot V_1} \cdot A_{1m}^2 \cdot \frac{1}{s^2 + \frac{1}{\gamma^2}} \quad (4.55)$$

Aceasta este expresia forței de propulsie dezvoltate de autorul liniar de inducție, în situația de mijloc, efectelor specifice (în munități forță convențională), deosebindu-se de celelalte contribuind una din contribuțiile originale ale autorului pe parcursul lucrării.

Se observă că în expresia forței, constanta K cuprinde elemente ce depind de geometria anului liniar (distința înductorului, numărul de perechi de poli, pasul polar, grosimea plăcii de cupru (aluminiu). În general, conductivitatea σ_{Cu} a materialului în care este realizat rotorul de cupru, carea este efectelor transversale și de rotație, este cuprinsă în definiția la cap. 4.2, efecte de care se va ține seama pe parcursul lucrării de cercetare.

Amplitudinea tensiunii liniare a solenoidului statoric are expresia:

$$A_{1m} = \frac{3\sqrt{2} \cdot I_1 \cdot \sigma_1}{p \cdot \tau} \quad [\text{V/m}] \quad (4.56)$$

unde τ_1 = numărul de spire/lastră, iar I_1 este valoarea efectivă a curentului pe fază [A].

Se observă că A_{1m} este proporțional cu I_1 și invers proporțional cu numărul de spire τ_1 .

În general, legat de expresia (4.55) a forței de propulsie, se poate

afirma că, în anumite condiții de geometrie a mașinii liniare, tipul și amplitudinea undului, tehnologia constructivă a mașinii (în special a bobinajelor), în anumite limite de viteză, manifestarea unor efectelor specifice este puțin pronunțată, drept urmare experianța relativă a mașinilor de propulsie convenționale poate oferi o bună indicație asupra caracteristicilor de performanță ale motorului liniar de înaltă viteză. În cazul mașinii în care viteza vîntului este în mod deosebit de mare, efectul specific longitudinal este un efect specific motorului liniar care se manifestă, în special în limite largi de viteză. În acest caz, pentru a determina caracteristicile mașinii la forța de propulsie, trebuie estimată nu numai contribuția la forța de propulsie datorată efectelor de undă ale efectului de cuplaj, ci și contribuția la forța de propulsie convențională. Pe analizarea acestui aspect se va concentra atenția în continuare.

4.3.2. Calculul forței de propulsie a mașinii liniare cu câmp magnetic variabil longitudinal

În cele ce urmează, se va analiza interacțiunea câmpului magnetic variabil din interiorul mașinii liniare și se va estima forța de propulsie pe baza unei teorii tehnice de câmp, folosind ca model un câmp evolutiv unidimensional (câmpul magnetic variază după o sinusoidă [17]).

Modelul utilizat este reprezentat în Fig. 20.

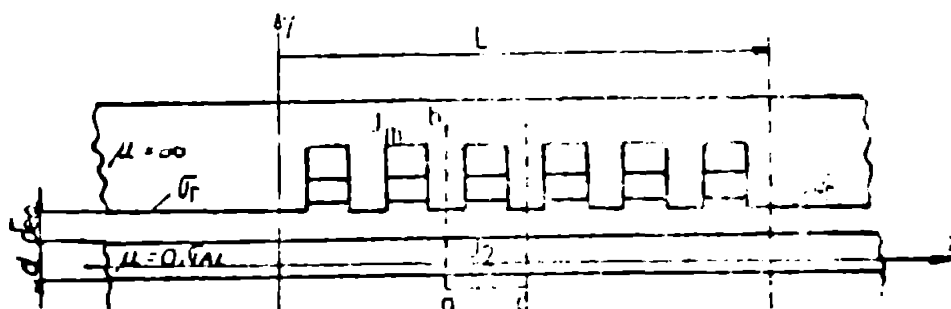


Fig. 20 Modelul de câmp utilizat în calcularea câmpului magnetic din interiorul mașinii liniare cu câmp magnetic variabil longitudinal.

Ipotezele de calcul se bazează pe cele menționate și pe cele menționate la subcap. 4.3.1. Suplimentar, se întorc la următoarele condiții:

Lungimea mașinii principalelor bobinajelor este infinită, dar, pentru a lua în considerare faptul că în realitate ea este finită, se face și spatele bobinajului principal se plasează, în fața și în spatele mașinii, un material teoretic pur reactiv cu permeabilitate magnetică specifică este σ_r .

În complex, rezulta că câmpul magnetic este în orice punct:

$$j_m = j_m \cdot e^{j(\omega_0 t - \frac{\pi}{\delta} x)} \quad (4.57)$$

Se consideră creștăturile miezului primar complet bobinate. Pentru determinarea ecuației circuitului se aplică din întregime se aplică mai întâi legea circuitului magnetic pe conturul abcd:

$$\oint_{abcd} \frac{\partial H}{\partial x} dx = J_m \cdot e^{-j \frac{\pi}{\tau} x} + J_2 \int_{x_1}^{x_2} dx \quad (4.58)$$

unde J_2 reprezintă densitatea curentului din inductor.

Fapt fiind faptul că, în conformitate cu metodele de calcul, toate mărimile variază sinusoidal în timp, în relația de mai sus s-a omis variația în timp a mărimilor ce intervin.

Pe baza legii inducției electromagnetice avem:

$$\frac{\partial J_2}{\partial x} = j\omega_1 \mu_0 \sigma_{ec} \left(1 + \mu_0 \cdot v \cdot \sigma_{ec} \right) \frac{\partial H}{\partial x} \quad (4.59)$$

unde v este viteza motorului, iar σ_{ec} este conductivitatea echivalentă a ML.

Eliminând pe J_2 din ecuațiile (4.58) și (4.59), rezultă ecuația de circuit:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} - \mu_0 \sigma_{ec} \cdot v \cdot \frac{dJ_2}{dx} \cdot \frac{\partial H}{\partial x} - j\omega_1 \mu_0 \sigma_{ec} \frac{c}{\sigma_{ec}} H = -j \frac{\pi}{\tau} \frac{J_m \cdot e^{-j \frac{\pi}{\tau} x}}{\sigma_{ec}} \quad (4.60)$$

Utilizând definiția factorului de calitate echivalent, (4.13), ecuația de mai sus devine:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} - \frac{\pi}{\tau} \sigma_{ec} (1-s) \frac{\partial H}{\partial x} - j \left(\frac{\pi}{\tau} \right)^2 \frac{H}{\sigma_{ec}} = -j \frac{\pi}{\tau} \frac{J_m \cdot e^{-j \frac{\pi}{\tau} x}}{\sigma_{ec}} \quad (4.61)$$

Soluția ecuației (4.61) este de forma:

$$H = A \cdot e^{\gamma_1 x} + B \cdot e^{\gamma_2 x} + \frac{J_m \cdot e^{-j \frac{\pi}{\tau} x}}{\sigma_{ec}} \quad (4.62)$$

unde:

$$\gamma_{1,2} = \frac{j \frac{\pi}{\tau} \sigma_{ec} (1-s)}{\sigma_{ec}} \pm \sqrt{\left(\frac{j \frac{\pi}{\tau} \sigma_{ec} (1-s)}{\sigma_{ec}} \right)^2 - j \left(\frac{\pi}{\tau} \right)^2 \frac{1}{\sigma_{ec}}} \quad (4.63)$$

Coefficienții γ_1 și γ_2 sînt rădăcinile ecuației caracteristice corespunzătoare ecuației (4.61):

$$\gamma_{1,2} = \frac{a_1}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{b_1 + 1}{2} + 1 + j \right) \left(\frac{b_1 - 1}{2} \right)} = \gamma_{1r} + j \gamma_{1i} \quad (4.64)$$

$$\delta_2 = -\frac{a_1}{2} \left[\sqrt{\frac{b_1+1}{2}} - 1 + j \sqrt{\frac{b_1-1}{2}} \right] = \delta_{2R} - j\delta_{2I} \quad (4.65)$$

unde:

$$a_1 = \frac{\pi}{6} G_{00} (1-s) = \mu_c G_{00} \cdot v \quad (4.66)$$

$$b_1 = \sqrt{1 + \frac{16}{G_{00}^2 (1-s)^2}} \quad (4.67)$$

Determinarea constantelor de propagare se face din ecuația cu ca soluția H (4.62) se face scriind ecuația de propagare pentru zonele de intrare ($x < 0$) și ieșire ($x > 2p\tau$), zona unde nu există curenți primari.

$$H_{\text{intrare}} = C \cdot e^{\delta_1 \cdot x} \quad \text{pentru } x < 0 \quad (4.68)$$

$$H_{\text{iesire}} = D \cdot e^{\delta_2 \cdot x} \quad \text{pentru } x > 2p\tau \quad (4.69)$$

Scriind ecuațiile condițiilor de continuitate pentru $x=0$ și $x=2p\tau$, condiții care impun conservarea intensității de câmp magnetic și a densității de curent secundare în aceste zone, avem:

$$(H_{\text{intrare}})_{x=0} = (H)_{x=0} \quad (4.70)$$

$$(H_{\text{iesire}})_{x=2p\tau} = (H)_{x=2p\tau} \quad (4.71)$$

$$\frac{d_{00}}{d_{AL}} \left(\frac{\partial H_{\text{intrare}}}{\partial x} \right)_{x=0} = (j_2)_{x=0} \quad (4.72)$$

$$\frac{d_{00}}{d_{AL}} \left(\frac{\partial H_{\text{iesire}}}{\partial x} \right)_{x=2p\tau} = (j_2)_{x=2p\tau} \quad (4.73)$$

Rezolvarea acestor ecuații se face în cele două cazuri la expresiile:

$$\underline{A} = -\frac{j \cdot J}{\Delta} (\beta \delta_2 + \omega s \mu_0 G_{00}) \cdot e^{-\delta_2 \cdot 2p\tau} \quad (4.74)$$

$$\underline{B} = -\frac{j \cdot J}{\Delta} (\beta \delta_1 + \omega s \mu_0 G_{00}) \quad (4.75)$$

unde:

$$\Delta = d_{00} (\delta_2 - \delta_1) (\beta^2 + j \cdot s \omega \mu_0 G_{00}) \quad (4.76)$$

$$\underline{C} = \underline{A} (1 - e^{2p\tau \cdot \delta_1}) \quad (4.77)$$

$$\underline{D} = \underline{E} (1 - e^{-2p\tau\delta_2}) \quad (4.78)$$

Revenind la ecuația (4.62) care dă expresia câmpului magnetic din întrefierul mașinii liniare, se pot trage următoarele concluzii:

- Câmpul magnetic rezultat, respectiv inductia magnetică din întrefierul unei mașini liniare de inducție cu dimensiuni longitudinale ale inductorului finite, se obține prin suprapunerea a 3 unde alunecătoare B_0 , B_1 și B_2 .

- Unda principală $B_0 = B_{00} e^{-j \frac{\pi}{\tau} x}$ se deplasează cu viteză sincronă $v_s = 2. \tau . f$, viteză identică cu cea a puterii de curent inductoare. Această undă este similară undei B_{11} obținută prin rezolvarea ecuației de câmp de la cap. 4.3.1. (ec. 4.41 și 4.42) și determină forța de propulsie convențională. B_0 se mai numește undă directă.

Peste această undă se suprapun două unde B_1 și B_2 , care se deplasează : una în sensul undei directe (principale), cealaltă în sens invers. Ambele unde suplimentare sînt amortizate, constantele lor de amortizare fiind diferite. Ele constituie undele efectului longitudinal dinamic sau undele efectului de capăt.

Unda care se deplasează în sensul undei directe B_0 este rezultatul discontinuității circuitului magnetic de la intrare.

$$B_{intrare} = \frac{1}{\Delta} \mu_0 I_m (\beta \delta_1 + \omega \mu_0 \sigma_{e0}) e^{-\delta_2 r \cdot x} \cdot e^{-j \delta_1 \cdot x} \quad (4.79)$$

Unda care se deplasează în sens invers undei directe este rezultatul discontinuității circuitului magnetic la ieșire.

$$B_{iesire} = - \frac{1}{\Delta} \mu_0 I_m (\beta \delta_2 + \omega \mu_0 \sigma_{e0}) e^{-(2p\tau-1)\delta_1 r \cdot x} \cdot e^{j \delta_1 (x-2p\tau)} \quad (4.80)$$

Părțile reale ale coeficienților δ_1 și δ_2 determină amortizarea undelor efectului de capăt în lung și direcția de mișcare, iar părțile lor imaginare determină vitezele sincrone ale acestor unde:

$$v_{s0} = \frac{\omega}{\delta_1} \quad \text{și} \quad v_{s2} = \frac{\tau}{\delta_2} \quad (4.81)$$

unde v_{s0} reprezintă pasul polar al undelor efectului de capăt.

O evaluare cantitativă a influenței undelor efectului de capăt este dată în fig. 21. (1)

Această figură prezintă amplitudinea de pătrundere în întrefier, în direcția mișcării, a celor două unde.

Din această figură se constată că unda efectului de capăt de la ieșire se atenuează rapid, adâncimea sa de pătrundere $\frac{1}{\delta_{2r}}$ în întrefierul mașinii fiind de ordinul de max. 10 mm. datorită acestei amortizări rapide, de câteva sute ori unda $P_{ieșire}$ se neglijează.

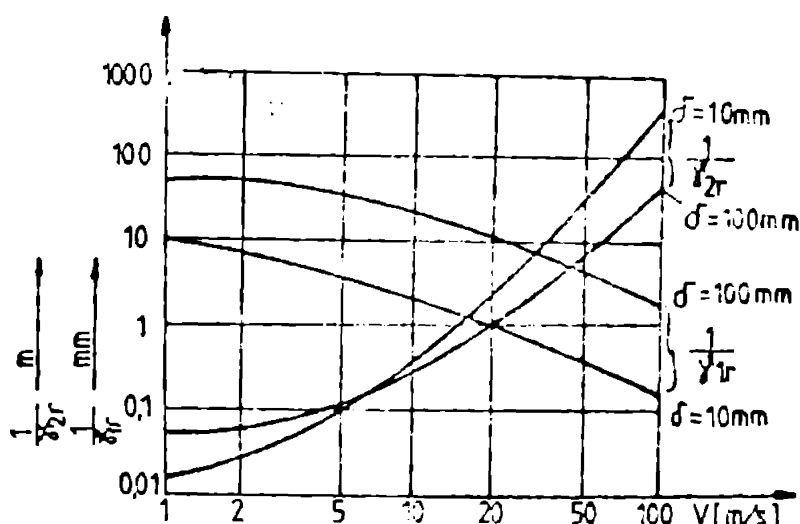


Fig. 21. Dependenta de viteză a adâncimii de pătrundere în întrefier a undelor efectului longitudinal de capăt.

Unda efectului de capăt de la intrare se atenuează lent, adâncimea sa de pătrundere $\frac{1}{\delta_{2r}}$ putând avea valori destul de ridicate, comparabile cu lungimea inductorului. Se poate afirma că, frecvent, această undă poate să parcurgă toată lungimea mașinii, atingând chiar și capătul de ieșire. S-a constatat experimental că performanțele motorului liniar de inducție sînt afectate de manifestarea undei efectului de capăt de la intrare, chiar și la vitezele liniare de mică viteză ($v < 10$ m/s). Aceste unde provoacă o micșorare a inducției magnetice rezultante în întrefierul mașinii, datorită reacției curentului ce se induce în secundar, cînd cu acesta intră într-o zonă fără cîmp magnetic într-o zonă cu cîmp (sub acțiunea de intrare a inductorului). Atenuarea acestei unde (rezultatul reacției secundare) fiind lentă, efectul ei de diminuare a cîmpului principal nu se poate manifesta pe întreaga lungime a mașinii, ducînd la o micșorare a forței de propulsie.

La viteze de valori sub viteza sincronă, efectul de diminuare a performanțelor motorului liniar, provocat de unda efectului de capăt la intrare, se manifestă concomitent cu efectul reacției curenților induși în secundar de cîmpul magnetic alunecător statoric (acești curenți dînd apoi interacțiunea utilă cu cîmpul statoric, producînd forța de propulsie).

Așadar, în aceste domenii de viteză, manifestarea efectului de capăt la intrare este apreciabilă, dar nu distinctă.

Cînd viteza de mișcare a inductorului devine egală cu viteza cîmpului alunecător (ca cea sincronă), efectul curenților de reacție induși de cîmpul

alunecător statoric în secundar dispare, aceasta fiind momentul în care unda efectului de capăt la intrare se manifestă distinct și cel mai pronunțat. Așadar, de obicei, efectul dominant al performanțelor motorului liniar de inducție, provocat de această undă, se manifestă în special la alunecări mici (sub 0,2), în apropiere de sincronism.

Dea fiind cele menționate, este clar că pentru o estimare teoretică realistă și corectă a performanțelor motorului liniar, trebuie făcută o rețineră cantitativă a ponderii pe care o are așa numita forță a undei efectului de capăt la intrare, în raport cu forța convențională.

O evaluare a manifestării forței efectului de capăt la intrare în domeniul alunecărilor mici pentru diferite valori ale factorului de calitate G , este prezentată în fig. 22.[58]

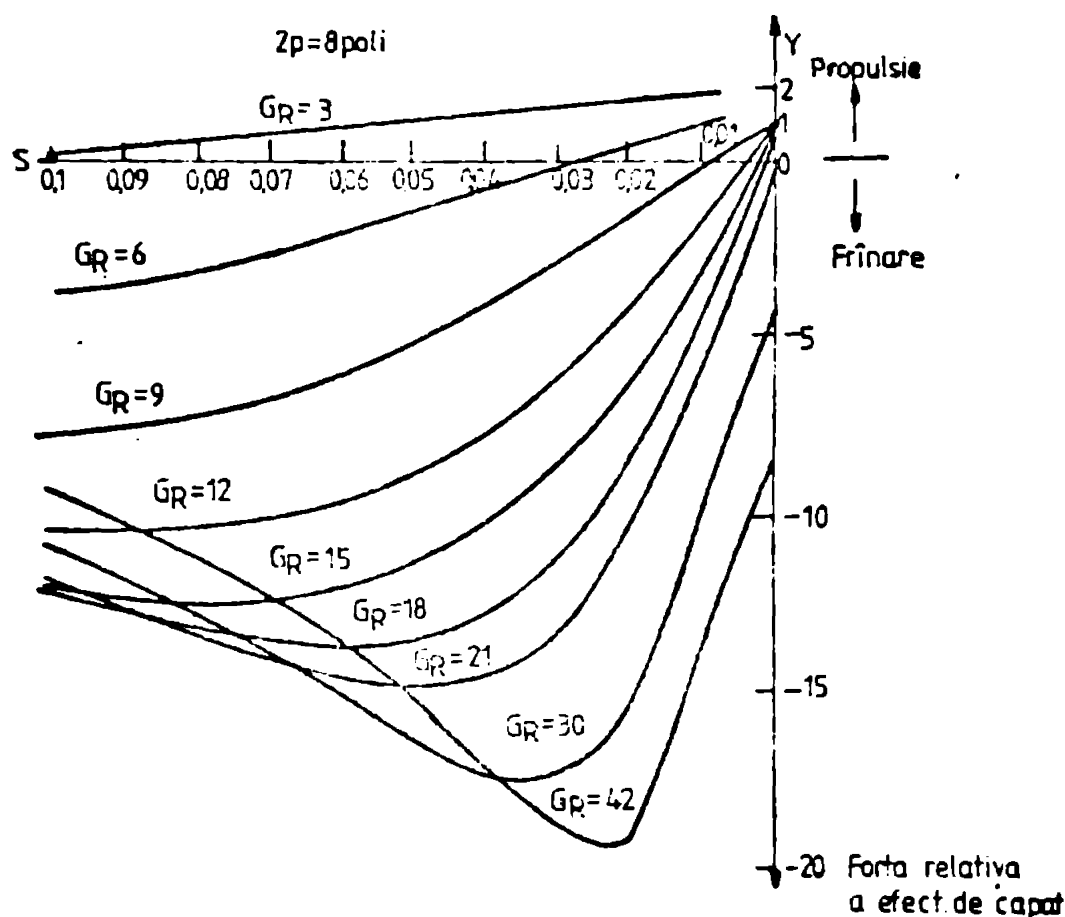


Fig. 22. Evaluarea manifestării forței efectului longitudinal de capăt la alunecări mici.

Se observă efectul de frinare al acestei forțe, care crește odată cu creșterea factorului de calitate al mașinii.

Manifestarea aceleiași forțe în funcție de raportul $\frac{Y}{V_s}$ este prezentată în fig. 23.[58]

Se constată efectul de frinare al acestor forțe și în domeniul de viteze relativ scăzute, chiar la un factor de calitate $G = 5$. Se remarcă de

deosebi, diferența esențială între manifestările acestei forțe la $\theta = 5$ și $\theta = 20$.

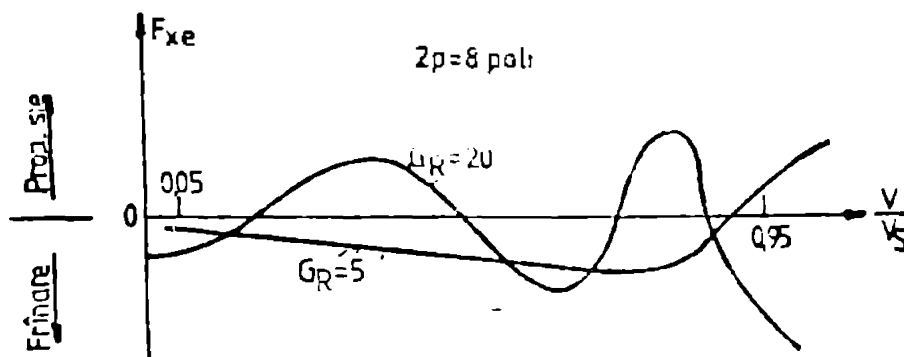


Fig. 23. Variația forței efectului longitudinal de capăt în funcția de raportul v/v_s .

Evaluarea cantitativă a forței efectului de capăt la intrare se poate face cu expresia: [58] :

$$F_{xe} = \mu_0 a J_m R_m \int_0^{2p\delta} \frac{\delta_0^* \cdot x - j\beta x}{r} \cdot dx \quad (4.82)$$

Forța convențională, determinată de componenta principală a câmpului magnetic resultant $\frac{B_m}{n} \cdot e^{-j\frac{2p}{\delta}x}$, are expresia:

$$F_{xc} = \mu_0 a J_m R_m \int_0^{2p\delta} F_n^* dx \quad (4.83)$$

Raportul dintre aceste două forțe va fi expresia influenței efectului longitudinal de capăt:

$$f_{\bullet} = \frac{F_{xe}}{F_{xc}} = \frac{R_m \left\{ \delta_0^* \left[\frac{-1 + \exp(2p\delta(\frac{\delta_0^*}{\delta} - j\beta))}{\frac{\delta_0^*}{\delta} - j\beta} \right] \right\}}{R_m (E_n^* \cdot 2p\delta)} \quad (4.84)$$

Așadar, introducând expresia factorului de calitate Q , avem:

$$f_{\bullet} = \frac{1 + \sigma^2 G^2}{2Q} \cdot \left\{ \frac{j \left(\frac{1}{\beta} + 2Q \right) \exp \left[2p\delta \left(\frac{\delta_0^*}{\delta} - j \right) \right] - 1}{\frac{1}{\beta} \left(\frac{\delta_0^*}{\delta} - \delta_1^* \right) (1 - j\sigma G) 2p\delta \left(\frac{\delta_0^*}{\delta} - j \right)} \right\} \quad (4.85)$$

Această relație oferă posibilitatea estimării lui f_{\bullet} în funcție de θ , σ și p .

Pe baza ecuației care exprimă inductia magnetică din jantefierul mașinii liniare (4.61), pentru situația de față (pozitivă), situație în care nu se manifestă efectul longitudinal de capăt, forța de propulsie la pornire are

expresia: [17]

$$F_{zo} = \frac{2a_e}{\pi \cdot \delta_{eo}} \left(p - \frac{1}{4}\right) \cdot \tau^2 \cdot J_m^2 \frac{\mu_0 \cdot a \cdot G_{eo}}{1 + s^2 \cdot G_{eo}^2} \quad (4.86)$$

$\left(p - \frac{1}{4}\right)$ indică faptul că poli marginali sînt semibobinați (pentru diminuarea efectului longitudinal dinamic). În situația unor creștături complet bobinate, ținînd cont de expresiile întrefierului echivalent (4.12) și a factorului de calitate echivalent G_{eo} (4.13), în care conductivitatea echivalentă G_{eo} a plăcii secundarului se consideră ca fiind estimată suficient de precis prin valoarea conductivității plăcii secundar de cupru G_{Cu} (în care se induc de fapt liniile de curent ce dau o interacțiune utilă cu câmpul magnetic inductor), această expresie se poate aduce la forma:

$$\begin{aligned} F_x &= \frac{2a_e}{\pi \cdot \delta_{eo}} p \tau^2 J_m^2 \mu_0 \cdot \frac{1}{G_{eo}} \cdot \frac{s}{s^2 + \frac{1}{G_{eo}^2}} = \\ &= \frac{2a_e \cdot K_{tm}}{\pi \cdot \delta_0 \cdot K_c (1 + K_p)} \cdot p \tau^2 J_m^2 \mu_0 \cdot \frac{\pi \cdot \delta_0 K_c (1 + K_p)}{K_{tm} \cdot 2 \mu_0 \tau^2 G_{Cu} \tau^2 d_{Cu}} \cdot \frac{s}{s^2 + \frac{1}{G_{eo}^2}} = \\ &= \frac{a_e \cdot p \cdot J_m^2}{G_{Cu} \cdot d_{Cu}} \cdot \frac{1}{\tau_1} \cdot \frac{s}{s^2 + \frac{1}{G^2}} = \frac{2a_e \cdot \tau \cdot p}{G_{Cu} \cdot d_{Cu}} \cdot J_m^2 \cdot \frac{1}{\tau_1} \cdot \frac{s}{s^2 + \frac{1}{G^2}} = \\ &= \frac{K}{G_{Cu} \cdot \tau_1} \cdot J_m^2 \frac{s}{s^2 + \frac{1}{G^2}} \quad (4.87) \end{aligned}$$

Se observă că această relație este identică cu expresia forței de propulsie convențională, (4.55) dată de autor la subcap. 4.3.1. Așadar, în cazul în care nu se manifestă efectele specifice ale motorului liniar asincron, relația care exprimă forța de propulsie este cea dată de (4.55), demonstrîndu-se astfel că ipotezele simplificatoare făcute la subcap.4.3.1. pentru a găsi o relație ușor abordabilă pentru calculul forței au fost juste.

4.3.3. Elemente de calcul ale forței de propulsie la motorul liniar asincron considerând natura inductivă far- magnetică

Calculul forței de propulsie în condițiile susmenționate are la ba-
za următoarele ipoteze simplificatoare:

- toate mărimile electromagnetice se presupun sinusoidale în timp;
- se neglijează efectul longitudinal și cel transversal, singurul
efect luat în considerare fiind cel de refluxare;
- se ține seama doar de fundamentala pătării de curent inductoare;
- se consideră cazul înfășurării inductoare cu un număr impar de
poli, în două straturi, cu creștăturile marginale semibobinate;
- se aproximează caracteristica de magnetizare a miezului feromag-
netic cu ecuația:

$$B = K \cdot H^{1 - \frac{2}{n}} \quad (4.83)$$

recomandată în [67], unde factorii n și K se determină experimental din apro-
ximarea analitică a curbei de magnetizare reală, conform ecuației (4.83).

Așa cum s-a menționat, metoda de calcul ia în considerare, în
principal, efectul de refluxare. Acest efect constă în reducerea amplitudinii
și modificarea fazei densității de curent secundar, în direcția adiacenței
inductivului (după axa z). Aprecierea analitică a acestui efect se face pe baza
pătrunderii cimpului în medii feromagnetice masive, fără a usa de ipoteza sim-
plificatoare a liniarității variației $B = f(H)$. După cum se va constata în
urma comparării cu curbele de magnetizare ridicate experimental, se poate con-
sidera că variația neliniară a curbei fundamentale de magnetizare $B = f(H)$ a
inductivului feromagnetic, poate fi bine aproximată analitic, mai ales în zona
totală, de relația $B = K \cdot H^{1-2/n}$.

Pentru estimarea analitică realistă a performanțelor motorului li-
niar este necesară determinarea cu o bună precizie a constantelor de material
și K ce vor interveni în calcule după metoda ce se va prezenta în cele ce
urmează. Aceasta înseamnă determinarea cât mai precisă a curbei analitice de
magnetizare, care să modeleze cât mai exact curba reală de magnetizare a in-
ductivului feromagnetic.

Pentru aceasta, se procedează în felul următor:

- se ridică experimental curba reală de magnetizare a plăcii indus-
tor de fier, folosind un eșantion luat din această placă, de exemplu folosind me-
toda permeometrului Ilievici. Se reprezintă grafic curba reală de magneti-

care $B = f(H)$;

- se aproximează apoi alura acestei curbe reale prin curbe analitice, conform relației $B = K \cdot H^{1-2/n}$, din perechii de constante n și K diferite valori. Dintre variantele analitice calculate și reprezentate grafic, se alege varianta care se apropie cât mai exact de curba reală, mai ales în zona cotului și a porțiunii saturate. Din expresia variantei analitice alese, se păstrează valorile coeficienților n și K , ce vor interveni în calculele performanțelor motorului liniar;

Datele inițiale ale calculului parametrilor și performanțelor motorului sînt:

- datele circuitului magnetic inductor : lățimea pachetului de tole l_{Fe} , număr de creștături N_c , lungimea inductorului L ;

- datele creștăturii, cu toate dimensiunile geometrice;

- circuitul electric: numărul de straturi a înfășurării, tipul înfășurării (cu pas diametral sau scobit), numărul de poli $2p + 1$, număr polar ζ , frecvența primară f_1 , viteza sincronă v_g , numărul de creștături pe poli și fază q , numărul de conductoare pe spină a_g , numărul de spire pe bobină n_g , numărul de spire pe fază N_f , materialul și secțiunea conductorului înfășurării, lungimea capetelor de bobină l_{ca} ;

- dimensiunile geometrice ale indușului (lungimea, lățimea și grosimea plăcii de fier L_{Fe} , l'_{Fe} , b_{Fe} , același date pentru placa indus de aluminiu L_{Al} , l'_{Al} , b_{Al});

- conductivitatea plăcilor de fier și Al: G_{Fe} și G_{Al} ;

Modelul matematic de calcul adoptat folosește, conform [16], pentru ansamblul indus-întrefier-inductor, o schemă echivalentă serie.

După calculul rezistenței primare R_1 și a performanțelor de calcul după relații uzuale, se calculează factorii:

$$K_{us} = \frac{N_1 + 1}{2p \cdot n_1} \omega_1 / \mu_0 \cdot l_{Fe} \frac{\zeta}{d''} \quad (4.89)$$

valabil doar la $q=1$ și înfășurare cu pas diametral, ce caracterizează induc-tivitatea ciclică medie ; $d'' = K_c \cdot d$

$$T = \frac{\zeta^2 / \mu_0 \cdot b_{Al} \cdot G_{Al}}{\pi^2 \cdot d} \quad (4.90)$$

este constanta mașinii:

$$K_{F2}|_{s=0} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{2} + \frac{T \cdot v_B}{4} \left[0 - \frac{156}{27} + 0 - \frac{144}{27} + 29 - \frac{136}{27} - 3 - 0 - \frac{6}{27} \right] \right\} \quad (4.91)$$

este un factor prin care se ia în considerare efectul longitudinal.

Reactanța de magnetizare se va caracteriza printr-un factor de for-

ma:

$$K_M = \frac{2m_1 \cdot l_{Fe} \cdot \tau \cdot \mu_0 \left[1 - \left. \frac{1}{2} \right|_{s=0} \right] \omega_1}{\pi^2 \cdot p \cdot \delta^n} \quad (4.92)$$

Factorii K_{UM} și V_M se folosesc la calculul coeficientului reactan-

ței de dispersie:

$$K_{10} = \frac{\mu_0 l_{Fe} \omega_1}{4p^2 \cdot q^2} \left[(4p-2)q \lambda_{cc} + q \lambda_{cm} + 2p \lambda_p + (4p-1)q \lambda_d + K_{UM} - K_M \right] \quad (4.93)$$

unde:

- λ_p = permeanța diferentiale de dispersie;
- λ_{cm} = " de crestături marginale;
- λ_{cc} = " de crestături centrale;
- λ_d = " de dispersie a capetelor de bobină, calculabili conform []

Reactanța de dispersie a inductorului:

$$X_{10} = X_{10} \cdot \alpha^2 \quad (4.94)$$

- Calculul parametrilor echivalenți ai ansamblului indus - întrefier:

$$a = \sqrt{\frac{K \omega_1 \cdot \tau \cdot \sigma_{Fe}}{(2n-1) \cdot \Delta}} \quad (4.95)$$

$$\Delta = n(n-1) \quad (4.96)$$

$$V_3 = \frac{K \omega_1 \cdot \tau}{a^2} \cdot \left[\frac{\sigma_{Al} \cdot \tau_{Al}}{\epsilon_0} + \frac{\sigma_{Fe}}{n-1} \right] \quad (4.97)$$

$$u_3 = \frac{K \alpha^2 (\delta' + b_{Al})}{\mu_0 a^2 \cdot \epsilon_0} + \frac{\alpha^2 \cdot \epsilon_0^2 (n+2)}{(n+2)^2 + \Delta} \quad (4.98)$$

unde:

$$\delta' + b_{Al} = \delta \text{ (întrefier total)} \quad (4.99)$$

$$\alpha = \pi/\tau \quad (4.100)$$

ϵ_0 = adâncimea de pătrundere a câmpului în inelul de fier.

Impedanța echivalentă indus - întrefier va avea forma :

$$z_0 = \frac{2\omega_1 n_1 (H_1 \cdot r_E)^2 \cdot l_{Fe} \cdot n_3 (u_3^2 + v_3^2)}{p \cdot \zeta \cdot a^2 \cdot z_0 (u_3^2 + v_3^2)} = \frac{z_0}{s} + 1 \cdot X_0 \quad (4.101)$$

unde X_0 este factorul total de bobinaj.

- Calculul curentului primar I_1 .

Calculul direct al curentului primar cu relația:

$$I_1 = \frac{U_{1f}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_e}{s}\right)^2 + (X_1 + X_0)^2}} \quad (4.102)$$

nu este în general posibil, deoarece adâncimea de pătrundere z_0 , care intervine în parametrii R_e , X_0 depinde atât de alunecare, cât și de curentul primar. Deci e necesar un procedeu grafo-analitic sau iterativ.

Procedeu grafo-analitic indicat în [6] se bazează pe intersecția caracteristicilor $I_1 = f(z_0)$ din relația de mai sus (4.102) și $I_1 = f(z_0)$ din relația:

$$I_1 = \frac{p(a \cdot z_0)^n \cdot \zeta \cdot \sqrt{u_3^2 + v_3^2}}{n_1 \cdot \sqrt{2} \cdot H_1 \cdot K_B \sqrt{(n-1)(2n-1)}} \quad (4.103)$$

unde:

$$H_0 = (a \cdot z_0)^n \quad (4.104)$$

reprezintă intensitatea cîmpului magnetic la suprafața indusului de fier.

Pentru o valoare a-ct., se trasează perechile de caracteristici (4.102) și (4.103) pentru diverse valori ale lui z_0 date arbitrar. La intersecția lor rezultă I_1 și z_0 efectiv pentru cazul considerat. Cu acest z_0 se recalculează parametri echivalenți R_e și X_0 ai ansamblului indus-întrefier, precum și componenta H_0 a cîmpului.

Forța de propulsie ce rezultă prin integrarea forțelor specifice volumetrice din Al și Fe are forma:

$$F_x = \frac{1}{2} \left(2p - \frac{1}{2}\right) \zeta l_{Fe} \cdot \frac{H_0^2 \cdot \alpha \cdot X^2 \cdot \omega_1 \cdot s}{a^4 (n-1)(2n-1)} \left[\frac{G_{Al} \cdot b_{Al}}{z_0^2} + \frac{G_{Fe}}{z_0 (2n-1)} \right] \quad (4.105)$$

unde z_0 este cel determinat anterior cu metoda grafo-analitică.

Din cele prezentate se constată că metoda de calcul este laborioasă, necesitînd, pentru o utilizare practică eficientă, cunoașterea curbei reale de magnetizare, o modelare analitică cât mai fidelă a acesteia, precum și cunoașterea exactă a mai multor parametri constructivi și de material ai motorului.

Metoda se va aplica la calculul forțelor de propulsie la pornire în cazul unui motor liniar experimentat în condiții de laborator.

4.4. Determinarea experimentală a caracteristicilor mecanice și a forței de propulsie la pornire a unor tipuri de motoare liniare. Compararea rezultatelor cu performanțele determinate analitic.

4.4.1. Forța de propulsie la motorul liniar MI-01

4.4.1.1. Determinarea experimentală a caracteristicii mecanice.

Motorul liniar MI-01 a fost proiectat la Facultatea de Electrotehnică a Timisoara, de către un colectiv de cercetare având ca domeniu de studiu aplicabilitățile de aplicare ale motoarelor electrice liniare la sisteme de transport neconvenționale de mică și mare viteză (transport de materiale sau persoane). Pe baza documentației realizate, acest motor a fost realizat la atelierul electric al întreprinderii I.A.M.N. Petroșani. Tot la această întreprindere a fost realizat și standul experimental ce se va prezenta în cele ce urmează.

Principalele caracteristici ale acestui motor liniar de inducție.

- lățimea pachetului de tole inductor: $2a = 0,25 \text{ m}$;
- numărul de creștături: $N_c = 18$;
- lățimea creștăturii $b_{10} = b_{20} = 10 \text{ mm}$;
- lățimea dintelui: $b_{11} = 10 \text{ mm}$;
- pasul de creștături: $t_c = 20 \text{ mm}$;
- adâncimea creștăturii: $h_c = 70 \text{ mm}$;
- pasul polar: $\tau = 0,084 \text{ m}$;
- viteza sincronă: $V_s = 2\pi f_1 \tau = 0,4 \text{ m/s}$;
- numărul de poli: $2p = 6$;
- numărul de creștături pe pol și fază: $q = 1$;
- înfășurare în două straturi, cu pas diaetral: $\frac{Y}{\tau} = 1$;
- numărul de conductoare pe spirală: $n_0 = 3$;
- numărul de spire pe bobină: $n_b = 9$;
- numărul de spire pe fază: $N_f = 6 \text{ bobine} \cdot 9 = 54 \text{ spire/fază}$;
- lungimea capetelor de bobină: $l_{cb} = 0,035 \text{ m}$;
- conductor dreptunghiular de cupru $3 \times 4,5 \text{ mm}$, izolat cu fibră de sticlă;
- caracteristicile inductorului:
 - tip "sandwich", continuu, având forma de sector de cerc;
 - placă de cupru: lățimea $2c = 0,35 \text{ m}$,
 - grosimea $d_{cu} = 5 \text{ mm}$

- placa de fier: lățimea: $2c_{Fe} = 0,55 \text{ m}$
grosimea: $d_{Fe} = 25 \text{ mm}$
- întrefierul mecanic de lucru: $\Delta = 6 \text{ mm}$ (aer)
- întrefierul magnetic total: $\delta_e = \Delta + d_{Cu} = 6 + 5 = 11 \text{ mm}$;
- conductivitatea plăcii de cupru: $\sigma_{Cu} = 5,7 \cdot 10^7 (\Omega \cdot \text{m})^{-1}$.

Pentru ridicarea caracteristicii mecanice a acestui motor, s-a amenajat standul experimental prezentat în fig.24. Acest stand se află în incinta stației pilot a Facultății de Electrotehnică din Timișoara.

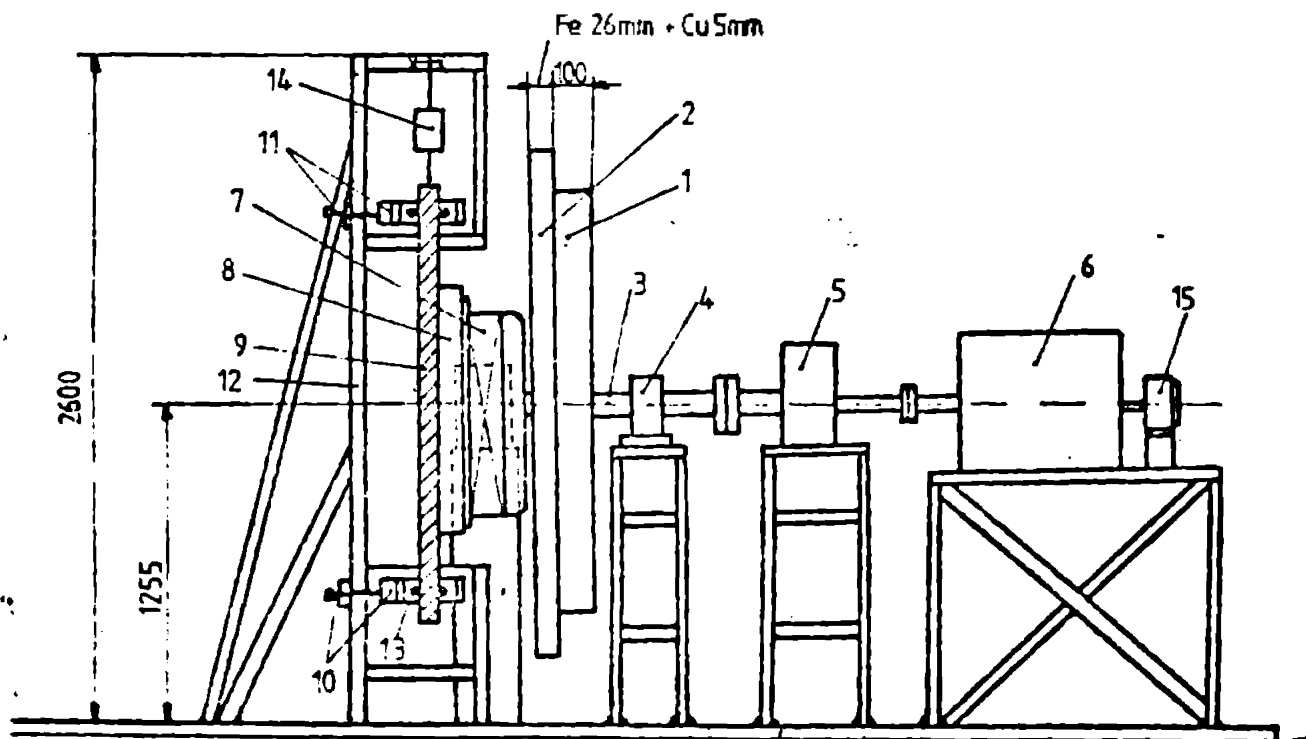


Fig. 24. Stand experimental pentru ridicarea caracteristicii mecanice a motorului liniar ML-01.

Indusul continuu al motorului se simulează printr-o piesă metalică circulară 1, alcătuit dintr-un sector circular feromagnetic 2, cu lățimea de 0,55 m, fixat pe arborele 3, prin intermediul a 6 nervuri de consolidare. Pe această placă de fier, se fixează concentric placa indus de cupru, având lățimea de 0,35 m și grosimea de 5 mm. Arborele 3 al indusului circular, sprijinit în lagărul 4, este cuplat cu arborele unei mașini de curent continuu 6, prin intermediul unui reductor 5, în două trepte, având raportul de transmisie 1500/125.

Motorul liniar de propulsie ML-01 (7) se montează pe un cadru de susținere 8, fixat de suportul 9.

Ansamblul motor-suport se montează pe același soclu cu ansamblul indus disco-reductor-generator c.c., astfel încât placa indus de cupru să se situeze simetric sub miezul activ al inductorului. Întrefierul se poate re-

de prin apropierea sau depărtarea inductorului liniar de suprafața indusului cu ajutorul ansamblurilor surub-piulițe 10, 11, prin rotirea simultană cu aceeași unghi geometric (exprimat în grade), a celor două suruburi. Suruburile sînt fixate de suportul 12, în timp ce piulițele sînt prinse de sistemele de ghidare cu role 13 ale suportului 9. Prin rotirea celor două suruburi, suportul 9, va putea executa o deplasare plan paralelă cu indusul, această mi-care fiindu-i ghidată cu niște plăci de ghidare prinse de aceeași pe suportul fix 12. Acest mod de deplasare a inductorului asigură menținerea unui întrefier și a unui paralelism riguros constante între inductor și indus.

Interacțiunea dintre câmpul magnetic alunecător al inductorului și curenții induși în placa de cupru va determina apariția unei forțe de tracțiune (de propulsie), forță care se exercită simultan, conform principului acțiunii și reacțiunii, atât asupra inductorului, cit și asupra indusului. Forța exercitată asupra inductorului se va măsura prin intermediul unui traductor tensometric 14, fixat rigid la unul din capetele suportului fix 12, iar cu celălalt capăt de suportul mobil 9 ce susține inductorul liniar. Forța exercitată va determina o tendință de tractare a ansamblului inductor - suport. Inductorul fiind dimensionat special pentru evidențierea forțelor de tracțiune (întindere), va furniza în permanentă un semnal electric proporțional cu valoarea acestei forțe. Prin cuplarea traductorului la o punte tensometrică de răspuns foarte mare, de tip Hottinger Baldwin, etalonat în prealabil în unități de forță, se poate estima în fiecare moment valoarea forței de propulsie dezvoltate ca urmare a interacțiunii inductor-indus.

Inductorul fiind rigidizat de suportul fix prin traductorul tensometric, forța de propulsie suscitată va determina punerea în mișcare de rotație a indusului circular. Viteza de rotație a acestuia se măsoară cu ajutorul unui tahogenerator sincron etalonat 15, cuplat la arborele mașinii de măsurare. Măsurarea tensiunii furnizate de tahogenerator se face cu un voltmetru electronic.

Referitor la modalitatea concretă de ridicare experimentală a caracteristicii mecanice a motorului liniar ML-01 și condițiile de măsurare, se vor menționa în cele ce urmează câteva aspecte specifice. Astfel:

- Datorită faptului că inductorul liniar este relativ scurt ($L = 0,54$ m), iar indusul placă de cupru are lățimea de $0,35$ m și prezintă o rază de curbură $R = 1,06$ m, zona activă a inductorului ($0,25$ m) acoperă întregul placă indus, între cele două părți constructive ale motorului liniar exercitându-se o interacțiune completă. Ca urmare a acestui fapt, deși indusul are, în condițiile experimentării, forma unui arc de cerc și se execută o mișcare rectilinie de-a lungul axei inductorului, se poate considera că ridicarea caracteristicii mecanice a motorului liniar studiat după metoda prezentată oferă o imagine realistă privind performanțele acestui motor ($F(v)$).

- Punctele de porțiunea instabilă a caracteristicii mecanice au fost obținute conectând mașina de curent continuu, cuplată la arborele indușului circular mobil, într-un regim de frinare rezistativă sau dinamică. Acest regim, caracterizat prin conectarea indușului pe un rezistor, pe care mașina debitează funcționând nerecuperativ ca generator, excitația rămânând legată la rețea, asigură caracteristici de frinare în care cuplul de frinare (rezistent) variază liniar cu viteza, adică $M_R = f(\Omega)$. Aceste caracteristici, ce trec prin originea sistemului de axe $M - \Omega$, pot avea diferite inclinații, în funcție de valoarea rezistenței introduse în circuitul rotorului al mașinii de c.c. Dată fiind alura susmenționată a cuplului rezistent, rezultă posibilitatea intersecției caracteristicii de frinare cu caracteristica mecanică a motorului liniar într-un singur punct, în care funcționarea motorului să fie stabilă; aceasta înseamnă că viteza indușului se menține constantă, în punctul de funcționare respectiv stabilindu-se echilibrul între cuplurile motor, dezvoltat de $ML - OI$ și rezistent, impus de mașina de c.c. cuplată la arborele indușului, funcționând în regim de frinare rezistativă.

Așadar, introducând, prin intermediul controlerului, diferite trepte de rezistență în circuitul indușului mașinii de c.c., se pot obține puncte de funcționare ale motorului liniar studiat în care vitezele, de valori relativ scăzute, să rămână stabile, putându-se măsura astfel forța de propulsie dezvoltată de motorul liniar și în domeniul alunecărilor mari, adică se poate ridica și porțiunea instabilă a caracteristicii mecanice.

Mașina de c.c. utilizată are următoarele caracteristici:

tip B44 $U = 250 \text{ V}$
 $P = 20,6 \text{ kv}$
 $I = 95 \text{ A}$
 $n = 1500 \text{ rot/min}$

- Prin prelucrarea mecanică a piesei metalice cârculare, respectiv a sectorului circular feromagnetic pe care a fost fixată ulterior placa induș de cupru, prelucrare efectuată pe un strung carusel, cu posibilitatea prinderii piesei chiar în axul arborelui său și apoi a rotirii ei în jurul acestui ax, s-a putut obține o planitate deosebită a piesei șlefuite și deci, implicit, a indușului, în timpul rotirii acestuia. Adăugând la aceasta și sistemul de reglare a apropierii sau îndepărtării inductorului de suprafața indușului, mișcare plan - paralelă prezentată la descrierea standului experimental, rezultă posibilitatea realizării, în timpul măsurătorilor, a unui întrefier riguros constant, aceasta având implicații asupra realizării unei bune concordanțe între valorile forțelor de propulsie determinate analitic pentru întrefierul respectiv și valorile măsurate experimental.

În situația motorului liniar $ML - OI$, caracteristica mecanică a motorului este stabilă pentru un întrefier mecanic de 6 mm, cas întâlnit frecvent în

situația aplicării acestui motor în domeniul sistemelor de transport material, unde valoarea întrefierului mecanic e limitată din considerațe mecanice.

- Având în vedere grosimea plăcii indus de cupru (5 mm), rezultă în cazul motorului liniar studiat un întrefier magnetic total de 11 mm. Valoarea relativ mare a acestui întrefier determină o funcționare a plăcii indus feromagnetice în domeniul nesăturat. Asupra acestui aspect se va reveni la subcap. 4.5.

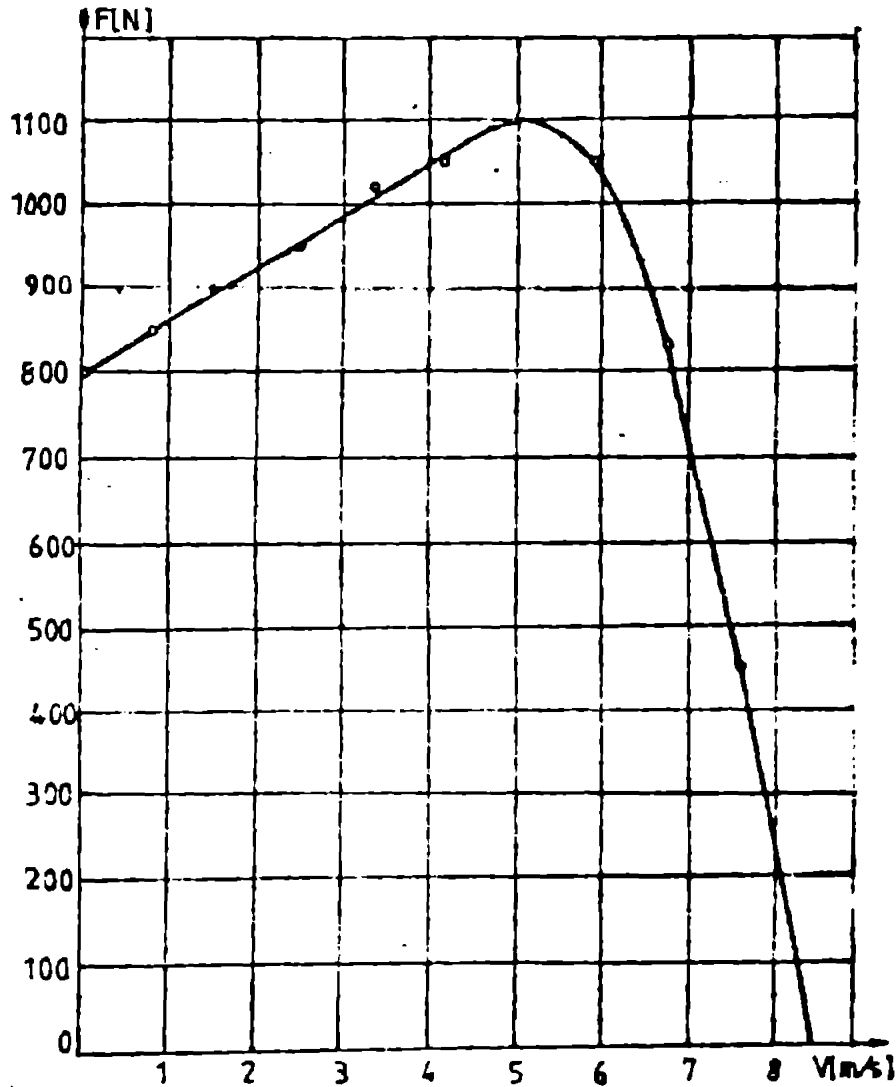


Fig. 25. Caracteristica mecanică a motorului liniar ML - 01, cu indus plăci fier - cupru, ridicată experimental

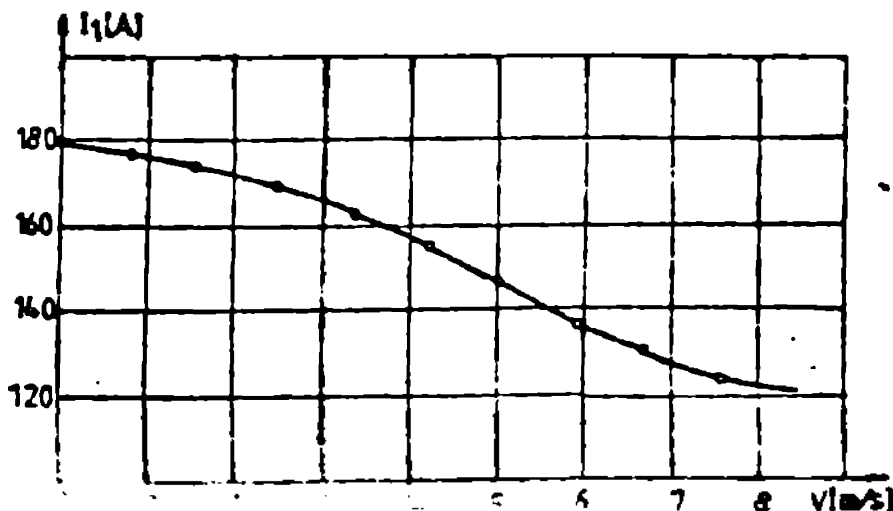


Fig. 26. Variația $I_1 = f(v)$ la motorul liniar ML - 01

4.4.1.2. Determinarea analitică a caracteristicii mecanice și compararea cu cea obținută experimental

Determinarea caracteristicii mecanice a acestui motor pe cale analitică are la bază următorul principiu:

1) se calculează forța de propulsie convențională după relația (4.55), care are o formă relativ simplă, nefiind nevoie de utilizarea calculatorului electronic. În expresia acestei forțe, se va ține seama de influența efectului transversal și de refulare asupra performanțelor motorului, prin aplicarea unor factori de corecție asupra lui σ_{Cu} , conform celor menționate la subcap.4.2. Se va ține seama, de asemenea, de variația reală $I_1 = f(V)$, care are ca efect variația parametrului $A_{12} = f(V)$ din expresia forței.

Influența creștăturilor inductorului va fi luată în seamă prin utilizarea factorului lui Carter, care va determina o scădere a întregului electrofizic de calcul:

$$\sigma_{ee} = K_c \cdot \sigma_0 \tag{4.106}$$

2) Având în vedere manifestarea efectului longitudinal de capăt care produce o diminuare sensibilă a forței de propulsie, se va evalua cantitativ valoarea forței efectului de capăt calculând expresia lui f_0 după relația (4.85). Cunoșcându-se valoarea forței de propulsie convenționale și a forței efectului de capăt, rezultă posibilitatea estimării forței reale de propulsie la diferite viteze, respectiv determinarea caracteristicii mecanice teoretice reale ale motorului liniar studiat.

Se prezintă în cele ce urmează această metodă de calcul, aplicată datelor concrete ale motorului KL - 01.

- Calculul factorului lui Carter [30]

$$K_c = \frac{t_c}{t_c - \delta \sigma_0} \tag{4.107}$$

unde t_c = pasul de creștătură; σ_0 = întregul electromagnetic total, iar δ este un factor de formă:

$$\delta = \frac{\left(\frac{b_{12}}{\sigma_0}\right)^2}{5 \frac{b_{12}}{\sigma_0}} \tag{4.108}$$

unde b_{12} = lățimea creștăturii. Înlocuind valorile numerice ale marilor susmenționate rezultă:

$$K_c = 1,186$$

- Calculul coeficientului Russel - Norworthy, care ia în considerare efectul transversal (măritarea rezistivității inductului).

Înlocuind în relația (4.14) valorile : $2a = 0,25 \text{ m}$, $2c = 0,35 \text{ m}$
 $\delta = 0,084 \text{ m}$, rezultă:

$$K_t = 0,11$$

Rezistivitatea plăcii de cupru se va scrie conform relației:
 $\rho / (1 - K_t)$, (4.15), respectiv conductivitatea se va scrie după relația:

$$\sigma'_{Cu} = \sigma_{Cu} (1 - K_t) = 5,7 \cdot 10^7 (1 - 0,11) = 5 \cdot 10^7 (\Omega \cdot \text{m})^{-1}$$

- Luarea în considerare a efectului policular se face calculând coeficientul K_{op} după relația (4.19) și (6.20).

Sub influența efectului policular, conductivitatea plăcii de calcul devine:

$$\sigma''_{Cu} = \sigma'_{Cu} / K_{op} \quad \text{rel. (4.21)}$$

Înlocuind valorile numerice în relațiile de mai sus și făcând calculele pentru $s \in (1 - 0,05)$, valoarea coeficientului K_{op} rămâne foarte apropiată de 1, deci practic pentru acest tip de induct (placă cupru de 5 mm),

$K_{op} \approx 1$, adică manifestarea efectului policular se poate neglija: $\sigma''_{Cu} = \sigma'_{Cu}$

Deci conductivitatea de calcul a plăcii de cupru va fi:

$$\sigma_{Cu_0} = \sigma'_{Cu} = 5 \cdot 10^7 (\Omega \cdot \text{m})^{-1}$$

- Calculul factorului de calitate Q_0 se face aplicând relația (4.40) menținerea că se va lucra cu întregul electromagnetic de calcul (4.106).

$$Q_0 = \frac{\omega \mu_0 \sigma_{Cu_0} \cdot \delta^2 \cdot d_{Cu}}{\pi^2 \cdot K_c \cdot d_0} = \frac{2\pi \cdot 50 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5 \cdot 10^7 \cdot (0,084)^2 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{\pi^2 \cdot 1,136 \cdot 11 \cdot 10^{-3}} = 5,2$$

$$\left(\frac{1}{Q_0}\right)^2 = \left(\frac{1}{5,2}\right)^2 = 0,037$$

- Calculul caracteristicii mecanice a motorului liniar ML - 01.

Calculul forței de propulsie convenționale are loc după relația (4.55), expresia lui A_{tm} fiind dată de (4.56), iar conductivitatea inductului

$$\sigma_{Cu} = \sigma_{Cu_0}$$

Reducerea caracteristicii mecanice $T = f(a)$ va ține cont de varia-

ția $T = f(V)$, reprezentată în fig. 26 și este redată tabelar în tab. 1

- Inarea -n considerare a fortei efectului longitudinal de capăt (sub muchia de intrare a indusului sub inductor).

Dat fiind faptul că inductorul linear nu are crestăturile marginale semibobinate, pătrunderea indusului din zona fără cimp în zona cu cimp (sub inductor) se face brusc, deci efectul longitudinal de capăt se va manifesta sensibil în special în domeniul alunecărilor mici.

Tabela 1

s	v [m/s]	I_1 [A]	$A_{1a} \cdot 10^5$ [A sp/11]	A_{1b}^2 $\cdot 10^{10}$	$\frac{2a \cdot b \cdot R}{C_{cc} \cdot c \cdot \omega \cdot V_s}$	F_{zs} [N]
1	0	180	1,63	2,56	$3 \cdot 10^{-8}$	770
0,9	0,84	177	1,6	2,56	$3 \cdot 10^{-8}$	1116
0,8	1,5	174	1,58	2,5	$3 \cdot 10^{-8}$	1015
0,7	2,52	170	1,58	2,37	$3 \cdot 10^{-8}$	944
0,6	3,36	164	1,49	2,22	$3 \cdot 10^{-8}$	1007
0,5	4,2	155	1,4	1,96	$3 \cdot 10^{-8}$	1024
0,4	5,04	147	1,33	1,77	$3 \cdot 10^{-8}$	1073
0,3	5,88	136	1,23	1,5	$3 \cdot 10^{-8}$	1063
0,2	6,72	121	1,17	1,4	$3 \cdot 10^{-8}$	1011
0,1	7,56	124	1,12	1,25	$3 \cdot 10^{-8}$	798

Pentru aprecierea cantitativă a fortei efectului longitudinal de capăt, se utilizează relațiile: (4.64), (4.65), (4.66), (4.67), iar pentru f_0 este valabilă relația (4.85).

Înlocuind valorile numerice ale mărimilor ce intră în relațiile susamintite, se constată că undele efectului longitudinal de capăt la intrare încep să se manifeste sensibil de la alunecarea $s = 0,2$. (pentru valori $s > 0,2$, valoarea f_0 e apropiată de 0).

Se rodau în continuare calculele numerice pentru două valori distincte ale alunecării $s = 0,2$ și $s = 0,1$

$$\boxed{s = 0,2} \quad a_1 = 155,6$$

$$b_1 = \sqrt{1 + \left(\frac{4}{5,2 \cdot 0,64}\right)^2} = 1,56$$

$$\delta_1 = 77,8(2,13 + j \cdot 0,53) = 165,7 + j \cdot 41,2$$

$$\delta_2 = -77,8(0,13 + j \cdot 0,53) = -10,1 - j \cdot 41,2$$

$$f_0 = \frac{1 + (0,2 \cdot 5,2)^2}{0,2 \cdot 5,2} K_0 \left[\frac{-j(1,43 + 1,1j + 1,04)}{\frac{6,2 \cdot 1,1}{37,4} (-175,8 + j2,43)(1 - 1,04j)(-0,27 + 0,1j)} \right]$$

$$= 3,97 K_0 \left[\frac{1,1 - 1,5,57}{-2,2 - j,80,6} \right] = 0,267$$

$$f_0 = \frac{F_{x0}}{F_{xc}} = 0,267$$

Avind in vedere faptul ca la $\alpha = 0,2$ forta de propulsie conventională $F_{x0} = 1091$ N, rezultă forta determinată de unda efectului longitudinal de capăt:

$$F_{x0} = 0,267 \cdot 1091 = 291 \text{ N}$$

Această forță F_{x0} avind un efect de frinare, valoarea fortei de propulsie calculată reale $F_{x\alpha}$ dezvoltate de motorul liniar la $\alpha = 0,2$ va fi:

$$F_{x\alpha=0,2} = 1091 - 291 = 800 \text{ N}$$

Aceleași calcule și considerații se fac pentru $\alpha = 0,1$

$$\alpha = 0,1$$

$$n_1 = 175$$

$$b_1 = \sqrt{1 + \left(\frac{4}{5,2 \cdot 0,92}\right)^2} = 1,38$$

$$\delta_1 = 87,5(2,09 + j,0,44) = 182,9 + j,38,5$$

$$\delta_2 = -87,5(0,09 + j,0,44) = -7,87 - j,38,5$$

$$f_0 = \frac{1 + (0,1 \cdot 5,2)^2}{0,1 \cdot 5,2} K_0 \left[\frac{-j(4,39 + 1,031 + 0,52)}{\frac{1}{37,4} (-7,87 + j38,5 - 182,9 + j38,5)(1 - 0,52j)6\pi} \right]$$

$$\left[\frac{1}{(-0,21 + 0,03j)} \right] = 0,428$$

Factorul $\left[\frac{1}{(-0,21 + 0,03j)} \right]$ din expresia lui f_0 se neglijează deoarece:

reces:

$$2\pi \left(\frac{-7,87 + j38,5}{37,4} - j \right) = 6\pi (-0,21 + j,03j - j) = 6\pi (-0,21) \cdot 0,03j$$

$= e^{-3.96} (\cos 0,03 + j \sin 0,03) = 0,0185 (\cos 1,7^\circ + j \sin 1,7^\circ) = (0,0185 - 0,000355 j)$
 se poate neglija.

Rezultă:

La $s=0,1$ forța convențională de propulsie calculată este:

$$F_{xc} = 798 \text{ N, deci:}$$

$$F_{xe} = 0,428 \cdot 798 = 341 \text{ N,}$$

deci valoarea forței de propulsie calculate reale a motorului liniar la $s=0,1$ va fi:

$$F_{xr_{s=0,1}} = 798 - 341 = 457 \text{ N}$$

O comparație între valorile forței de propulsie măsurate experimental și cele calculate analitic, în acestea din urmă intrând valorile forței de propulsie convenționale (cele prezentate în tabela 1) pentru alunecări în domeniul $s \in [1-0,2]$ și valorile forței de propulsie calculate reale pentru alunecări $s \in [0,2-0,1]$ este redată în tabela 2.

Justificarea manifestării efectului longitudinal de capăt la alunecările sus menționate rezultă și din estimarea, conform relațiilor din

[17], a adâncimilor de pătrundere a undelor directe, respectiv inverse, sub inductor (partea reală a lui $\delta_{1,2}$ reprezintă atenuarea undelor efectului de capăt în direcția mișcării).

Astfel, la $s=0,2$:

$$\delta_{1r} = 165,7$$

$$|\delta_{2r}| = 10,1$$

- adâncimea de pătrundere a undei inverse:

$$\left| \frac{1}{\delta_{1r} \cdot \bar{\sigma}} \right| = \frac{1}{165,7 \cdot 0,034} = 0,072$$

- adâncimea de pătrundere a undei directe:

$$\left| \frac{1}{\delta_{2r} \cdot \bar{\sigma}} \right| = \frac{1}{10,1 \cdot 0,034} = 1,18$$

Pentru $s=0,1$ avem:

$$\delta_{1r} = 182,9 ; \quad \left| \frac{1}{\delta_{1r} \cdot \bar{\sigma}} \right| = \frac{1}{182,9 \cdot 0,034} = 0,065$$

$$\delta_{2r} = 7,97 ; \quad \left| \frac{1}{\delta_{2r} \cdot \bar{\sigma}} \right| = \frac{1}{7,97 \cdot 0,034} = 1,5$$

Tabula 2

α	$F_{\text{experimen.}}$ [N]	F_{calculat} F_{pr} [N]	Erroarea %
1	800	770	3,7
0,9	850	816	4
0,8	900	885	1,7
0,7	950	914	0,6
0,6	1020	1007	1,3
0,5	1050	1024	2,5
0,4	1100	1071	2
0,3	1050	1055	1,2
0,2	850	860	3,6
0,1	650	657	1,6

Din relațiile de mai sus se observă că adâncimea de pătrundere a undei de ieșire, este mică. Aceasta undă se atenuază repede. Unda efectului capăt de la intrare, cea directă, se atenuază însă lent, adâncimea ei de pătrundere sub inductor, în direcția mișcării fiind considerabilă (aprox. 20 de ori mai mare decât a undei inverse). Astfel, luarea în considerare efectului acestei unde, în sensul depinzării sensibile a cîmpului magnetic la întrefier, deci a forței de propulsie a motorului, în special în domeniul alunecărilor mici, este absolut necesară. Relațiile de mai sus, care caracterizează adâncimile de pătrundere a celor două unde, demonstrează, de asemenea, că estinarea manifestării forțelor efectului de margine la intrare (forțe de frinare) după formula de calcul a lui f_0 este justă.

Rezultatele sintetizate în tabula 2 demonstrează faptul că forța de propulsie a motorului liniar studiat se poate calcula analitic utilizând o relație relativ simplă. În domeniul alunecărilor mici, pentru a estina efectul longitudinal de capăt, relațiile sînt de o complexitate mai ridicată, dar nu e necesară folosirea calculatoarelor electronice. Erorile mici între forțele măsurate experimental și cele calculate analitic demonstrează că metoda de calcul prezentată a forței de propulsie și a caracteristicii mecanice este corectă.

4.4.2. Forța de propulsie la motorul liniar ML - 01

4.4.2.1. Determinarea experimentală a caracteristicii mecanice

În vederea implementării la nivel industrial a sistemului de tracțiune cu trenuri de vagoane acționate cu motoare liniare, în scopul vehiculării unei cantități mari de material (mii de tone/oră) cu granulație grosieră, la o cantitate de suprafață, s-a realizat la stația pilot a IPTVI un tren

seu experimental pentru testarea performanțelor în regim dinamic al unui tren compus din 6 vagoaneți, ecartament 1435 mm, acționați cu 6 motoare liniare tip KL - 03.

Acest sistem de transport, asupra cărui se va reveni în detaliu la cap. 5, este deosebit de robust pentru a putea prelua șocurile mecanice impuse de tehnologia de încărcare și transport a sterilului în carieră, vagoaneții ce compun trenul având un arpatament de 3 m, ecartament 1435 mm, greutate proprie pe axtrul liniar 600 kg/m, putând transporta o masă utilă (încărcătură) de 2 t/m.

Motoarele liniare KL - 03 ce asigură propulsia trenului au următoarele caracteristici:

- tensiunea de alimentare : $U_{in} = 300$ V, $f = 50$ Hz
- pasul polar: $\tau = 0,084$ m
- viteza sincronă: $V_s = 8,4$ m/s
- lățimea inductorului: $2a = 0,4$ m
- număr de creștături: $N_c = 21$
- număr de poli: $2p + 1 = 7$ (creștăturile marginale semibobinate)
- număr de creștături pe pol și fază = $q = 1$
- dimensiunile creștăturii :
 - lățime = $b_{13} = 15$ mm
 - pas de creștătură: = $\tau_c = 28$ mm
 - adâncime $h_c = 70$ mm
- înfășurare cu pas diametral: $\gamma/\tau = 1$
- număr de spire pe bobină: $n_c = 8$
- număr de spire/fază: $N_f = 48$
- conductor de cupru $3 \times 4,5$ mm izolat cu fibră de sticlă
- indus placă de fier-cupru cu grosimile: $\delta_{Fe} = 17$ mm, $\delta_{Cu} = 3$ mm, având lățimea $2_c = 500$ mm.
- întrețierul mecanic de lucru: $\Delta = 12$ mm.

Montajul experimental realizat pentru ridicarea caracteristicii mecanice a motorului liniar KL - 03 cuprînd o placă de măsură 1 din oțel cu grosimea de 20 mm (fig. 27), care poate glisa cu ușurință în plan orizontal pe două ghidaje 2 prevăzute cu rulmenți, ghidaje ce sînt fixate rigid pe două profile U 200 montate pe cale. Motorul liniar 3 a cărui performanțe se măsoară se montează pe această placă.

Prin interacțiunea dintre câmpul alunezitor dat de inductorul liniar și curenții induși în plăcile de cupru (indusurile) fixate pe fundul vagoanelor, ia naștere o forță de tracțiune care tinde să deplaseze motorul, respectiv placa de măsură, în sens opus direcției trenului (a indusului mobil). Această forță va fi măsurată printr-un transductor tensometric de forță 4, fixat pe de-o parte de placa de măsură 1, pe de altă parte de calea de rulare

prin intermediul profilului suport 5. La trecerea trenului deasupra inductorului liniar, interacțiunea inductor - indus va determina apariția unei forțe de întindere care va solicita traductorul, acesta convertind mărimea mecanică aplicată (forța) într-un semnal electric de ieșire proporțional cu forța aplicată.

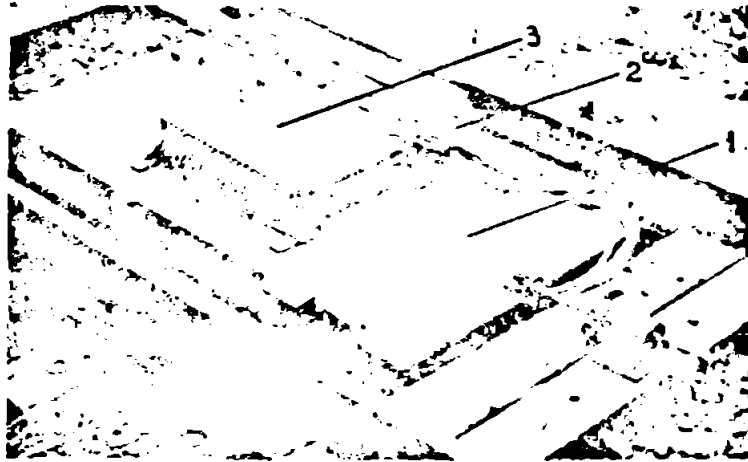


Fig. 27. Montaj experimental pentru ridicarea caracteristicii mecanice a motorului liniar ML - 03.

Traductorul tensometric utilizat (fig.28) este o celulă de sarcină de tip CS-T-10, realizat la IRIE- Timișoara, cu domeniul de măsură 0 - 10kN fiind sensibil la forțe de întindere (tracțiune). Rezistența de intrare a traductorului este de 120 Ω , sensibilitatea de 2 mV/V, tensiunea maximă de alimentare 5 V, traductorul fiind compensat termic în intervalul de temperatură - 20°C - 60°C, cu o eroare de sub 1% pe 10°C.

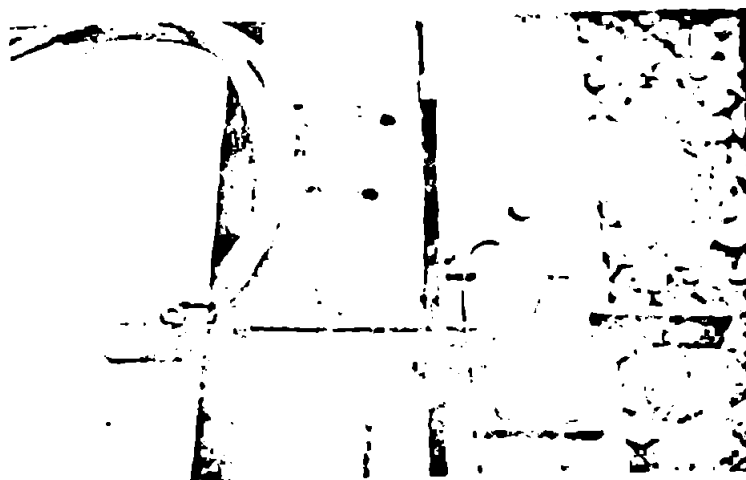


Fig.28. Amplasarea traductorului tensometric de forță.

Semnalul electric generat de traductorul de forță se transmite la o punte tensometrică Hottinger - Baldwin, etalonată în prealabil în unități de forță pe unul din cele 6 canale de măsură.

Măsurarea vitezei de deplasare a trenului s-a realizat prin cronometrarea timpului în care trenul străbate distanța dintre două repere fixe,

distanță măsurată în prealabil.

În timpul experimentărilor, valoarea curentului primar I_1 s-a menținut aproximativ constantă: $I_1 = 450$ A, variația acestuia cu viteza de deplasare a indusului (a trenului) fiind nesemnificativă.

Caracteristica mecanică a motorului liniar ML - 03, ridicată experimental după procedeele menționate, se prezintă în fig. 29.

Această caracteristică va fi prezentată și sub formă tabelară la subcap.5.3.2. (tab 9). Subcapitol în care se prezintă determinarea experimentală a performanțelor motoarelor liniare de propulsie ale sistemului de transport ecartament 1435 mm.

Legat de procedeele experimentale concrete de ridicare a caracteristicii mecanice a motorului liniar ML - 03, trebuie să menționăm următoarele aspecte specifice:

În vederea testării performanțelor sistemului de transport materiale cu trenuri de vagoneti ecartament 1435 mm în regim dinamic, la stația pilot a IPTVT s-a amenajat o linie experimentală în buclă închisă, avind o lungime totală de 76,5 m. Trenul de vagoneti care rulează pe această cale și care constituie de fapt indusul segmentat mobil, are o lungime totală de 16,5 m și o greutate de 97,5 kN. Acupra caracteristicilor specifice acestui sistem de transport și a prezentării în detaliu a performanțelor sale se va reveni la subcap. 5.3.

Propulsia trenului de vagoneti ecartament 1435 mm este asigurată prin intermediul a 6 motoare liniare ML - 03, dintre care unul este cel montat pe placa de măsură și a cărui caracteristică mecanică a fost ridicată experimental conform celor menționate anterior. Repartiția acestor motoare (urmoasă a fi prezentată în fig 41 subcap.5.3.) pe traseul căii de rulare s-a făcut ținând cont de rezistențele de mers de valori considerabile întâmpinate de tren în cursul rularii, valori determinate de ampatamentul relativ mare al vagonetilor în raport cu raza de curbura a căii, de profilul necorespunzător al roților de rulare și de forma cuvelor vagonetilor. Ținând cont de aceste aspecte, lungimea trenului (a indusului mobil) s-a ales astfel încât cu motoarele liniare disponibile, poziționate corespunzător, trenul să poată fi accelerat considerabil pe porțiunile drepte ale căii de rulare, unde sînt plasate cîte două motoare liniare de propulsie, energia cinetică astfel acumulată permițînd trenului străbaterea curbelor cu pierderi de viteză minime. În această situație, concomitent cu luarea unor măsuri privind reducerea rezistențelor la înaintarea trenului în zona curbelor (în special gresarea ansamblului roată - rini), s-au putut realiza condițiile corespunzătoare ridicării caracteristicii mecanice a motorului liniar ML - 03 aflat pe placa de măsură. Astfel, prin menținerea în stare cuplată pe un interval de timp progresiv crescător a celorlalte 5 motoare de propulsie de pe traseu, trenul a

putut fi accelerat după fiecare tură parcursă, ajungând în dreptul motorului experimentat cu o viteză din ce în ce mai mare, viteza limită maximă imprimată trenului în condițiile relativ dificile ale căii atingând valoarea $v \approx 7,2$ m/s.

Motorul liniar supus măsurătorilor este poziționat tot într-o secțiune dreaptă a căii, punându-se astfel problema contribuției acestui motor la accelerarea trenului la trecerea acestuia deasupra sa în timpul efectuării măsurătorilor, timp în care motorul susmențit se află în stare cuplată. Experimentările au evidențiat însă următorul aspect deosebit de important: datorită existenței unei mase considerabile în mișcare (Masa tren aprox. 10t), inerția indusului mobil (a trenului) este mare. Așadar, cu toate că există o tendință de accelerare a propriului indus din partea motorului ce se cuplează pentru determinarea forței sale de propulsie, datorită inerției mecanice substanțiale, cu mult superioară inerției electromagnetice a motorului liniar, acesta practic nu reușește să modifice sensibil viteza indusului. Așadar, în această situație, fenomenele se desfășoară lent deci practic viteza indusului se menține constantă pe toată durata trecerii sale deasupra inductorului de măsură cuplat. Evident, este vorba de una din valorile vitezei, imprimată trenului de celelalte 5 motoare de propulsie, ea modificându-se după fiecare tură până la limita anterior amintită. Această valoare constantă a vitezei trenului la parcurgerea completă a suprafeței motorului în discuție s-a evidențiat experimental cu ajutorul unui traductor liniar de viteză realizat de autor, traductor de mare sensibilitate, ce se va prezenta în cap 6 al lucrării.

Menținerea constantă a vitezei trenului în timpul măsurătorilor privind forța de propulsie dezvoltată de motorul liniar la viteza respectivă, evidențiază faptul că în momentele măsurătorilor regimul de funcționare este stabilizat, punctul de funcționare situându-se pe o caracteristică mecanică statică, în acest punct, în conformitate cu ecuația mișcării, forțele active (dezvoltată de motor) și rezistență făcându-și echilibrul.

Referitor la caracteristica mecanică a motorului liniar ML -03, prezentată în fig. 29, se mai menționează faptul că în domeniul vitezelor ce depășesc viteza maximă limită ce s-a putut imprima trenului (7,2 m/s) în condițiile experimentărilor, această caracteristică s-a completat prin punctele notate cu (x), acestea reprezentând valori ale forței de propulsie calculate analitic (forța de propulsie convențională) Acupra acestui aspect se va reveni la sfârșitul sub cap. 4.4.2.2.

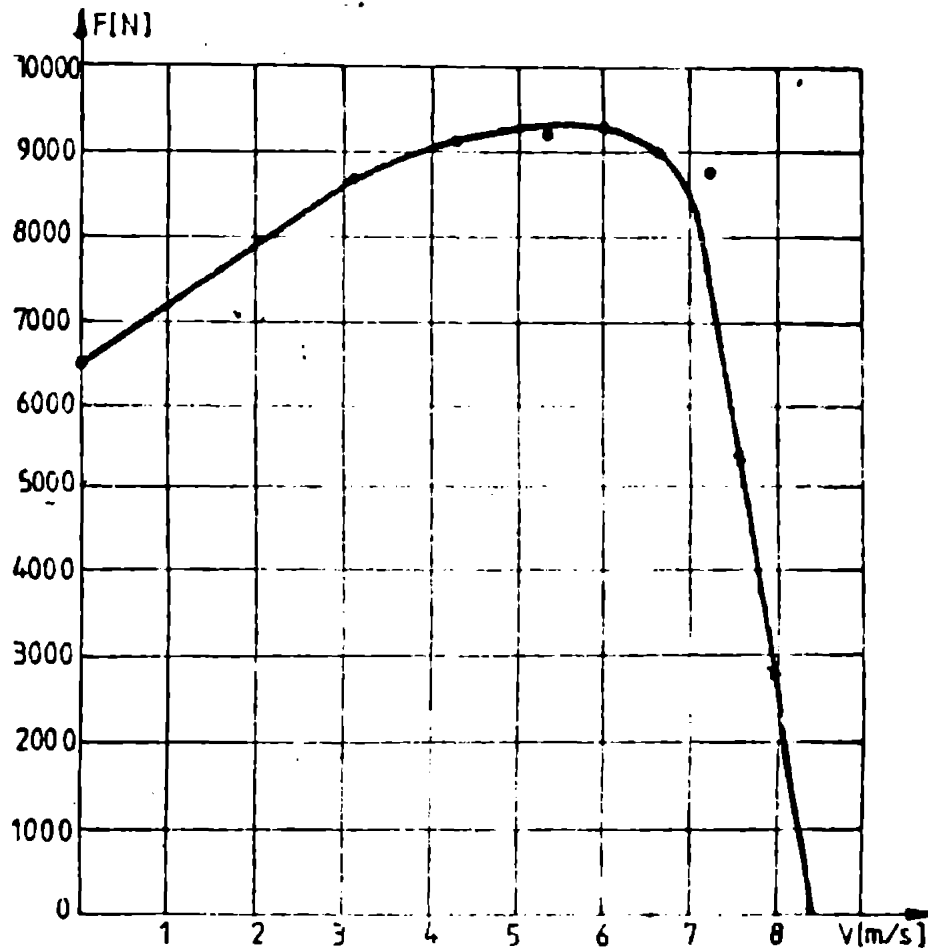


Fig. 29. Caracteristica mecanică a motorului liniar ML -03 ridicată experimental

4.4.2.2. Determinarea analitică a caracteristicii mecanice și compararea cu cea obținută experimental

Determinarea analitică a caracteristicii $F = f(v)$ a acestui tip de motor se face similar metodologiei menționate la subcap.4.4.2.2. Astfel, aplicând relațiile de calcul utilizate în subcapitolul susmenționat, având în vedere datele caracteristice motorului liniar ML -03, se obține:

- Factorul lui Carter (rel.4.107), cu întrefierul magnetic total având valoarea $j_0 = 19 \text{ mm}$:

$$K_c = 1.14$$

- Coeficientul k_e în considerare efectul transversal (rel.4.14),

$$\text{cu } 2a = 0.4 \text{ m și } 2c = 0.5 \text{ m:}$$

$$k_e = 0.1$$

- Coeficientul k_p în considerare efectul pelicular (relațiile (4.19) și (4.20)).

$$k_{ep} \approx 1$$

- Conductivitatea de calcul a plăcii inductoare de cupru:

$$\sigma_{Cu_c} = \frac{\sigma_{Cu} (1 - \alpha_f)}{k_{ep}} = 5 \cdot 10^7 \text{ (}\Omega\text{m)}^{-1}$$

- Factorul de calitate Q_0 se calculează aplicând rel. (4.40), avînd coeficientul $\delta = k_0 \cdot \delta_0$, iar inductorul plăcii de cupru are grosimea de 3 mm. Rezultă:

$$Q_0 = 2,6$$

- Forța de propulsie convențională, $F = F_{xc}$ cu care se calculează apoi caracteristica mecanică $F_{xc} = f(s)$, se determină cu rel. (4.55), unde A_{im} are expresia dată de (4.56), iar conductivitatea inductorului se ia $\sigma_{Cu} = \sigma_{Cu_c}$

$$A_{im} = 3,62 \cdot 10^5 \text{ Asp/m}$$

Înlocuind datele numerice cunoscute în expresia (4.55), rezultă o dependență a forței de propulsie convenționale $F_{xc} = f(s)$ de forma:

$$F_{xc} = 8427 \frac{s}{s^2 + \left(\frac{1}{G}\right)^2} \quad (4.109)$$

Dînd lui s în (4.109) valorile $s \in [0,05 - 1]$, se obține variația $F_{xc} = f(s)$ (caracteristica mecanică) redată în tabela 3.

Tabela 3

s	v [c/s]	F_{xc} [N]
1	0	6297
0,9	0,84	7917
0,8	1,68	8556
0,7	2,52	9246
0,6	3,36	9953
0,5	4,2	10586
0,4	5,07	10944
0,3	5,93	10622
0,2	6,72	8965
0,1	7,56	5334
0,05	7,98	2309

În ceea ce privește efectul longitudinal de capăt, acesta are o manifestare specifică în situația interacțiunii inductor liniar - inductor cilindric, aceasta se datorează faptului că spre deosebire de cazurile tratate

in literatura de specialitate si metodele matematice pentru deducerea ecuatiei cimpului magnetic din intrefier, la aplicatia de fata induusul nu este continuu, ci segmentat, (intrerupt), intreg induusul constind de fapt dintr-o placa fier-cupru 3 mm cu lungimea de 1100 mm, prinsă de vagonetul de capăt, (cel cu 2 osii), urmată de 6 plăci similare, cu lungimea de 2830 mm, prinse de cei 6 vagoneti intermediari ai trenului. Intre aceste plăci induus există o distanță de 170 mm, corespunzătoare cuplajului sferic montat la capătul fiecărui vagonet, cuplaj care permite trenului înscrierea în curbe cu o rază minimă de 9 m.

Interstițiile dintre plăcile induus se pot echivala ca fiind medii cu conductivitatea electrică nulă, în care nu se pot induce curenții secundari și care, deci, nu furnizează interacțiune utilă cu cimpul inductor (forță de propulsie). Asadar, induusul segmentat real se poate echivala cu un induus continuu fictiv, în care zonele conductoare, caracterizate prin conductivitatea σ_{Cu} , cu lungimea de 2830 mm, alternează cu zone cu conductivitate electrică nulă, avind o extindere spațială de 170 mm.

Interacțiunea utilă a acestor zone de 170 mm cu cimpul inductor, este nulă. Pe de altă parte, de tîc cî imediat sub muchia de la intrarea sub inductor, elementul de induus conductor, pătrunzind dintr-o zonă fără cimp magnetic într-o zonă cu cimp, devine mediul de închidere a unui curent de reacție induus mare, prin cimpul de reacție p_o care-l generează, anulează cimpul inductor. Deci elementul de induus conductor, situat sub muchia de intrare a inductorului, dă o interacțiune utilă nulă cu acesta.

Asadar, se poate trage concluzia calitativă:

Din punct de vedere al efectului rezultat, acela de a nu genera o interacțiune utilă cu inductorul, adică o forță elementară de propulsie, zonele de induus cu conductivitate nulă pot fi considerate ca fiind un "pachet" de elemente de induus conductor, care într-un tot timpul deplasării sub inductor sub muchii fictive ale acestuia, astfel încît, prin curenții de reacție care s-ar închide în aceste "pachete", cimpul inductor util din intrefier este anulat.

Străbătorea întregii lungimi a inductorului de către zona cu conductivitate electrică nulă a induusului s-ar putea echivala printr-un model matematic de calcul expres de complicat.

Data fiind însă echivalarea calitativă susmenționată se poate considera că o viziune destul de realistă privind apanajul efect de "indus segmentat" se poate obține extinzind manifestarea undei efectului de capăt la intrare, deci a forțelor acestui efect, și în domeniul vitezelor scăzute.

Astfel, în cele ce urmează, se demonstrează prin calculul lui f_o , faptul că efectul de capăt la intrare, pentru induusul segmentat, se manifestă și la viteze scăzute. Calcululele se vor face pentru $V_1 = 3 \text{ m/s}$ și $V_2 = 5 \text{ m/s}$

la trenului de vagoaneți.

$$v_1 = 3 \text{ m/s} \quad s = 0,04$$

$$mG_0 = 0,64 \cdot 2,6 = 1,66$$

$$\beta = \frac{\pi}{8} = \frac{\pi}{0,064} = 37,4 \quad (4.39)$$

$$a_1 = \beta s (1-s) = 35 \quad (4.66)$$

$$b_1 = \sqrt{1 + \left(\frac{4}{2,6 \cdot 0,04}\right)^2} = 4,4 \quad (4.67)$$

$$\underline{\delta}_1 = \frac{35}{2} (3,54 + j \cdot 2,33) = 61 + j \cdot 40,7 \quad (4.64)$$

$$\underline{\delta}_2 = -\frac{35}{2} (1,54 + j \cdot 2,33) = -27 - j \cdot 40,7 \quad (4.65)$$

$$r_0 = \frac{1 + (0,64 \cdot 2,6)^2}{0,64 \cdot 2,6} \cdot \left[\frac{-11,26 + j \cdot 1,02 + 1,66}{\frac{1}{0,04} (-19,7 + j \cdot 77,33)(1 - j \cdot 1,04) + (-0,72 + j \cdot 0,07)} \right]$$

$$= 0,075 \quad (4.83)$$

$$F_{x0} = 0,075 \cdot F_{xc} = 0,075 \cdot 9500 = 713 \text{ N} \quad (4.84)$$

Deci forța de propulsie reală calculată va fi:

$$F_{xr_{v=3}} = F_{xc} - F_{x0} = 9500 - 713 = 8787 \text{ N}$$

$$v_2 = 5 \text{ m/s} \quad ; \quad s = 0,4$$

$$a_1 = \beta s (1-s) = 37,4 - 2,6 \cdot 0,6 = 52,34$$

$$b_1 = \sqrt{1 + \left(\frac{4}{2,6 \cdot 0,04}\right)^2} = 4,4$$

$$\underline{\delta}_1 = 77 + j \cdot 30$$

$$\underline{\delta}_2 = -18,7 - j \cdot 38$$

$$r_0 = \frac{1 + (0,4 \cdot 2,6)^2}{0,4 \cdot 2,6} \cdot \left[\frac{-0,72 + j \cdot 0,07 + 1,66}{\frac{1}{0,04} (-18,7 + j \cdot 38)(1 - j \cdot 1,04) + (-0,5 - j \cdot 0,07)} \right]$$

$$= 0,144$$

$$F_{x0} = 0,144 \cdot F_{xc} = 0,144 \cdot 10.900 = 1569 \text{ N}$$

$$F_{xc}^{v=5} = 10.900 - 1569 = 9331 \text{ N}$$

Analog se calculează valorile lui f_0 pentru alunecările $s=0,9$; $s=0,5$; $s=0,3$; $s=0,2$. Rezultatele au fost sintetizate în tabela 4.

Tabela 4

s	v [m/s]	F_{xc}	F_{x0}	F_{xv}	F_{exp}	Eroarea %
0,90	2,81	10017	713	7133	7000	2,75
0,64	3	10000	1000	1000	1000	1,00
0,50	4,2	10000	1000	1000	1000	1,55
0,40	5	10000	1000	1000	1000	1,60
0,30	5,95	10000	1000	1000	1000	1,55
0,20	6,72	10000	1000	1000	1000	0,40

Se constată că estimările analitice ale forței de propulsie în cazul motorului liniar MB - 03 având în cazul prezentat (tremul de vagoați), sînt suficient de precise în raport cu măsurătorile experimentale, ceea ce demonstrează faptul că în cazul acestui tip de inductor, pentru estimarea realistă a performanțelor motorului, trebuie luat în considerare efectul longitudinal de capăt în domeniul vitezelor scurte. Unele rezistențe de aer întâmpinate de tremul de vagoați, de valori considerabile, datorizate în primul rînd de arămtamentul mare al vagoaților, de răscole de curburi relativ ascuțite, precum și de numărul mic de motoare liniare de propulsie, au făcut ca încercările experimentale să se desfășoare pînă la viteza limită liniară de 7,2 m/s ($s=0,14$), caracteristică mecanică ridicată experimental a fost completată în domeniul alunecărilor $s < 0,14$, cu valorile $F_{xc} = f(s)$, ținînd cont de faptul că, așa cum rezultă din tabela 4, pentru valori $s \leq 0,3$, coeficientul f_0 are valori neglijabile.

4.4.3. Determinarea forței de propulsie la pornire a unui motor liniar considerînd efectul inductorului feromagnetic

Motorul liniar a cărui performanțe se vor analiza în continuare are următoarele caracteristici:

- lățimea pachetului de bob inductor: $2a = 0,0976 \text{ m}$
- numărul de creștături $p_0 = 45$
- numărul de poli: $2p_0 = 18$
- pas polar $\tau_0 = 0,0976 \text{ m}$
- viteză sincronă: $v_s = 7,5 \text{ m/s}$ la $f_0 = 50 \text{ Hz}$

- numărul de crestături pe polii fași: $q = 1$
- înfășurare cu pas diametral: $k_{p1} = 1$
- numărul de conductoare pe spire: $a_1 = 3$
- numărul de spire pe bobină: $w = 26$
- numărul de spire pe fași: $w_{fași} = 364$ spire/faș
- înfășurare de capu Φ cu $w_{cu} = 221$, $q_{cu} = 3,16 \text{ mm}^2$
- lungimea capetelor: $l_{cu} = 0,36 \text{ m}$
- crestătura semicirculară: $r = 10 \text{ mm}$

lățimea crestăturii: $b_c = 10 \text{ mm}$

lățimea crestăturii în partea de sus: $b_{c1} = 5 \text{ mm}$

adâncimea: $h_c = 5 \text{ mm}$

lățimea dintelui: $b_d = 10 \text{ mm}$

pasul de crestături: $p_c = 20 \text{ mm}$

- parametrii inducției:

placa de fier: lățime: $b_f = 210 \text{ mm}$

grosime: $\delta_f = 1,5 \text{ mm}$

placa de aluminiu: lățime: $b_{al} = 160 \text{ mm}$

grosime: $\delta_{al} = 2 \text{ mm}$

Măsurarea experimentală a inducției se realizează la periferie, prin măsurarea parametrilor electrici (I_f , U , V , $\cos \phi$) realizat pe un stand de măsurător. Ductorul este fixat pe un suport special, iar placa de fier este suspendată, în intermediul unui comparator mecanic, în poziția unității de forță, de o pișină solidară cu un indicator micrometric, care însoțitor de un micrometru, sub greutatea proprie a plăcii de fier, se deplasează și provoacă o deviație la comparator, proporțională cu greutatea susținută, pentru echilibrarea sistemului în poziția unității de forță pișina se deplasează de o anumită cantitate δ , pînă cînd acul comparatorului este la zero. Astfel, comparatorul indică numai valoarea forței de greutate exercitate asupra plăcii de fier, în momentul alimentării inducției cu curent.

Standul experimental se prezintă în figura 4.11.

Pentru măsurarea inducției în mieziferul δ_f , s-a prevăzut un sistem de măsură cu bobine sondă. Aceste bobine sunt inserate în jurul dintelor la nivelul crestăturii, iar capetele lor sunt conectate în paralel, cu clase de măsură înscrisă numărul de spire ale bobinei de măsură $w_s = 30$ spire, respectiv suprafața acesteia $S = 0,0021 \text{ m}^2$, inducția în miezifer se va calcula măsurând curenții induși în bobinele sonde de măsură în funcție de tensiunea de alimentare.

$$B_{\delta} = \frac{U_s}{4,44 f N S} \quad (4.11)$$

Parametri electrici ai motorului se vor determina cu o putere tri-
fază de măsură METERA (P20)

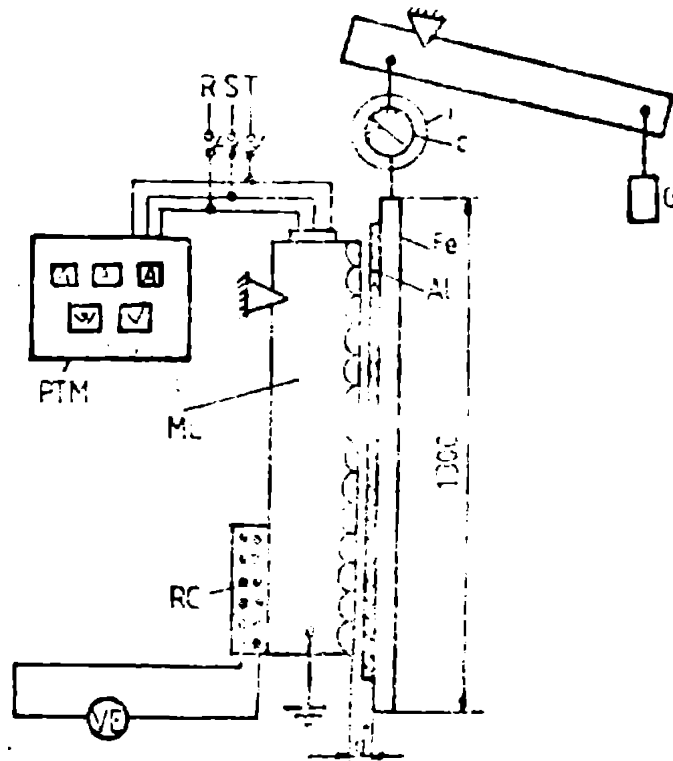


Fig. 30. Stani de laborator pentru măsurarea forței la pornirea motorului PTM cu $G = 0,175$ N.

Măsurătorile s-au efectuat la deflecțiuni mecanice $\Delta = 2; 4; 6; 8$ mm. Rezultatele sînt cuprinse în tabela 5.

Tabela 5

Δ [mm]	d_0 [mm]	I_1 [A]	U [V]	P [W]	$\cos \varphi$	σ_{med} [t]	r [t]
2	4	26	270	7,02	0,402	0,169	706
4	6	23	270	6,21	0,37	0,155	630
6	8	31	270	8,37	0,40	0,163	706
8	10	32,8	270	8,86	0,37	0,25	706

Pentru calculul analitic al coeficient de propulsie la pornire, se folosește metodologia prezentată în [66]. În acest scop, s-a realizat un studiu de subcapitol, pentru estimarea realității dinamice și economiei de refulare și deci a saturației inductivității feromagnetice asupra performanțelor motorului liniar, trebuie ridicată experimentul de măsurare a deflecției și a forței la pornirea inductivității.

S-a procedat la ridicarea inductivității feromagnetice folosind un magneton din placa inductivă și utilizând pentru măsurarea deflecției și forței rezultatele experimentale, s-a ridicat graficul din figura 31.

După cum se menționează în [66], din cauza curbei reale de magnetizare a unui inductiv feromagnetic pe care se bazează calculul coeficientului de ridicare utilizând relația $\sigma = \mu H$, unde μ este constanta de saturație. În această lucrare, se folosește pentru măsurarea inductivității, co-

le de valori $K = 0,3 \dots 0,6$ și $n = 2,15 \dots 2,6$ care sunt cele mai
 rabile pentru a se obține o comparație între rezultatele de magnetizare
 și cele estimate analitic, în special în domeniul saturării în câmpul
 magnetic. Având în vedere domeniile de valori menționate pentru K și
 orientative privind alegerea mirinilor amotora la L , lientia concret, ana-
 rta în cadrul prezentului subcapitol, este determinarea curbei analitice
 magnetizare a indusului studiat cu-am dat constantelor K și n valorile:

- a) $K = 0,29$; $n = 2,51$
- b) $K = 0,147$; $n = 2,77$
- c) $K = 0,0025$; $n = 9,55$
- d) $K = 0,04$; $n = 3,42$

Se-au reprezentat apoi grafic rezultatele analitice calculate, ale-
 su-se varianta care se apropie cel mai mult de cea reală. Se constată
 folosind perechile de valori c), că analiza este deosebit de eficientă de
 ciz de cea reală doar în domeniul de câmpuri mici, iar cele notate cu a) și d),
 ră o aproximare insuficient de exactă a curbei reale. Se consideră a) va-
 rta analitică care aproximează cel mai bine curba reală de magnetizare, în-
 sebi în porțiunea saturată a acesteia. Se dau în continuare constantelor K și
 n valorile:

$K = 0,29$; $n = 2,51$ (Fig. 31.)

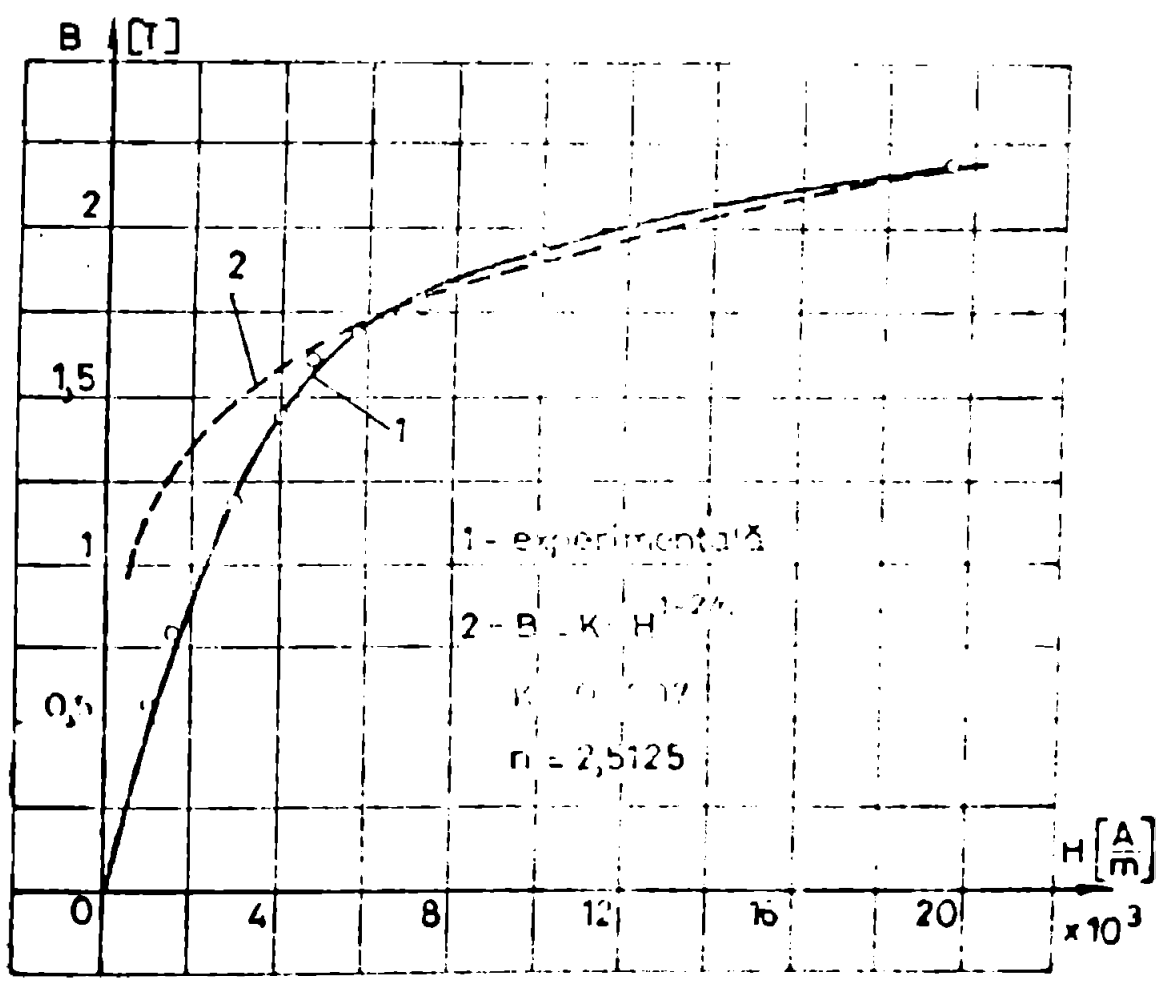


Fig. 31. Curbele de magnetizare analitice experimentale și comparate
 analitice și cele reale.

Cu acești coeficienți se efectuează calculele parametrilor și performanțelor motorului liniar analizat, care relațiile prezentate la subcap.

4.3.3. pentru un întrefier $d_0 = 4 \text{ mm}$.

Se redau în continuare rezultatele acestor calcule:

$R_1 = 0,513 \Omega$	$\mu = 0,11 \cdot 10^{-3}$
$X_c = 1,0416$	$\frac{1}{2} \frac{1}{2100} = 0,213$
$d = 4,16 \cdot 10^{-3} \text{ m}$	$\lambda_{cc} = 1,353$
$\lambda_d = 0,437$	$\lambda_{cc} = 2,24$
$\lambda_{ca} = 1,353$	$\lambda_{cc} = 0,657$
$\lambda_{cc} = 2,24$	$\lambda_{cc} = 6,613 \cdot 10^{-5}$
$\lambda_f = 0,657$	
$K_{ca} = 6,613 \cdot 10^{-5}$	

În continuare, se determină valorile pentru ε_0 , conform metodei de calcul prezentate, și se construiesc curbele $I_1 = f(\varepsilon_0)$ (4.102) și $I_1 = f(\varepsilon_0)$ (4.103). În expresia (4.102) se introduce valoarea reală a tensiunii primare U_{1f} măsurată experimental (caz de exemplu, pentru $d_0 = 4 \text{ mm}$, $U_{1f} = 30 \text{ V}$). Se calculează pentru aceste valori ale λ_{cc} , λ_d , λ_{ca} , λ_f , pentru fiecare ε_0 ales. Din intersecția celor două curbe ($I_1 = f(\varepsilon_0)$) rezultă:

$$\varepsilon_0 = 6 \text{ mm} \text{ și } I_1 = 23 \text{ A}$$

Cu aceste valori se pot calcula parametrii electivi ai motorului indus-întrefier:

$$R_0 = 2,146 \Omega$$

$$X_0 = 0,538 \Omega$$

$$H_0 = 17,692 \text{ Asp/m}$$

Forța de propulsie în circuit, ce rezultă pentru adâncimea de penetrare $\varepsilon_0 = 6 \text{ mm}$, a câmpului electromagnetic în mediul feromagnetic al indusului rezultă (rel. 4.55):

$$F_{x=1} = 1125,7 \text{ N}$$

Erora în fața de valoarea măsurată experimental este:

$$\varepsilon_f = \frac{1125,7}{720} = 1,56 \%$$

Calculul se poate face și pentru forța de propulsie în pornire a motorului liniar analizat utilizând ca sursă de forță de propulsie convențională (rel. 4.55), cunoscut fiind faptul că în acest caz efectul longitudinal se poate neglijă.

$$I_1 = 23 \text{ A}$$

$$A_{12} = \frac{3\sqrt{2} \cdot 28,364}{7,0,075} = 8,21 \cdot 10^4 \text{ A/L}$$

$$c = \frac{28,364 \cdot 10^{-7} \cdot (7,0,075)^2 \cdot (8,21 \cdot 10^4)^2}{\pi^2 \cdot 4 \cdot 10^{-3}} = 2,12$$

$$F = \frac{9,78 \cdot 10^{-2} \cdot 7,0,075}{2,77 \cdot 10^7 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5} \cdot (8,21 \cdot 10^4)^2 \cdot \frac{1}{(2,12)^2} = 745 \text{ N}$$

Procesul față de valcarea este...

$$f_y = \frac{745}{700} = 1,06$$

Cu aceeași relație de calcul a forței de propulsie la pornire s-au primit valorile aceluiași și pentru celelalte curbi ale întrefiliului. Rezultatele, comparate cu cele obținute experimental, sînt cuprinse în tabelul 6.

δ [mm]	I_0 [A]	A_{12} [Amm/L]	c	F_{calc} [N]	F_{exp} [N]	ϵ_s	ϵ_{exp}
4	28	$8,21 \cdot 10^4$	2,12	745	745	4,2	4,2
6	29	$8,5 \cdot 10^4$	2,05	715	715	4,2	4,2
8	31	$9,0 \cdot 10^4$	1,95	685	685	4,2	4,2
10	32,4	$9,5 \cdot 10^4$	1,85	655	655	4,2	4,2

Referitor la cele două metode de calcul ale forței de propulsie aplicate la pornire de motorul linier...

Metodologia de calcul în... efectul de rotulare, curbură... putului magnetic în interiorul plăcii de... metode a acestui subcapitol, este descrisă... rutiv grafic-analitic pentru... de pătrundere ϵ_0 . Pe baza acestor...

Precizia acestei metode... stelor K și n, respectiv de... litico de magnetizare... de magnetizare a plăcii...

În situația analizată concret în literatură, curba... pe...

Baza întregului procedeu de calcul fiind însă una mai accentuată matematică posibilă a plăcii feromagnetice a cărei la regim de pornire, când frecvența fenomenelor electromagnetice este mare, apar diferențe care rezultă între valoarea forței de propulsie calculată după metoda menționată și cea stabilită experimental arătată, fiind că tensiunea de alimentare a fost de 330 V, în calcul se-a luat în calcul valoarea de mai puțină a plăcii feromagnetice secundare realizată, ceea ce duce la obținerea unei forțe calculate cu mult mai mari decât cea reală, cunoscut fiind că în saturație mai mare, contribuția plăcii secundare la stabilirea forței de tracțiune este mai mare, de altfel, în condițiile de experimentare confirmate aceluși condiții, dar alimentarea cu o tensiune de 400 V, diferențele stabilite între forțele calculate și cele experimentale se reduc considerabil ($\xi_p = 11,95$), ceea ce este faptul că în noua situație tensiunea de alimentare reprezintă un factor limitativ, răsădit este și este reală mai promițătoare în acest caz, și în acest caz concordant cu calculul analitic, deci o estimare reală a forței de propulsie la pornire.

- Calculul forței de propulsie la pornire utilizând relația forței convenționale, propusă de autor în prezenta lucrare, oferă posibilitatea unei determinări mult mai rapide și mai exacte, decât în vederea faptului că la pornire efectul longitudinal de cuplaj este mult mai mare și mai eficient, răsădit este și este relativ mică stabilitate între valorile calculate și cele experimentale, tot alie forței de propulsie la pornire este calculată, prin utilizarea calculului amplitudinii de câmp magnetic în condiții statice, în vederea curentului primar I_p și a curenților secundari, sau poate evalua în orice condiție de alimentare care este o condiție de stabilitate și de funcționare.

Eficiența metodei propuse în acest regim de funcționare este ridicată, nefiind necesare niciun fel de intervenții de corecție și în vederea manifestarea efectelor specifice cotelor de analiză, deci, în aceste condiții metoda de calcul propusă poate să furnizeze la pornire o estimare realistă a forței de propulsie la pornire determinate de cotelul liniei.

4.5. Concluzii privind eficiența metodei de calcul a forței de propulsie la pornire

Particularitățile caracteristive ale cotelului liniei, reprezentate de efectele specifice determinate de aceste coteluri, sunt cotelul forței de propulsie dezvoltată de acele tipuri de coteluri care sunt caracteristice și manifestă caracterul acestor efecte, deoarece în acest caz, cotelul în cele din urmă este rezultatul de calcul exact de cuplaj și de câmp magnetic în condițiile de funcționare folosirea calculatorului electronic este o metodă mult mai posibilă și mai operativă de obținere a rezultatelor de calcul și de evaluare a cotelului liniei și de aceea este o metodă foarte bună și foarte eficientă în vederea obținerii unei forțe de propulsie la pornire.

leul unidimensional, ținând cont de caracteristicile sale fizice și de specificul, având la funcționarea motorului linieare, în subcapitolul de subcapitolul de față, se consideră că acest efect este cel mai caracteristic este cel longitudinal dinamic (efectul de cupaj).

Abordarea estimării performanțelor este realizată prin analiza forței de propulsie dezvoltate de motorul liniear de către aplicarea ecuației cimpului magnetic din întrefier aplicând ecuațiile de câmp magnetic dintr-un model unidimensional al motorului la determinarea cupajului și a caracteristicilor de funcționare față de indus cu viteza unghiulară constantă și de înclinație, presupunându-se absența manifestării efectelor de cupaj și de înclinație. În urma aplicării ecuației de rezistență și a ecuației de câmp magnetic în funcție de înclinație și expresia ei într-o serie de puteri de ordin par, se determină metoda linieare lățimea micului inductor, și se poate determina și de asemenea de poli, poziția plăcii de cupru sau aluziului, precum și viteza unghiulară de rotație de la sursa de alimentare. Pentru estimarea caracteristicilor linieare a motorului istorice, trebuie să se țină seama de faptul că în cazul cupajului și de înclinație $\theta = f(\alpha)$.

La manifestarea efectelor de cupaj și de înclinație se ține seama de coeficienții de conductivitate magnetică și de permeabilitate magnetică și de conductivitatea σ_{Cu} și σ_{Al} și de rezistența electrică.

În ceea ce privește cupajul și de înclinație se poate realiza o estimare analitică suficient de bună a caracteristicilor de funcționare a motorului liniear deosebi în momentul pornirii, când efectele de cupaj și de înclinație sunt dinamic. Alimentând inductorul cu un curent constant și aplicând un câmp magnetic suficient de mare în direcția de rotație a indusului, s-a observat că efectele de rotație și de înclinație sunt foarte mici și sunt confirmate prin măsurările efectuate în regiile de pornire ale motorului liniear menționat subcapitolul 4.4.3, care are $\sigma_{Cu} = 5.9 \times 10^7$ și $\sigma_{Al} = 3.5 \times 10^7$.

În situația menționată mai sus, $\theta = 0$ și $\alpha = 0$, se poate realiza în subcap. 4.4.1. și 4.4.2., aplicând ecuațiile de câmp magnetic la propulsia sistemelor de transport de înclinație și de cupaj, se pot realiza estimări considerabile mecanice, întrucât forțele electromagnetice sunt de valori relativ mari (11 - 15 mN). Având în vedere că în cazul de față se utilizează o placă de fier la acest motor, se poate realiza o estimare a caracteristicilor magnetice din întrefier în funcție de înclinație și de cupaj, fiind aplicat cimpului magnetic în întrefier rezultând ecuațiile de câmp magnetic. Aceste ecuații, care au ca urmare, pe de o parte, determinarea caracteristicilor de funcționare și de rezistență și de înclinație și de cupaj, și de altă parte, forma apropiată de o elipsă a câmpului magnetic în funcție de înclinație și de cupaj calcul care au stat la baza estimării caracteristicilor de funcționare și de rezistență și de înclinație și de cupaj a forței dezvoltate de motorul liniear, acțiunile de cupaj și de înclinație și de rezistență în timp a tuturor câmpurilor electrice și magnetice care

intervin în calcul. În aceste cazuri, cu ajutorul metodei analitice propusă în lucrare, forța de propulsie este determinată într-o anumită condiție cu valorile determinate experimental.

De aceea în studiul de față s-a luat în considerare numai un caz particular, care are cont în două situații:

1). În cazul în care sistemul este în mișcare în raport cu inductorul și capăt se manifestă la alunecarea acestuia, precum și, datorită amortizării sale lente, o dinamică a schimbării vitezei și a accelerației și a forțelor de propulsie. Evaluarea cantitativă a acestor fenomene se face dintr-un raport al forțelor de propulsie și de fricțiune, care este în funcție de viteza și accelerația sistemului și de coeficientul de frecțiune μ_{00} . Determinarea acestor valori se face prin măsurări experimentale în condiții inferioare valorii μ_{00} .

2). În situația unui sistem în mișcare în raport cu inductorul, sistemul este în vagonetii sistemului de trăsătură, astfel încât să se realizeze contactul cu un inductor efectiv continuu, prevăzut cu bobinele necesare pentru a realiza un câmp magnetic în A.4.2.2., efectul lui fiind să se realizeze în interiorul sistemului o condiție echivalentă la cea din cazul în care sistemul este în mișcare în raport cu inductorul efectiv continuu. În acest caz se poate considera că inductorul este în mișcare în raport cu sistemul și se pot scrie ecuațiile "pachete" de câmpuri magnetice și de forțe care acționează asupra sistemului sub inductor efectiv continuu. Astfel, prin aplicarea metodei de reacție se poate determina forța de propulsie și de fricțiune, precum și accelerația fenomenului de interacțiune dintre sistem și inductor. Astfel, în cazul în care se poate considera că sistemul este în mișcare în raport cu inductorul efectiv continuu, se pot scrie ecuațiile de mișcare și de forțe de fricțiune determinate dintr-un calcul simplificat al coeficientului de curaj, în funcție de viteza și accelerația sistemului.

Exprimantur aceste ecuații, considerând în interiorul sistemului un câmp magnetic efectiv continuu și se pot scrie ecuațiile de mișcare și de forțe de fricțiune, precum și accelerația fenomenului de interacțiune dintre sistem și inductor. Astfel, în cazul în care se poate considera că sistemul este în mișcare în raport cu inductorul efectiv continuu, se pot scrie ecuațiile de mișcare și de forțe de fricțiune, precum și accelerația fenomenului de interacțiune dintre sistem și inductor.

În concluzie, se poate afirma că metoda de calcul prezentată în lucrare este concretă și aplicabilă în practică, fiind posibil să se realizeze un calcul simplificat al coeficientului de curaj și al forțelor de propulsie și de fricțiune, precum și accelerația fenomenului de interacțiune dintre sistem și inductor. Astfel, în cazul în care se poate considera că sistemul este în mișcare în raport cu inductorul efectiv continuu, se pot scrie ecuațiile de mișcare și de forțe de fricțiune, precum și accelerația fenomenului de interacțiune dintre sistem și inductor.

- 4.6. 4.6.1. Generalizarea metodei de calcul prezentată în lucrare la cazul în care sistemul este în mișcare în raport cu inductorul efectiv continuu și se pot scrie ecuațiile de mișcare și de forțe de fricțiune, precum și accelerația fenomenului de interacțiune dintre sistem și inductor.

$$V_s = 2.7.f \quad (1)$$

oferă posibilitatea costului, la fel ca și la 2000, a puterii pe-
lar 7.

Pe de altă parte, valoarea de calculare se poate determina de condițiile de proiectare, în funcție de condițiile de proiectare și de condițiile de proiectare. În funcție de condițiile de proiectare și de condițiile de proiectare, valoarea de calculare se poate determina de condițiile de proiectare și de condițiile de proiectare.

In funcție de cele două condiții de proiectare și de condițiile de proiectare, valoarea de calculare se poate determina de condițiile de proiectare și de condițiile de proiectare.

Ținând cont de specificitatea proiectării și de condițiile de proiectare și de condițiile de proiectare, valoarea de calculare se poate determina de condițiile de proiectare și de condițiile de proiectare. În funcție de condițiile de proiectare și de condițiile de proiectare, valoarea de calculare se poate determina de condițiile de proiectare și de condițiile de proiectare.

Înainte de a începe proiectarea și de a începe proiectarea, valoarea de calculare se poate determina de condițiile de proiectare și de condițiile de proiectare.

- Intreținerea sistemului

Mărinca în funcție de condițiile de proiectare și de condițiile de proiectare, valoarea de calculare se poate determina de condițiile de proiectare și de condițiile de proiectare. În funcție de condițiile de proiectare și de condițiile de proiectare, valoarea de calculare se poate determina de condițiile de proiectare și de condițiile de proiectare.

Mărinca factorului de proiectare și de condițiile de proiectare, valoarea de calculare se poate determina de condițiile de proiectare și de condițiile de proiectare.

$$G = \frac{\lambda_m}{R_2} = \frac{2\mu_0 r_0^2 a}{\rho \cdot \pi \cdot \delta}$$

Avind in vedere faptul că factorul de calitate poate constitui un criteriu de optimizare a performanțelor aparatului în discuție, acestuia fiind cu atât mai mare cu cât valorile lui G sînt mai mari, rezultă că trebuie să se urmărească o mică a întrefierului. La inducțiile tip "sandwich" (placă fier - plină de aer sau aluminiu), avind în vedere caracteristicile dinamice ale circuitului magnetic, întrefierul magnetic poate să contribuie la apariția unor vibrații mecanice și grosimea plăcii de fier trebuie să fie mică.

Din această cauză, în situația în care se utilizează un material feromagnetic colivie de Cu (Al), avind o pierdere în câmp magnetic mic, trebuie să se folosească în placă de fier, factorul de calitate este superior, din punct de vedere al întrefierului, celui din situația în care se utilizează un material "non-feromagnetic", la stabilirea poziției optime a plăcii de fier intervenind numai variația întrefierului mecanic.

Evident că valoarea minimă a pierderilor în câmp magnetic este în funcție de caracteristicile dinamice ale materialului utilizat în parte.

- Pașul polar δ_1

Ținînd cont de expresia (1) și de caracteristicile dinamice, rezultă că această pierdere crește odată cu creșterea pașului polar și invers proporțional cu pătratul acestuia. Pe altă parte, odată cu creșterea pașului polar, crește și pierderea în câmp magnetic δ_1 a cîmpului magnetic în câmp magnetic în câmp magnetic.

$$\delta_1 \approx R_0 \left[\frac{1}{\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 + \left(\frac{2\pi \mu_0 r_0^2 a}{\rho \cdot \pi \cdot \delta}\right)^2} \right]^{1/2}$$

relația amintită și explicarea acesteia în funcție de caracteristicile dinamice.

Creșterea lui δ_1 are ca urmare o creștere a pierderilor în câmp magnetic (în cazul de fier), creșterea greutateii inductivității și, în consecință, creșterea costului de cost al aparatului.

Creșterea pașului polar δ_1 are ca urmare și o creștere a capacității de stocare a energiei, deci creșterea lungimii totale a bobinei și, în consecință, creșterea pierderilor de creșterea lungimii conductoarelor de fier și, în consecință, creșterea pierderilor active din spirele bobinei. În consecință, rezultă o pierdere a randamentului.

Avind în vedere toate acestea, rezultă că pentru a se obține un aparat cu un pas polar δ_1 și frecvență f :

$$V_s = 2 \pi f \quad (4.1.)$$

rezultă că pentru o frecvență dată, (de ex. 50 Hz), numărul polar determină valoarea vitezei sincronice a mașinii liniare.

Pentru o lungime dată L a mașinii, creșterea numărului polar determină scăderea numărului de poli, fenomen care, de obicei, nu este dorit.

- Numărul de poli p

Așa cum s-a arătat în subcap. d.f., influența efectului longitudinal de capăt scade adată de creșterea numărului de poli.

Aceasta deoarece mai multă parte din câmpuri magnetice pierderele constante date de efectul de capăt, condiționează creșterea performanțelor mașinii liniare. Din această cauză, este avantajoasă proiectarea unei mașini liniare cu un număr relativ mare de poli. Dar numărul de poli nu poate crește nelimitat. Aceasta deoarece pentru un ω dat de viteza sincronă și un număr de frecvență, un număr mare de poli ar determina o creștere excesivă a lungimii mașinii. Așadar, se impune un număr maxim în al. numărului de poli, din acest punct de vedere.

Pentru același V_s , ω și f totuși s-ar putea să se realizeze o scădere a lungimii mașinii prin creșterea numărului de poli, ar rezulta o micșorare a valorii inducției magnetice din întrefier, conform relației:

$$B = \frac{3 \sqrt{2} \cdot I_p \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{2\pi}{p}}{\sqrt{2} \cdot \delta_g \cdot \pi} \quad (4.11)$$

Aceasta ar determina o scădere a valorii forței de propulsie. Pentru a menține, totuși, în același câmp, valoarea inducției, se poate mărita, suplimentar, valoarea curentului I_p , ceea ce ar putea duce la fenomenul de saturație a mașinii. Așadar, este necesar strict de vedere, să se țină cont de alegerea lui p.

- Grosimea plăcii de inducție

Creșterea grosimii plăcii de inducție are unele aspecte implictive, care sunt contradictorii din punctul de vedere al motorului de calitate:

o variații direct proporționale cu δ_g (rel 4.7)

o variații invers proporționale cu întrefierul electromagnetic total care crește cu creșterea lui δ_g . Acest lucru realizează un câmp nul.

Creșterea lui δ_g are și unele aspecte pozitive care sunt, de exemplu, rezultă că factorul de putere va fi totuși același, etc.

Pe de altă parte, o creștere a grosimii plăcii induce și alte efecte care determină o creștere a curentului de pornire.

In situația în care se preferă o placă indus mai subțire, trebuie în vedere puternicele solicitări mecanice la care aceasta este supusă, rită forțelor ce se exercită. Incluziunea secundarului, cauzată de curent-indusii, în special la pornire, determină apariția fenomenului de dilatare, se manifestă mai pronunțat la placa de cupru sau aluminiu. Aceasta, fiind fixată de placa de fier (indus "masiv"), va tinde să se deformeze, îndu-se spre interiorul întrefierului mecanic, modificându-l pe acesta în-un mod arbitrar. Din această cauză, se impune o fixare cât mai perfectă. Placi de Cu(Al) de placă de fier, problemă care se poate rezolva în parte prin adoptarea unei tehnologii care constă în depunerea sau lipirea a două plăci (eventual soluția lipirii cu argint), depunerea unei straturi de Cu(Al) pe substratul de fier prin topire în jet de plasmă sau experimentat cu succes această soluție prin colaborare cu I.N.T.E. și I.C.A.R., decumandată prețul de cost relativ ridicat) sau prin realizarea, direct la laminare, a unui bi-metal Fe-Cu(Al). (soluție practică în prezent).

- Rezistivitatea plăcii indus ρ_{ind}

Scăderea acestei rezistivități determină creșterea factorului de putere și scăderea pierderilor secundare. Dar printr-o valoare redusă a ρ_{ind} se reduce viteza de soldare (din cauza unei afectabile densități de căldură de capăt, care, prin manifestarea sa pe parcursul unui interval de timp mai îndelungat, determină, așa cum s-a văzut în tabelul 4.1., o scădere semnificabilă a forței de propulsie F_p). Alături în vedere manifestarea acestui fapt, focusul de influență pozitivă a micșorării lui ρ_{ind} este în primul rând, creșterea lui ρ se va realiza un echilibru între cele două tendințe menționate (se va considera în final și aspectul economic al soluției).

Tot aici se poate rezolva și problema de răcire a bobinelor, în special în cazul de tipul inducoului. În situația în care se optează pentru răcire prin aer, acesta are avantajul unei rădăcinți pozitive și, creșterea de viteză a aerului și creșterea factorului de putere. Dar aspectul negativ este în creșterea forțelor de atracție considerabile care apar în această situație între placi și secundar.

În cazul unui indus realizat prin conductor, se reduce semnificativ rezistența și sursă de căldură dar crește curentul de căldură și se creșterea factorului de putere.

În concluzie, se poate realiza un indus cu o placă de cupru și aluminiu pe o placă fier-Cu(Al) realizând o soluție de rezistență relativă și creșterea factorului de putere și creșterea vitezei de răcire în condițiile analizate mai sus.

- Micșorarea pierderilor

Alegerea și dimensionarea unui bobinaj, reprezintă un aspect important în stabilirea performanțelor și eficienței acestuia, jociți un rol important în stabilirea performanțelor și eficienței acestuia.

șinii liniare.

Astfel, un dinte de lățime redusă implică valori reduse ale rezonanțelor de dispersie primară și secundară, rezultând, de asemenea, și o constantă de timp secundară redusă. Aceasta din urmă determină o undă a efectului longitudinal de capăt de amplitudine redusă. Urmarea acestor fenomene este un randament, factor de putere și forță de propulsie de valori relativ ridicate pentru aceeași suprafață activă a cupului din crestătură. Trebuie avut în vedere faptul că lățimea dintelui nu se scade pînă la limita de saturare.

În ceea ce privește lățimea sa a pachetului de tole statorice, limita sa inferioară este influențată de condiționarea efectului transversal. Căderile teoretice și experimentale arată că efectul transversal de montaj este glijă la motoarele liniare la care se poate înlocui ușor un motor cu motor din considerentul micșonării înălțimii efectului transversal. În cazul motorului motorului liniar, se recomandă în anumite lucrări [7] să se facă o tentativă într-o lățime a pachetului de tole statorice sau a lățimii dintelui plăcă 2c. Una din aceste relații este de forma:

$$2c_{max} = 2a + \frac{2\delta}{\pi} \tag{4.11}$$

Pe de altă parte, cunoscînd faptul că fluxul de cîmp magnetic al bobinelor de bobină induce tensiuni electromotoare în e. r. țile laterale ale ferului, determinînd pierderi suplimentare și înălbîțind randamentul ca în cazul pentru a reduce la minimum influența acestor fenomene și deci pentru a obține o valoare maximă a forței de propulsie, se recomandă ca între lățimea plăcii și cea a inductorului să existe raportul: [8]

$$\frac{2c}{2a} = 1,47 \tag{4.12}$$

În ceea ce privește lățimea superioră a lui 2a, se are în vedere menținerea profilului de cost secundarului la valori rezonabile.

4.6.2. Criteriul de optimizare a performanțelor motorului liniar

În general, problema proiectării optime a motorului liniar și în particular a mașinilor electrice liniare, se reduce la problema de determinare a parametrilor de proiectare a mașinii, cel mai bine fiind luată în considerare cea care are în vedere factorii economici. În acest caz, problema de proiectare optimă a mașinii liniare se traduce prin valoarea maximă a randamentului care să obțină cu o înălțime minimă a statorului. Aceste probleme trebuie să fie privite sub 3 aspecte:

- proiectarea optimă a motorului liniar în condițiile

condițiile unui consum specific de energie de construcție și de exploatare.

(cunoscută, etc.), având în vedere energia consumată pe parcursul tehnologiei de fabricație a acestor materiale (sau numita energie intrinsecă, înglobată în material).

- asigurarea unei tehnologii de realizare a mașinii electrice care să se caracterizeze printr-un consum global de energie (la întreprinderea care execută mașina electrică proiectată).

- obținerea unor performanțe adecvate în condițiile asigurării unui consum de energie cât mai redus. În mașina electrică realizată, aceasta înseamnă, de exemplu, prin stabilirea unei metode de calcul a parametrilor motorului care să ofere o valoare maximă a raportului Putere mecanică / Putere absorbită.

Evident, aspectul energetic analizat trebuie privit în condițiile integrării sale în contextul celorlalte aspecte de economicitate precum și în aplicarea concretă a motorului liniar: realizarea unui sistem de transport al materialului cu cost specific și transportului și consum de energie cu sursă alternativă față de cele clasice, aspecte de fiabilitate, eliminarea contactului cu lubrifianți lichizi, eliminarea importurilor, etc.

Considerațiile ce vor fi prezentate în continuare, privind criteriile de proiectare optimă a motorului liniar nu vor include criteriul de cost, costul de cost având în vedere următoarele aspecte:

- costurile specifice ale materialelor active folosite în realizarea mașinii electrice suferă fluctuații în timp;

- este dificil să se aprecieze, mai ales în situația realizării unor prototipuri, numărul de ore - ore consumate în diferitele faze ale procesului de proiectare și execuție. Diferitele întreprinderi executante, în funcție de gradul lor de automatizare, normează în mod diferit consumul de tehnologie. În cazul realizării industriale tip colivie, forajarea canalelor practice în pl. de oțel se poate face cu o singură frază sau cu fraze multiple, aceasta contribuind la scderea considerabilă a duratei fazei realizării. În același timp, realizarea configurației spațiale a bobinelor motorului liniar se poate face fie prin presare după șablon, fie prin tragere manuală sau mecanică a cabloanelor care, pentru a realiza capete de bobini scurte, trebuie să prezinte raze de curburi succesiv micșorate, apăsare, stabilizare. În realizarea motorului, reprezentarea este foarte importantă și realizarea ei nu se poate face după o metodă unitară, universală aplicabilă.

- costul utilajului și costul energiei ce consumă în realizarea mașinii este, și el, în contextul celor prezentate anterior, un aspect deosebit de înecstrare tehnică al întreprinderii executoare. El poate fi tratat în concluzia menționată la punctul precedent.

Apădar, trebuie găsite căile de proiectare și execuție care să permită o abordare analitică, în funcție de o serie de criterii de

șinii. In cele ce urmează, se vor menționa două astfel de criterii:

4.6.2.1. Criteriul factorului de calitate

Așa cum s-a mai menționat, factorul de calitate Q al motorului liniar poate constitui un important criteriu de optimizare, el exprimând de fapt eficacitatea conversiei de energie dintr-o putere dintr-o formă în alta. In mod deosebit, acest factor indică eficacitatea conversiei puterii din circuitul electric în circuitul magnetic al mașinii. Formele sub care poate fi exprimat factorul de calitate au fost prezentate în subcap. 4.2. (vezi 4.7).

$$Q = \frac{2\mu_c r_1 \tau^2}{\rho'_n \pi \cdot \delta} = \frac{2\mu_c r_1 \tau^2 \sigma_{\text{max}}}{\pi \rho'_n \tau_c (1 + \sigma_{\text{max}})} \approx \frac{V_1}{I_2}$$

in care ρ'_n = rezistivitatea de suprafață a materialului diamagnetic al inductorului.

Ținând cont de faptul că expresiile reactanței de magnetizare X_m și a rezistenței secundare r_2 se pot scrie în funcție de parametrii geometrici ai mașinii, prin deducerea valorii lui Q se poate estima eficacitatea mașinii din punctul de vedere al conversiei puterii electrice în putere magnetică înainte ca performanțele mașinii să se fi calculat.

După cum s-a menționat în subcap. 4.6.1., există o serie de parametri prin a căror variație se poate determina creșterea factorului de calitate:

- scăderea întroflexiunii.
- creșterea pasului polar, cu consecințe asupra geometrii plăcii de dus și lungimii capetelor de bobină.
- scăderea rezistivității secundare ρ'_n , cu consecințe asupra efectului longitudinal de capăt, având ca rezultat diminuarea forței de propulsie.

Avind în vedere faptul că scăderea întroflexiunii este dictată de considerente de ordin mecanic, fiind de obicei impusă ca dată de proiectare, iar scăderea rezistivității ρ'_n dădă de diminuarea forței de propulsie, cea bună metodă eficientă de creștere a lui Q este creșterea pasului polar τ , care în expresia factorului de calitate apare la pătrat.

In considerațiile prezentate, s-a presupus frecvența polară $f_p = 50 \text{ Hz} = \text{constant}$.

4.6.2.2. Criteriul raportului puteri

Forță de propulsie - putere absorbită

Acesta este un criteriu similar de eficient, creșterea raportului F_x / P_1 indicind clar obiectivul optimizării a mașinii (creșterea forței și scăderea pierderilor) la valori ridicate, paralel cu diminuarea semnificativă a pierderilor (și res-

liv a energiei absorbite. Dat fiind faptul că explicitarea raportului P_1 în funcție de parametrii mașinii va rezulta un alt criteriu de optimizare, acela al realizării forței maxime de propulsie la viteza nominală, se va liza, în continuare, în detaliu, acest criteriu.

4.6.3. Calculul optim al slăbirei parametrilor ai motorului liniar asincron folosind ca criteriu raportului forței de propulsie / pierdere absorbită.

Pentru analizarea și proiectarea preliminară a unui motor liniar asincron la viteză redusă se folosește un circuit echivalent aproximativ. Pentru determinarea parametrilor circuitului, se adoptă relații de calcul de la motoarele de inducție rotative, aplicate la motoarele de inducție liniare.

Se consideră cazul unui inductor tip placă, caracterizat printr-o rezistivitate de suprafață:

$$\rho_r = \frac{\rho}{\delta} \quad (4.114)$$

unde ρ este rezistivitatea materialului secundarului, iar δ este grosimea plăcii secundar.

Se poate determina un factor de corecție care ținând cont de efectul longitudinal de capăt, să determine valoarea efectivă a lui ρ_r . Fig. 32 reprezintă grafic variația lui ρ_r relativ datorită efectului de capăt pentru un motor liniar cu inductor scurt. [58].

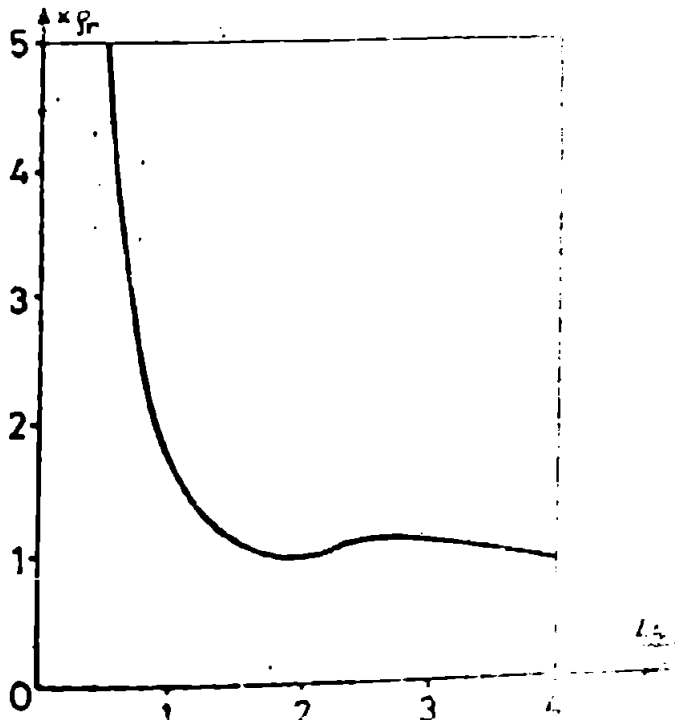


FIG. 32. Variația lui ρ_r ținând cont de efectul longitudinal de capăt.

Pe de altă parte, ρ_r nu este decât o distorsiune a rezistenței de suprafață, deci, această variație putându-se scrie prin relația:

$$\rho_r' = \frac{\rho_r}{1-K}$$

unde K este factorul de corecție datorită efectului de capăt, factor care este explicitat în subcap 4.2.1. (rel. 4.14).

Ținând cont de similitudinea raportată specifică intrării de pro-
zenta unui inductor plan și de înălțimea (și de) scurt, motorul liniar se po-
te reprezenta, pentru o fază, printr-un circuit echivalent aproximativ dat
de fig. 33. [58]

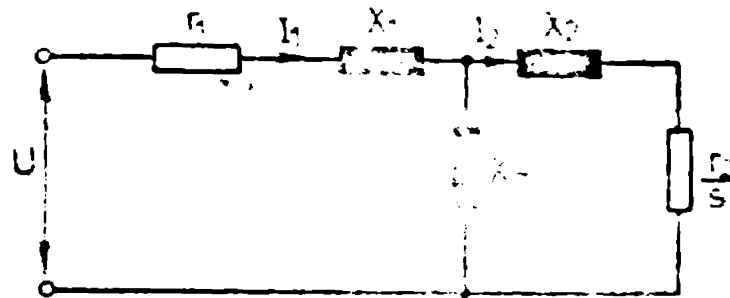


Fig. 33. Circuit echivalent al motorului liniar
(indus pe câștig mic și scurt)

Adoptând formulele clasice de calcul, pentru $X_2 = 0$, se vor obține
expresiile parametrilor circuitului echivalent al motorului liniar [48]:
- rezistența primară a unei faze:

$$r_1 = \frac{P_{cu} \cdot K_u^2 \cdot \tau \cdot m^2 \cdot \omega^2 \cdot \left(1 + \frac{2}{\lambda_c}\right)}{X_u \cdot K_d \cdot p \cdot \tau^2} \quad (4.115)$$

unde: $K_p = \frac{\tau_c}{b_c}$; $K_d = \frac{h_c}{b_c}$ (4.116)

τ_c = pas de crestatură

h_c = adâncimea crestăturii

b_c = lățimea creștăturii

m = număr de zăbre

$2a$ = lățimea inductorului

q = număr de crestături pe pol și fază

$K_p = 1,2 \rightarrow 1,5$ - raportul dintre înălțimea rețelei a capetelor de bobină și pasul polar τ_c .

$K_u = 0,7 \rightarrow 0,8$ factor de umplere a creștăturii

τ = numărul de spire pe fază

- reactanța primară de dispersie:

$$X_{10} \approx \frac{2\mu_0 \omega}{p} \left[\frac{(\lambda_c + \lambda_d^2)}{2} + \lambda_c \frac{\tau}{2} \cdot \frac{2}{\tau_c} \right] \quad (4.117)$$

unde:

$$\lambda_c = \frac{q}{12} \tau_c \left(1 + \frac{2}{\lambda_c}\right) \quad (4.118)$$

$$\lambda_d^2 = \frac{5 \sqrt{2} \tau_c}{5 + 4 \tau_c / \tau_c} \quad \text{per cant. diferențială} \quad (4.119)$$

$$\lambda_0 \approx 0,3 (3\beta - 1) \text{ - permeabilitate frostala} \quad (4.120)$$

β = factor de scurtare

K_2 = factor ce ține seama de lungimea bobinelor de bobina

- rezistența bobinelor :

$$r_2 = \frac{6 \cdot 22}{5 p} \cdot \rho_r (N_2)^2 \quad (4.121)$$

unde: $K_V = 0,9$ - factor de bobinaj

- rezistența de magnetizare

$$X_m = \frac{6 \cdot \mu_0 \omega}{\pi^2} \cdot \frac{76 \cdot 22}{p \cdot d_0} (N_2)^2 \quad (4.122)$$

unde:

$$d_0 = (d_{\text{mec}} + d_{\text{Cu}(Al)}) \cdot \pi \cdot 10^{-3} \quad (4.123)$$

K_C = factorul lui Carter

K_p = coeficientul ce ia în calcul influența reluctanței magnetice a miezului de fier și a secțiunii lui.

Analog cu motorul asincron rotativ, parametrile motorului asincron

liniar se pot scrie:

- puterea la intrare (asincron) pentru c fază: $P_1 = 3 U_1 I_1 \cos \varphi_1 \quad (4.124)$

- pierderi în inducție: $P_2 = I_1^2 \cdot r_1 \quad (4.125)$

- puterea dezvoltată: $P_2 = 3 U_1 I_1 \cos \varphi_1 - I_1^2 r_1 \quad (4.126)$

- forța dezvoltată: $F_2 = \frac{1}{s} P_2 \quad (4.127)$

- pierderile în cuprul bobinajului: $3(U_1 I_1 \cos \varphi_1 - I_1^2 r_1) \quad (4.128)$

s-au notat: V = viteza rotativă liniar, I_1 = curentul primar, $\cos \varphi_1$ =

= factorul de putere la intrare.

În plus cum s-a menționat, criteriul optim de calcul se definește avînd

raportul:

$$K_1 = \frac{F_2}{P_1} \quad (4.129)$$

Conform schemei echivalente avem:

$$I_2 = \frac{I_1 X_m}{\sqrt{\frac{r_2}{s} + X_m^2}} \quad (4.130)$$

Acastă relație s-a obținut ținînd cont de faptul că în situația unor înfășurări magnetice relativ mici, caracteristice motorilor liniari aplicați în sistemele de transport analizat, curentul de magnetizare I_m poate atinge

pe valori considerabile, comparabile cu valoarea curentului primar I_1 . Dar, se poate admite în această situație:

$$I_1 \approx I_m + I_2 \approx I_m$$

Tensiunea electromotoare indusă E , care îndeplinește rolul unei surse pentru circuitul secundarului, va avea expresia:

$$E = X_m \cdot I_1 = X_m \cdot I_2$$

Acum, pe baza schemei echivalente din fig. 23, expresia (4.130) pentru curentul secundar, știind că impedanța a două impedanțe conectate în paralel X_m și r_2/s valoarea curentului primar (din impedanța în situația lui I_2 prin r_2/s) se stabilește faptul că curentul care intră în circuitul paralel (I_1) cu raportul dintre impedanța calculată pentru X_m și impedanța totală a circuitului paralel.

Cu expresia $G = \frac{1}{r_2/s}$ avem:

$$I_2 = \frac{I_1}{\sqrt{(1/sG)^2 + 1}} \quad (4.131)$$

Puterea dezvoltată va fi:

$$P_2 = I_2^2 (1-s) V_s = I_2^2 r_2 \frac{1-s}{s} \quad (4.132)$$

$$P_2 = \frac{I_1^2 \cdot r_2}{s V_s^2 \left[(1/sG)^2 + 1 \right]} \quad (4.133)$$

Puterea absorbită P_1 corespunzătoare unei faze este:

$$P_1 = I_1^2 \cdot r_1 + \frac{I_2^2 r_2}{s} \quad (4.134)$$

În final se obține:

$$K_1 = \frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{V_s^2 \left[1 + \frac{r_1}{r_2} \frac{(1+s^2 G^2)}{s G^2} \right]} \quad (4.135)$$

unde r_1 , r_2 și V_s sînt constante, iar între fiecare alunecare s , pentru care G este maxim și G_0 este relația:

$$G_0 = \frac{1}{s_m} \quad (4.136)$$

unde Q este factorul optic de calitate.

$$G_0 = \frac{2 \mu_0 r_1 \tau^2 G_{opt} \cdot \dots}{\dots} \dots$$

Pe baza acestui raționament, se poate deduce un alt criteriu de optimizare: obținerea forței maxime la viteza nominală. Acest criteriu rezultă din astfel:

K_1 maxim poate însemna și F_{Xk} maxim la un anumit P_1 . La un motor asimilabil, $F_{Xk} = F_{Xn}$ se obține la alunecarea s_n . Conform definițiilor anterioare, să realizăm condiția:

$$G_0 \cdot s_n = 1, \quad (4.137)$$

această situație rezultă din alunecarea la care F_x este maximă este (iar alunecarea nominală s_n , adică:

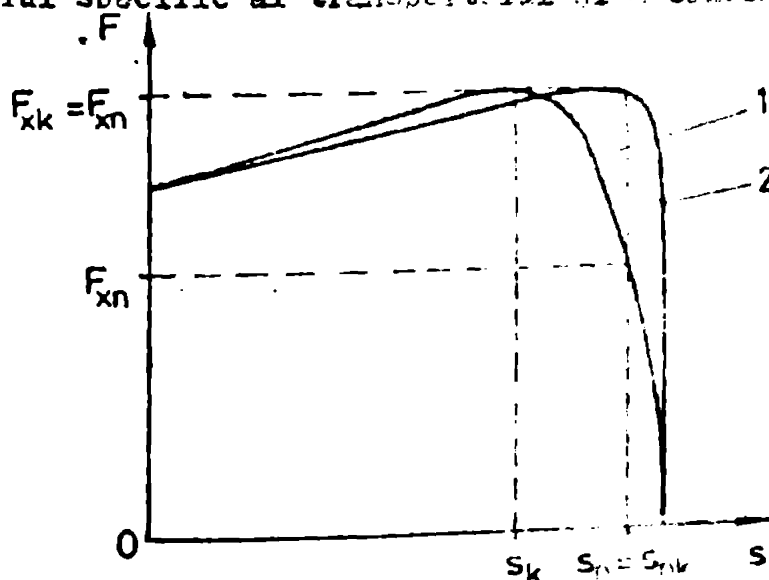
$$s_n = s_{nk} \quad (4.138)$$

$$F_{Xn} = F_{Xk} = F_{Xmax} \quad (4.139) \text{ (fig. 34)}$$

Iată deci două criterii de proiectare optimă, care de fapt se pot înțelegi implicit:

- 1). Criteriul maximului raportului F_x/P_1
- 2). Criteriul obținerii forței maxime la alunecare nominală.

Acest criteriu de optimizare este necesar de eficient, asigurarea forței de propulsie maxime la alunecarea nominală (fig. 34) constituind un factor decisiv în ce privește scăderea numărului de coloare liniare de propulsie pe unitatea de lungime a tractului, scăderea investițiilor în echipament electric (cu pondere hotărâtoare în stabilirea investițiilor totale), scăderea costului specific al transportului și a consumului specific de energie.



1. Caracteristica secun-
dară inițială = M1
2. Caracteristica obținută
aplicând criteriul de op-
timizare $G_0 \cdot s_n = 1$

Fig. 34. Evidențierea forței maxime de propulsie la alunecarea nominală în urma aplicării condiției $G_0 \cdot s_n = 1$

În considerațiile de mai sus, alunecarea nominală reprezintă alunecarea caracteristică vitezei de rotație (viteza stabilizată) cu care trece, în trecut la sarcina nominală, se aplică la proiectare cu lungimi de cordă

Legat de aspectul criteriului de optimizare dedus (forță maximă la alunecarea nominală), trebuie menționat faptul că la efectuarea calculului de acționare pe un traseu concret, real, (la determinarea diagramelor de viteză reale în zona magistralilor), determinarea numărului de motoare liniare din modulele de propulsie se face în condiții cu forțe dezvoltate de un motor având valori sensibile inferioare valorii P_{max} (dar totuși superioare lui P_n în cazul acestei măsurări de siguranță se ia în scopul menținerii stabilității punctului de funcționare în situațiile ivirii unor accuri de încărcare accidentale - puțin probabile, totuși, la funcționarea în condiții normale ale sistemului).

În ceea ce privește asigurarea forței de propulsie necesare la pornire, învingerea rezistențelor de alunecare este în primul rând asigurată prin asigurarea accelerațiilor impuse la pornire și face prin creșterea numărului de motoare din modulele de propulsie care acționează asupra zonei.

Problema găsită unui criteriu de optimizare a performanțelor energetice a motorului liniar, care să aibă în vedere posibilitatea creșterii factorului de putere prin scăderea consumului de putere reactiv, pe calea reducerii întrefierului mecanic a fost, de asemenea, luată în considerare. S-a avut însă în vedere faptul că o serie de factori mecanici constructivi determină imposibilitatea reglării alunecării în indusurilor și a săii de rulare, întrefierul neputând fi reglat în mod adecvat optic. În consecință, natura electromagnetică a indusurilor de cupru sau aliajale externe, implicit, creșterea întrefierului magnetic total la indusurile tip placă. Toate acestea impun măsuri de compensare a factorului de putere, realizată în mod curent cu ajutorul bateriilor de condensatoare.

Totuși, se pot lua o serie de măsuri eficiente în scopul reducerii investițiilor aferente compensării factorului de putere. Dintre acestea se pot aminti:

- realizarea condensatorilor pe partea de înaltă tensiune a instalațiilor electrice de alimentare cu energie,
- în funcție de condițiile concrete de exploatare, în situația vehiculării materialului pe verticală, cu ajutorul unor elevatoare, acționate cu motoare sincrone rotative ce funcționează în regiunea supraexcitată, se poate asigura parțial sau integral puterea reactivă necesară compensării factorului de putere de valori mici ale motoarelor liniare:
- însuși criteriul de optimizare menționat mai înainte, oferă, prin scăderea numărului total de motoare liniare instalate, posibilitatea îmbunătățirii performanțelor energetice globale, prin scăderea consumului total de energie reactivă.

În ceea ce privește aplicarea criteriului optimizării forței maxime la alunecarea nominală, se va vedea în procesul de calcul a unor parametrii ai motorului liniar $M = 0,3 (0,25 \cdot S_{n1} \cdot d_{n1})$, în condițiile lăurii în con-

studiu asupra influenței efectului transversal, a saturației și a curenților turbulenți din miezul magnetic masiv al transformatorului.

Calculul se pornește înlocuind în expresia forței de propulsie F_n dată în subcap. 4.3. (relația 4.55.):

$$F = \frac{2a \cdot \tau \cdot n}{\sigma_e \cdot d_{Cu} \cdot v_s} \cdot \frac{1}{s^2} \cdot \frac{1}{\sigma^2}$$

presiunea păturii de curent, B_n :

$$B_n = \frac{3 \sqrt{2} \cdot I_1 \cdot K_1 \cdot \mu_0}{p \cdot \delta} \quad (\text{relația 4.3})$$

Înlocuind în expresia lui F avem:

$$F = \frac{2a \cdot \tau \cdot n}{\sigma_e \cdot d_{Cu} \cdot v_s} \cdot \frac{135 I_1^2 \cdot \mu_0^2}{p^2 \cdot \tau^2} \quad (4.140)$$

Conform criteriului de calitate se cere ca $s_{av}^2 \cdot \sigma^2 = 1$, deci avem:

$$\begin{aligned} (F_{xm})_{s_{av} \cdot \sigma = 1} &= \frac{3 \sqrt{2} \cdot I_1 \cdot K_1 \cdot \mu_0}{\sigma_e \cdot d_{Cu} \cdot \tau \cdot p \cdot \delta} \cdot \frac{135 I_1^2 \cdot \mu_0^2}{p^2 \cdot \tau^2 \cdot \sigma^2} \cdot \frac{1}{\sigma^2} = \frac{B_n}{\tau \cdot \mu_0} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{3 \sqrt{2} \cdot I_1 \cdot K_1 \cdot \mu_0}{\sigma_e \cdot d_{Cu} \cdot \tau \cdot p \cdot \delta} \cdot \frac{135 I_1^2 \cdot \mu_0^2}{p^2 \cdot \tau^2} \quad (4.141) \end{aligned}$$

Pe de altă parte, densitatea inducției magnetice din întregul este dată de relația:

$$(B_{\delta_n})_{s_n \cdot G = 1} = \frac{3 \sqrt{2} \cdot I_1 \cdot K_1 \cdot \mu_0}{\pi \cdot \delta_0 \cdot p \cdot \delta} \quad (4.142)$$

Deci rezultă:

$$I_1 \cdot K_1 \cdot \mu_0 = \frac{B_{\delta_n} \cdot d_{Cu} \cdot \tau \cdot \pi}{3 \cdot \mu_0} \quad (4.143)$$

expresie care se înlocuiește în cea a lui F_{xm} (4.141):

$$F_{xm} = \frac{3 \cdot 50}{\sigma_e \cdot d_{Cu} \cdot \tau \cdot p \cdot 2 \cdot \tau^2 \cdot \mu_0} \cdot \frac{B_{\delta_n}^2 \cdot d_{Cu}^2 \cdot \tau^2 \cdot p^2 \cdot \delta^2}{\pi^2 \cdot \mu_0^2} = (p \cdot B_{\delta_n} \cdot a) a$$

$$* \frac{B \delta_n \cdot \delta_e^2 \cdot \pi^2}{\sigma^2 f_1^2 n_k d_{Cu} \sigma_e \mu_0^2} \cdot \frac{6 \sigma^2 I_{w1}}{6 \sigma^2 I_{w1}} = 6 B \delta_n \cdot p \cdot \sigma^2 \cdot \dots \cdot C_s \quad (4.144)$$

In continuare, căutăm să aducem factorul C_s la o formă mai simplă:

$$C_s = \frac{n \delta_n \cdot \delta_e^2 \cdot \pi^2}{6 \sigma^4 f_1^2 n_k d_{Cu} \sigma_e \mu_0^2 \cdot I_{w1}} = \frac{3 I_1 \pi_1 I_{w1} \mu_0}{\delta_e \cdot p \cdot \pi} *$$

$$* \frac{\delta_e^2 \cdot \pi^2}{6 \sigma^4 f_1^2 n_k d_{Cu} \sigma_e \mu_0^2 \cdot I_{w1}} = \frac{(I_1 \pi_1) \delta_e \cdot \pi}{2 p \sigma^4 f_1^2 n_k d_{Cu} \sigma_e \mu_0}$$

$$= \frac{(I_1 \pi_1) \delta_e \cdot \pi}{\pi \cdot \delta_e \cdot p \cdot \sigma^2} = \frac{1}{p \cdot \sigma^2} (I_1 \cdot \pi_1)$$

$$C_s = \frac{1}{p \cdot \sigma^2} (I_1 \cdot \pi_1) \quad (4.145)$$

Înțințea utilă a creșterii este dată de relația:

$$h_c = \frac{2 n_b I_1}{J_{Cu} \cdot K_u \cdot b_c} \quad (4.146)$$

nde: n_b = numărul de spire/loburi

K_u = factorul de umplere a creșterii

Avem în continuare:

$$h_c = \frac{2 \cdot \frac{N_1}{2p \cdot q} \cdot I_1}{J_{Cu} \cdot K_u \cdot b_c} = \frac{N_1 I_1}{J_{Cu} \cdot K_u \cdot p \cdot q \cdot b_c} \quad (4.147)$$

$$N_1 I_1 = h_c \cdot b_c \cdot p \cdot q \cdot K_u \cdot J_{Cu} \quad (4.148)$$

$$C_s = \frac{h_c b_c q K_u J_{Cu}}{\sigma^2} \quad (4.149)$$

În țință cu:

$$K_d = \frac{2abc}{\sigma} = 1 - \frac{L \cdot f_2}{\sigma_e} \quad (4.150)$$

si B_{dn} reprezintă inducția magnetică în dantele inductorului, rezultă:

$$\zeta^2 = \frac{9q^2 \cdot b^2}{F_d^2} \quad (4.151)$$

în final:

$$C_s = \frac{1}{9q} \cdot K_d^2 \cdot \frac{h_c^2}{b_c} \cdot \rho_{Cu} \quad (4.152)$$

Acest factor se introduce în expresia lui F_{x_n} :

$$F_{x_n} = 6 B_{\delta_n} \cdot p \cdot \zeta^2 \cdot \rho_{Cu} \cdot U_n \quad (4.153)$$

Admitind că se cunoaște valoarea medie a forței F_{x_k} care, în condițiile criteriului de optimizare stabilit, va deveni $F_{x_k} = F_{x_n}$ ($2a \cdot a_k = a_k$), se poate deduce expresia lui ζ pentru care se va putea realiza criteriul menționat.

$$\zeta = \sqrt{\frac{F_{x_n}}{6 B_{\delta_n} \cdot p \cdot a \cdot \rho_{Cu} \cdot C_s}} \quad (4.154)$$

În continuare, aplicând metoda de proiectare optimă realizată, se va calcula noul pas polar pentru motorul liniar cu $\alpha = 0,3$.

Datele inițiale:

- lățimea crestăturii: $b_c = 10 \text{ mm}$
- adâncimea crestăturii: $h_c = 20 \text{ mm}$
- densitatea de curent: $j_{Cu} = 5 \text{ A/mm}^2$
- factorul de umplere: $K_d = 0,8$
- număr de crestături pe pol și fază: $q = 1$
- inducția magnetică maximă în intrător: $B_{\delta_n} = 0,3 \text{ T}$
- inducția magnetică în dantele inductorului: $B_{dn} = 1,6 \text{ T}$
- numărul perechilor de poli: $p = 3$
- semilățimea inductorului: $a = 0,2 \text{ m}$
- factorul global de lezabilitate: $\rho_{Cu} = 1$
- valcarea medie a forței de propulsie, rezultată din caracteristicile

meccanice a motorului liniar: $F_{x_k} = F_{x_n} = 5400 \text{ N}$

Făcînd înlocuirile în (4.152) și (4.154) avem:

$$C_s = \frac{1}{9} \left(1 - \frac{0,3}{1,6}\right)^2 \cdot \frac{1}{19} \cdot 0,15 \cdot 10^6 = 1,157 \cdot 10^6$$

$$\tau = \sqrt{\frac{9300}{6.0 \cdot 3.3 \cdot 0.2 \cdot 1.137 \cdot 10^6}} = 0,087 \text{ m}$$

În raport cu pasul polar inițial al motorului liniar ML -03 ($\tau_1 = 0,084 \text{ m}$), această valoare non calculată va asigura și o creștere corespunzătoare a factorului de calitate, adică a eficienței conversiei de putere electrică în putere magnetică. Deși prin creșterea lui τ crește greutatea inductivului, determinată de creșterea adâncimii de pătrundere a cîmpului magnetic în placa masivă de fier a secundarului, iar prin creșterea lungimii capetelor de bobină pierderile în înfășurarea primară vor fi mai mari, totuși aceste efecte secundare sînt compensate de realizarea de către motorul liniar a unor performanțe de propulsie superioare în regim nominal ($P_n = P_{\max}$), performanțe care, așa cum s-a menționat, conduc la o efortare considerabilă a eficienței economice a aplicării lor concrete (mai puțin mic de motorare liniare pe unitatea de lungime a trascului).

În continuare, se poate calcula valoarea alunecării nominale s_{n1} la care va corespunde forța maximă de propulsie F_{x1} .

Pentru aceasta, se scrie expresia componentei tangențiale a inducției magnetice în fier, la suprafața acestuia. [17]

$$B_{x1} \approx K_{11} \frac{B_{\delta}}{\delta_1} \cdot \frac{\tau}{\pi} \quad (4.155)$$

unde: $K_{11} = (1,1 + 1,2)$ este un coeficient care ține cont de redistribuirea inducției magnetice în miezul magnetic al secundarului datorită efectului longitudinal, în condiții de saturație avansată, iar δ_1 este adâncimea de pătrundere a cîmpului magnetic în fierul masiv al secundarului.

Rezultă:

$$\delta_1 = \frac{\tau}{\pi} \cdot \frac{B_{\delta}}{B_{x1}} \cdot K_{11} \quad (4.156)$$

Pe de altă parte, această adâncime de pătrundere a cîmpului într-un mediu feromagnetic se mai poate exprima și estimându-l după o relație caracteristică efectului pelicular:

$$\delta_1^{-1} = \sqrt{\pi f_1 \mu_{Fe} \cdot \sigma_{Fe} + \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{\tau} \right)^2} \quad (4.157)$$

Egalînd relațiile (4.156) și (4.157) avem:

$$\left(\frac{\pi}{\zeta} \cdot \frac{B_{x_1}}{B_{\delta} \cdot K_{l_1}} \right)^2 = \frac{1}{2} \cdot 2\pi f_1 \mu_{Fe} \cdot \sigma_{Fe} + \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{\zeta} \right)^2 \quad (4.158)$$

Rezultă:

$$\omega_{n_k} = \frac{2\pi^2}{\mu_{Fe} \sigma_{Fe} \zeta^2} \cdot \left[\left(\frac{B_{x_1}}{B_{\delta} \cdot K_{l_1}} \right)^2 - \frac{1}{2} \right] \quad (4.159)$$

În această relație, permeabilitatea echivalentă a fierului masiv se poate estima printr-un procedeu iterativ de calcul, menționat în de-
[17]. Efectuând calculele, rezultă, pentru situația concretă ana-
lizată, valoarea lui μ_{Fe} :

$$\mu_{Fe} = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ H/m};$$

Înlocuind în relația (4.159), calculăm alunecarea scindă s_{n_k} :

$$s_{n_k} = \frac{2,3,14^2}{4,8 \cdot 10^{-4} \cdot 3,52 \cdot 10^7 \cdot (0,07)^2 \cdot 2,3,14 \cdot 50} \left[\left(\frac{1,7}{0,3 \cdot 1,15} \right)^2 - 0,5 \right] = 0,116$$

În această relație, s-a considerat pentru B_{x_1} valoarea: $B_{x_1} = 1,7 \text{ T}$.

Ținând cont de expresiile lui F_{x_n} , s_{n_k} , B_{δ} , d_{in} și C_{σ} , se poate

scrie expresia grosimii optime a plăcii de cupru:

$$d_{Cu} = \frac{3 C_{\sigma} \zeta \pi}{\omega_{n_k} B_{\delta} \sigma_{\sigma}} \quad (4.160)$$

Făcînd înlocuirile, obținem:

$$d_{Cu} = \frac{3 \cdot 1,137 \cdot 10^6 \cdot 0,067 \cdot \pi}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,116 \cdot 0,3 \cdot 2 \cdot 10^7} = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

În concluzie, se remarcă faptul că metoda de calcul optimă a para-
metrilor motorului liniar menționat în subcapitolul de față (ζ , s_{n_k} , d_{Cu}),
bazată pe criteriul maximului raportului P_2 / P_1 oferă, pe lângă avantajele
menționate pînă acum, și posibilitatea obținerii acestor performanțe în condiții
serioase din punct de vedere economic, așa cum dovedește dimensiunea
mică a plăcii de cupru, care, calculată în varianta optimizată, rezultă cu peste trei
ori mai subțire decît în situația inițială (d_{Cu} inițial = 3 mm). Scade astfel
consumul specific de cupru, prețul de cost, dar și consumul specific de ener-

le input de tehnologia de elaborare a cuprului/ motor liniar realizat.

Problema optimizării calculului unor parametri ai motorului liniar sincron unilateral, prezentat în subcap. 4.6, prezintă un caracter de originalitate având în vedere următoarele aspecte:

- Pe baza consultării materialului bibliografic, s-a ales ca și criteriu de optimizare unul care, pentru situația concretă a sistemului de transport cu trenuri de vagoane acționate cu motoare liniare electrice, să asigure o eficiență economică maximă. Criteriul asigurării forței de propulsie dezvoltate maxime la alunecarea minimă implică posibilitatea unei scăderi considerabile a cheltuielilor de investiții aferente sistemului de transport realizate, la scăderea consumului specific de energie și a costului specific al transportului. Așa cum s-a arătat, totuși valorile scăzute ale acestor indicatori, în comparație cu cei corespunzători sistemelor clasice de transport material, conferă sistemului cu motoare liniare avantajul unei aplicații eficiente.

- Cunoscându-se condițiile concrete și problematica specifică a sistemului de acționare (propulsia cu motoare liniare a unor trenuri de vagoane în aplicații în transportul minier de suprafață), s-a procedat la o abordare selectivă, numai a unor anumiți parametri care urmasă a fi calculați pe baza unor criterii de optimizare, calculați având valori în domenii limitate, înțeles, determinate de caracterul sistemului de transport în ansamblu. Fiind cunoscute efectele modificărilor valorice ale unor parametri de bază ai motorului liniar sincron, a căror prezentare statistică se poate regăsi în [34], s-a putut face o interpretare realistă a efectelor globale privind eficiența parametrilor optimizați în comparație cu cei efectivi, pe care îi are motorul realizat.

- Relația de calcul optimă a pierzului polar al motorului, ținând cont de criteriul de optimizare preluat după considerente anterior enunțate, a fost dedusă pornind de la expresia forței de propulsie (4.55), care are un caracter original. Prin utilizarea succesivă a unor relații ce definesc o serie de mărimi electrice și magnetice caracteristice motorului liniar și urmând o logică având ca scop final stabilirea unei dependențe între parametri optimizați și o serie de parametri reali efectivi (constructivi, magnetici, etc.), s-a obținut o relație pentru δ optima care se poate regăsi, într-o formă similară, și în lucrarea [1]. Prin aceasta, se confirmă, pe de-o parte, corectitudinea deducției, pe de altă parte, se confirmă și pe această cale, valabilitatea expresiei forței de propulsie (4.55) cu caracter original.

Legat de problema optimizării unor parametri ai motorului liniar, se menționează faptul că preluarea criteriului de optimizare menționat din lucrarea materialului bibliografic a fost input de considerentul tratării acestei probleme într-un spațiu restrâns (un subcapitol), păstrând totuși ca-

erul unei soluționări operative.

**5. SISTEMUL DE TRANSPORT MATERIAL CU TRENURI DE VAGONETI
ACȚIONATI CU MOTORE ELECTRICE LINIARE REALIZAT LA
INTVA TUNISORADA**

5.1. Actualitatea și importanța practică a abordării tezei

Sistemul de transport material cu trenuri de vagoneti acționați cu
are liniare prezintă, în raport cu sistemele de transport convenționale de
capacitate, o serie de aspecte deosebit de avantajoase, care o recomandă
ru o aplicare eficientă la nivel industrial, în special în situația vehi-
rii unor cantități mari de material. Dintre acestea, cele mai importante
sunt:

- Transportul se poate face pe un traseu cu înscriere în curbe în
orizontal și vertical putându-se aplica la materiale cu granulație gre-

de, transportul fiind posibil pe trasee
cu declivități mici, deoarece valoarea a declivității este limitată
de eficiența ecoucașilor, pentru declivități având valori supe-
rioare se folosesc motoare liniare de propulsie poziționate pe unita-
țile de tracțiune. Către astfel, valoarea investiției în echipament
de tracțiune și implicit costul specific al transportului. În această cauză, pe
trasee având porțiuni cu $i > 250 \text{‰}$, se recomandă ca o soluție posibilă
să fie vehiculării trenului cu sistemul olovator acționat cu motoare elec-
trice rotative.

- Înlăturarea dispozitivelor de transmisie a cuplului de la motorul
de tracțiune și aplicarea acestuia direct la perechile de roți:

- Preabilitatea la o automatizare totală;
- Economie de combustibil lichid și eliminarea importurilor;
- Cuplarea automată a inductoarelor liniare numai în prezenta tren-

ului asigură un consum specific de energie și un cost specific al transportului
mult mai reduse decât la sistemele clasice de transport. Cuplarea acestor
inductoare de propulsie prin tractoare de proximitate elimină posibilitatea
de acționării în gol a motoarelor. De asemenea, nu se autorizează punerea tre-
nului pe magistrala de transport decât numai în situația în care este integral
încărcat. Referitor la acest aspect, se menționează că în transportul de auto-
matizat cu benzi de cauciuc, aprox. 30 % din energia absorbită este consumată

mai pentru antrenarea benzii neîncărcate, iar la transportul cu camionare are loc consum de combustibil și în situația în care camionul circulă neîncărcat. Calcule comparative de eficiență economică efectuate de autor pentru diferite situații concrete de vehiculare a unor cantități de material cu sisteme de transport cu motoare liniare și cu sistemele clasice de transport (camioane și benzi transportoare) au scos în evidență un consum specific de energie de 3 - 6 ori mai redus și un cost specific al transportului de 2 - 10 ori mai mic în cazul sistemului cu motoare liniare, limitate superioare ale indiciilor susmenționați fiind specifice situației în care se vehiculează o cantitate mare de material (10.000 t/h) pe distanțe de 5 - 10 km.

Configurația terenului și tehnologia de vehiculare a materialului din carieră mai pot oferi, suplimentar, și alte avantaje ale sistemului de transport studiat. În acest sens, se poate alege un traseu având un astfel de profil longitudinal încât să permită sistemului de transport (trenului încărcat) o accelerație gravitațională prin coborârea pantelor cu declivități negative, energia astfel acumulată determinând posibilitatea străbaterii unor distanțe apreciable fără nevoie de propulsie și fără consum de energie. Când viteza a atins limita maximă admisibilă, trenul poate rula pe aceeași curbă de nivel (declivitate mică, rezistențele opuse mersului determinând micșorarea vitezei trenului), sau poate fi frinat natural prin contrapante oferite tot de profilul traseului. În esență, prin corelarea transportului de material cu trenuri de vagoaneți cu propulsie liniară pe suprafețe orizontale (pe aceeași treaptă a carierei) cu sisteme de vehiculare a materialului de pe o treaptă pe alta (la cariera la care se propune aplicarea la nivel industrial al acestui sistem de transport, diferența de nivel dintre două trepte este de 10 m), cu ajutorul unor elevatori acționați cu motoare electrice rotative de tip sincron, prin funcționarea acestora din urmă în regim supraexcitat, se poate furniza energia reactivă necesară compensării parțiale sau integrale a factorului de putere scăzut (0,15 - 0,3) a motoarelor liniare, determinându-se o scădere a investițiilor în condensatoare de compensare și scăzând costul specific al transportului.

Având un grad ridicat de robustețe, sistemul de transport stabilizat poate lucra corelat cu excavatoarele, putând prelua direct din cupa acestora materialul excavat. Coeficientul de utilizare în timp mult mai ridicat decât în benzile transportoare (aprox. 0,9 comparativ cu 0,4 al benzilor) determină un consum de energie și de personal de întreținere mai puțin semnificativ. Sistemul este puțin pretentios și cheltuielile de întreținere și reparații sunt mici. Se menționează că succesiunea coeficientului de utilizare, considerat pentru o perioadă bine determinată de timp (la nivel de instalație), este influențată de fiabilitatea raportului dintre timpul efectiv de funcționare și timpul total (instalației) și intervalului de timp total considerat, menționat

rior. Coeficientul de utilizare avind valoarea de 0,4 in cazul benzilor sportoare a fost preluat de autor din datele concrete de exploatare dintr-un azin carbonifer din țară, iar valoarea de 0,9 a acestui coeficient pentru șsul de transport cu motoare liniare a fost estimat în urma unei analize aflate privind fiabilitatea componentelor sistemului, ținind cont de experiențele desfășurate la stația pilot a IPTVT. O valoare finală a acestui coeficient se va putea determina numai după implementarea sistemului de transport cu motoare liniare la nivel industrial, într-o carieră de suprafață.

Dificultățile întâmpinate în prezent de în carierele de suprafață, fiind vehicularea unor cantități mari de material cu granulație grosieră sunt grele. Astfel:

- Dimensiunea granulației materialului și profilul traseului au impus transportul cu camioane de mare capacitate (40 sau 100 t).
- Consum ridicat de motorină.
- Drumurile fiind nebetonate, cauciucurile se uzază rapid, fiind necesare câte două rânduri de cauciucuri pe an. Frecvent, acestea se aduc din afară.

- Regimul de exploatare și solicitările intense determină defectări frecvente ale camioanelor fiind necesar un număr mare de personal de întreținere, costuri de schimb și alte cheltuieli substanțiale pentru întreținere și reparații.

- Coeficientul redus de utilizare în timp al sistemului de transport camioane, din cauza deselor defecțiuni ale acestora, determină scăderea productivității în ce privește cantitatea de material (steril) evacuat din carieră, cu implicații privind realizarea ritmicității și asigurării materialului util (șist bituminos) la termocentrale.

În vederea aplicării acestuia din urmă la nivel industrial, la IPTVT s-a realizat o stație pilot unde se testează performanțele a două tipuri constructive diferite ale susținutului sistem de transport:

- cu trenuri de vagoneti scartament 600 mm, acționați cu motoare liniare de tip ML-02, destinați transportului de material util, cu granulație fină.

- cu trenuri de vagoneti scartament 1435 mm, acționați cu motoare liniare ML & 03, cu scopul vehiculării materialului steril, avind o granulație grosieră.

Rezultatele experimentărilor efectuate la stația pilot privind performanțele celor două sisteme de transport sînt deosebit de utile, ele stînd

la baza proiectării fazei industriale experimentale de aplicare a unuia din sistemele susamintite.

Prezentul capitol va trata în detaliu realizarea și performanțele celor două variante menționate, evidențiindu-se o serie de aspecte specifice acestui sistem de transport, rezultatele concrete, precum și posibilități ulterioare de îmbunătățire a performanțelor, în vederea unei aplicări eficiente la nivel industrial.

5.2. Sistemul de transport cu trenuri de vagoneti ecartament 600 mm, acționate cu motoare liniare

ML - 02

5.2.1. Prezentare generală

Prinul sistem de transport minier românesc ROM-BAND cu trenuri de vagoneti acționate cu motoare liniare, conceput și realizat la nivel de stație de studii experimentale la Facultatea de Electrotehnică din Timișoara, constă din vagoneti cu ecartament 600 mm, cu o singură osie, cuplați printr-o articulație sferică. Cavele sunt unite printr-o bandă de cauciuc ondulată, putându-se realiza jgheaburi de lungimi variabile. În fig. 35 se prezintă o parte din sistemul cu ecartament 600 mm, evidențiindu-se vagonetul înaintea 1 care nu se încarcă, rolul său fiind menționat în cele ce urmează, vagonetii intermediari 2 cu o singură osie, cuplajele 3 precum și legăturile elastice dintre vagonetii 4.

După cum rezultă din figura 35, pentru a se asigura trenului de vagoneti parcurgerea traseului fără pericolul deraierei, dat fiind caracterul sinuos al căii de rulare (curbe foarte strânse în plan orizontal și vertical), primul vagonet este prevăzut cu două osii ce pot pivota independent în jurul unei axe ce coincide cu axa longitudinală de simetrie a vagonetului.

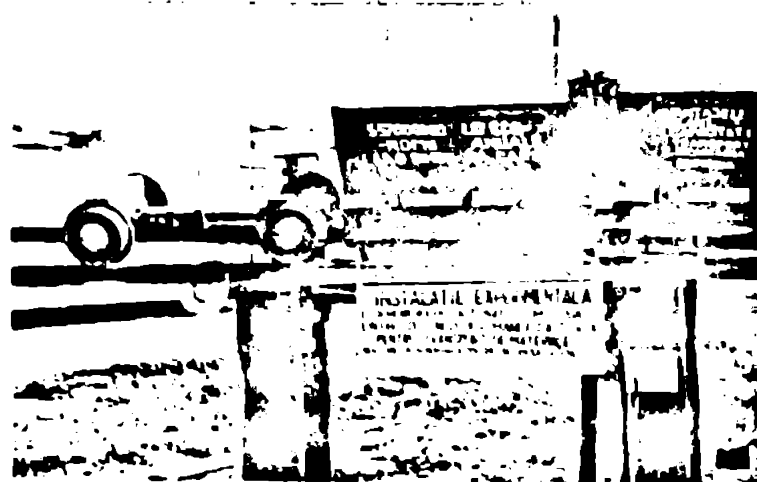


Fig. 35. Trenul de vagoneti ecartament 600 mm cu o singură osie, uniți prin burduf de cauciuc și articulație sferică.

Posibilitatea realizării unui jgheab rulant continuu prin intermediul unirii cavelor cu bandă de cauciuc conferă sistemului de transport pre-

nt este avantajele transportului pe cale ferată (contactul roată-căină în a rezistență specifică la înaintare minimă, grad ridicat de siguranță în timp, robustețe, etc.) și cele ale transportului cu benzi transportoare (continuitatea procesului de transport, poate prelua volume mari de excavate, lucrând direct și corelat cu productivitatea excavatorului).

Vagonetii acestui sistem de transport prezintă următoarele caracte-
ristici:

- diametrul roții: 200 mm; ampatamentul: 900 mm; ecartamentul: 600mm
Alte caracteristici: înălțimea cuvei: 1 m; volumul cuvei: $0,3 \text{ m}^3$; greutatea vagonetului gol:
= 155 kg; ampatamentul vagonetului înaintat: 750 mm;

De fiecare vagonet este fixat un inductor de motor liniar, realizat
cu o placă de oțel de 10 mm și o placă de cupru de 3 mm (indus tip sandwich)

De călea cu șine este fixat inductorul motorului liniar, inductor
se va nota în continuare cu ML - 02. Detalii privind construcția, parame-
tri și performanțele acestui motor se vor da în subcap 5.2.2. În scopul re-
ținerii unei propulsii continue a trenului de-a lungul traseului, distanța
între două inductoare consecutive trebuie să fie mai mică decât lungimea
abului rulant.

Calea de rulare are forma unei bucle, având două raze de curbură
6 m, și o lungime totală $L = 74 \text{ m}$, fiind suspendată pe o construcție me-
talică. Pe parcursul acestei căi sunt prevăzute două stații de descărcare a
materialului de vagoneti:

1) Stația de descărcare torsională (fig. 36)

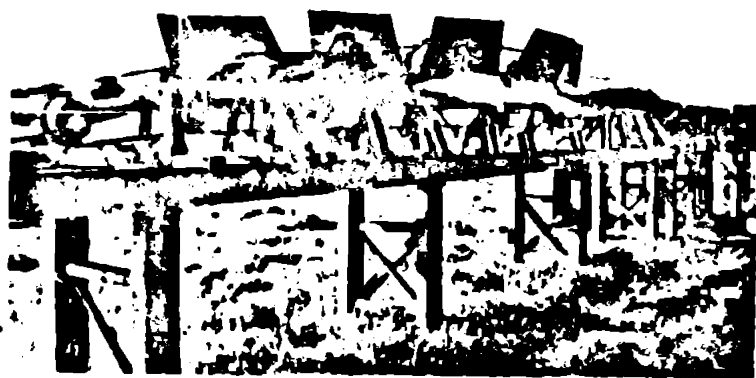


Fig.36. Stația de descărcare
torsională ecartament 600 mm

Configurația spațială a acestei stații obligă trenul de vagoneti să
aibă o mișcare de răsturnare parțială, cuvele inclinându-se spre interior-
buclei. În ipoteza în care vagonetii sînt încălțați, această înclinare a
cuvelor determină curgerea materialului într-o ipotetică maldă de colectare
în linia stație, unghiul de înclinare a pereților cuvei fiind calculat astfel
încît să permită, în situația vagonetului inclinat complet în stația de
descărcare, golirea sa integrală prin curgerea materialului. Întreaga stație de
descărcare este prevăzută cu contrașine, evitându-se astfel răsturnarea tota-

la a trenului prin inclinarea vagonetilor. Acest sistem de golire se pretează la aplicațiile industriale la care materialul scurs poate fi răspândit pe toată lungimea stației de descărcare, nemaifiind nevoie de colectarea sa pentru întrebuințări ulterioare, (de exemplu descărcarea sterilului).

2) Stația de descărcare elicoidală (fig 37).

Această stație constă dintr-o buclă elicoidală poziționată vertical, diametrul buclei fiind de 2,3 m.

În această buclă, vagonetii sînt obligați să se răstoarne complet, deversînd materialul de această dată într-un loc de colectare concentrat, (un eventual buncăr), aflat la partea inferioară a stației. Parcurgerea buclei de descărcare elicoidală este asigurată prin propulsia trenului de către două grupe de motoare liniare ML - 02 : un grup de 5 motoare chiar la intrarea în buclă, care asigură deplasarea trenului pînă la ieșirea primului vagonet din stație, respectiv un grup de 4 motoare situate la ieșirea din buclă, care asigură preluarea propulsiei și scoaterea trenului din stația de descărcare.



Fig. 37. Stația de descărcare elicoidală ecartament 600 mm; se observă scoaterea trenului din stație de al doilea grup de motoare de propulsie.

În această stație prezintă o structură de rezistență suplă, dar totuși ea suferă în cea mai bună condiție intensele solicitări provocate la trecerea trenului. În momentul parcurgerii buclei de descărcare, trenul de vagonetii rulează pe contrașină.

5.2.2. Dispunerea motoarelor liniare și automatizarea sistemului de transport cu trenuri de vagonetii ecartament 600 mm acționați cu motoare liniare ML - 02 la stația pilot a

IPTY Timisoara

Determinarea numărului de motoare liniare care echipează stația pilot și dispunerea acestora s-a făcut în funcție de profilul traseului, de rezistențele specifice de mers ale diferitelor zone ale acestuia, precum și de performanțele motoarelor liniare folosite.

Rezistențele specifice de mers măsurate experimental [36] în cele 6 zone distincte ale traseului au avut valorile:

- Zona cu rampă ascendentă, cu declivitatea $i_1 = 199 \%$, pe o lungime $L_1 = 9,2$ m, se caracterizează prin $w_1 = 10$ N/kN.
 - Zona de descărcare elicoidală SE, cu bucla avînd diametrul $D=2,5$ m, se $L_2 = 7,32$ m și $w_2 = 36$ N/kN.
 - Zona de coborîre din bucla de descărcare, cu declivitatea $i_3 = -135 \%$, are $L_3 = 13$ m, și $w_3 = 10$ N/kN.
 - Zona de descărcare torsională ST, cu $L_4 = 8,9$ m și $w_4 = 30$ N/kN.
- $i_4 = 0$
- cele două curbe cu $R = 6$ m ale traseului, situate în plan orizontal ($i_5 = i_6 = 0$), cu $L_5 + L_6 = 8,85 + 26,7$ m, sînt caracterizate prin $w_5 = w_6 = 15$ N/kN. Cele 6 zone ale traseului, cu indicarea lungimilor și declivităților respective, se menționează în fig. 38.

În funcție de aceste date, poziționarea motoarelor liniare de-a lungul traseului stației pilot s-a făcut prin calcularea numărului necesar de motoare liniare care să asigure propulsia trenurilor în fiecare din zonele sus-menționate. În vederea acestui calcul s-au folosit relațiile:

$$F = F_r + m_t \cdot a \quad (5.1)$$

unde:

F = forța de propulsie ce trebuie asigurată de motoarele liniare [N]

F_r = forța de rezistență opusă merului la înaintarea trenului pe diferite zone ale traseului [N].

a = accelerația imprimată trenului în zonele corespunzătoare [m/s^2]

m_t = masa trenului [kg].

În relația (5.1) F_r are expresia:

$$F_r = (w \pm i) \cdot Q_t \quad (5.2)$$

unde:

w = rezistența specifică la înaintarea trenului [N/kN]

i = declivitatea traseului [%]

Q_t = greutatea trenului [kN]

Din relațiile de mai sus rezultă:

a) Fiecare zonă a traseului, caracterizîndu-se printr-o anumită valoare a lui w și a lui i , va impune o anumită valoare forței de propulsie. Căzîndu-se această valoare necesară a forței motoare, numărul necesar de motoare liniare ce vor fi poziționate în cănele respective va fi dat de raportul:

$$n_i = \frac{F_i}{P_{mL}} \quad (5.3)$$

unde:

n_i = numărul de motoare liniare poziționate în zona i a traseului

F_i = forța motoare ce trebuie dezvoltată în zona i pentru asigurarea

deplasării trenului [N] (rel 5.1 și 5.2).
 F_{ML} = forța dezvoltată de un motor liniar la o anumită viteză de rulare a trenului [N]

b) Dată fiind configurația spațială complicată a celor două stații de descărcare, în sonole lor nu se montează inductoare liniare. Străbaterea buclei elicoidale de către trenul de vagoneti se face cu ajutorul celor două grupe de motoare liniare montate, așa cum s-a menționat anterior, la intrarea, respectiv ieșirea din bucla de descărcare. Străbaterea stației de descărcare torsională se va explica la punctul c).

c) În conformitate cu rel. 5.1, 5.2 și fig. 38, zona 5 a traseului, caracterizată prin L_5 , i_5 , cu $i_5 = -135\%$, prezintă următoarele particularități:

- la începutul zonei, chiar la ieșirea din buclă elicoidală, există un grup de 4 motoare liniare care au ca scop scoaterea trenului din stația de descărcare.

- în continuare, declivitatea negativă a zonei determină o autopropulsare a trenului, forța rezistentă negativă constituind de fapt o forță motoare, (vezi rel. 5.1). Din punct de vedere energetic, are loc o transformare a energiei potențiale maxime pe care o are trenul la ieșirea din buclă (cota 3 m) în energie cinetică (se coboară pînă la cota 0,7 m), trenul fiind accelerat substanțial fără contribuția nici unui motor liniar de propulsie. Energia cinetică astfel înmagazinată e suficientă pentru ca trenul să străbată din inerție zona cu $L_5 = 8,85$ m, precum și stația de descărcare torsională (ST), cu o viteză de rulare optimă (aprox 3 m/s), ajungînd pînă în dreptul grupului de 2 motoare poziționate de la începutul zonei orizontale 6. Aceste motoare asigură acționarea trenului de vagoneti în continuarea zonei 6 ($L_6 = 26,5$ m, $i_6 = 0$).

Masa m_t , respectiv greutatea Q_t a trenului din relațiile (5.1) și (5.2) au următoarele valori, în funcție de condițiile în care s-au desfășurat experimentările:

- pentru situația trenului avînd 27 vagoneti goi (0 vagonet = 155 kg) și 1 încărcat cu o sarcină de 145 kg, adăugînd și greutatea cuplajelor, rezultă:

$$m_t = 4695 \text{ kg}$$

$$Q_t = 46,85 \text{ kN}$$

- pentru situația trenului avînd 9 vagoneti goi și 14 vagoneti încărcati cu 145 kg, rezultă:

$$m_{t1} = 5695 \text{ kg}$$

$$Q_{t1} = 56,95 \text{ kN}$$

Motorul liniar ML - 02 care asigură propulsia sistemului de transport constant 600 mm, a fost proiectat la Facultatea de Electrotehnică a

finișarea de către un colectiv de cercetare care studia realizarea unor me neconvenționale de transport cu acționare liniară, fiind apoi realizată de bucați din acest tip de motor la Întreprinderea de Reparații Utilinier Petroșani.

Acest motor se caracterizează prin următorii parametri construc-

[36] :

- tensiunea de alimentare $U_N = 380 \text{ V}$;
- număr de poli: $2p+1 = 7$
- lățimea miezului de tole al inductorului: $2a = 0,25 \text{ m}$
- lungime activă: $l_n = 0,23 \text{ m}$
- număr de creștături pe pol și faza: $q = 1$
- pas polar: $\tau_p = 0,034 \text{ m}$
- viteză sincronă: $v_s = 0,4 \text{ m/s}$
- număr de spire / bobină: $N = 20$
- număr de creștături statorice: $E_c = 21$
- principalele dimensiuni geometrice ale creștăturii și dintelui:
 - adâncime creștătură (înălțime dinte): $h_c = 70 \text{ mm}$
 - lățime creștătură: $b_c = 13 \text{ mm}$
 - lățime dinte: $b_d = 10 \text{ mm}$
- înfășurare cu pas diametral, cu conductoare dreptunghiulare de $3 \times 5 \text{ mm}^2$, izolate cu fibră de sticlă;
- inductor tip "sandwich":
 - placă de fier cu grosimea $\delta_{Fe} = 7 \text{ mm}$
 - placă de cupru cu grosimea $\delta_{Cu} = 3 \text{ mm}$

În timpul experimentărilor desfășurate pe traseul stației pilot, întrefierul mecanic a avut variații într-un domeniu relativ larg (10 - 14 mm), joarea superioară caracterizând momentul ieșirii trenului din bucla de de-aerare elicoidală. Aceste variații ale întrefierului se datorează imperfecțiilor constructive a vagonetilor, neputându-se realiza o uniformizare a planității inductorilor, schimbării cuplajelor dintre vagoneti, absența unui sistem de reglare pe verticală a poziției inductorilor etc. Prin măsurarea întrefierului pe diferite porțiuni ale traseului, s-a putut determina o valoare medie a acestuia, această valoare fiind de 12 mm, la acest întrefier și la o viteză medie de rulare a trenului $v_m = 4 \text{ m/s}$, performanțele măsurate ale motorului liniar ML -02 sînt:

$$U = 380 \text{ V}; I_1 = 93 \text{ A}; P = 13 \text{ kw}; F = 1200 \text{ H.}$$

Cunoscîndu-se forța de propulsie dezvoltată de un motor, s-a putut calcula numărul de motoare liniare care să asigure propulsia trenului pe diferitele zone ale traseului stației pilot, rezultînd un total de 21 motoare, pe fiecare zonă activă a traseului, s-a avut în vedere valcarea rezistenței și a motorului, în funcție de declivitatea i și de w .

Se menționează că viteza maximă de rulare a trenului nu a depășit 4 m/s, pentru ca solicitările dinamice substanțiale care ar apărea la viteze superioare să nu determine uvarii la stațiile de descărcare sau, să nu ducă la deraierea trenului.

Se redă în continuare un exemplu numeric de calcul al numărului de motoare liniare din zona 1 a traseului, caracterizată prin $i_1 = 199\%$ și $w_1 = 10 \text{ N/kN}$. Se consideră situația trenului cu $Q_{t1} = 56,95 \text{ t}$, deplasându-se cu o accelerație de $0,02 \text{ m/s}^2$.

$$F_1 = (10 + 199) \text{ N/kN} \cdot 56,95 \text{ t} + 5695 \text{ kg} \cdot 0,02 \text{ m/s}^2 = 12.017 \text{ N} \quad (\text{rel.5.1})$$

$$N_1 = \frac{12.017 \text{ N}}{1200 \text{ N}} \approx 10 \text{ motoare} \quad (\text{rel.5.3.})$$

Așadar, în această zonă a traseului, propulsarea trenului cu 14 vagoțeti încrucișate va fi asigurată de un număr de 10 motoare liniare. Similar se face calculul și pentru celelalte zone active ale traseului.

Repartizarea celor 21 de motoare liniare de propulsie, realizată conform considerațiilor și calculului anterior menționate, este prezentată în fig. 38.

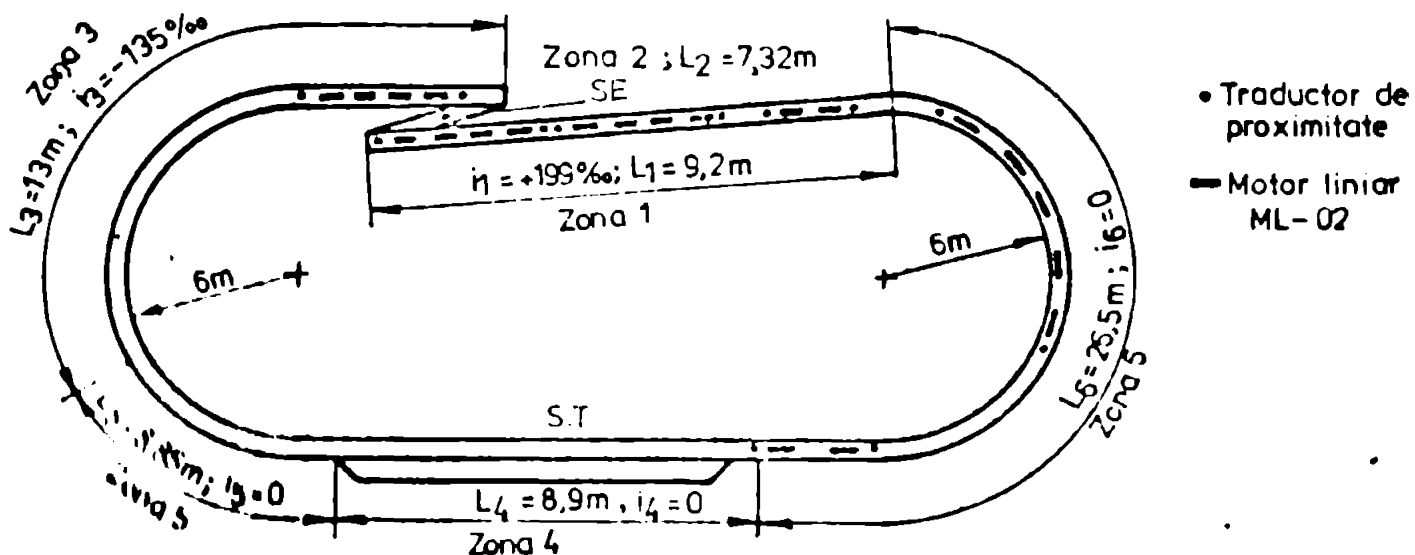


Fig. 38. Reprezentarea schematică a repartiției motoarelor liniare ML - 02 pe traseul sistemului de transport ecart. 600 mm.

Automatizarea sistemului de transport cu trenuri de vagoțeti acționați cu motoare liniare se bazează pe cuplarea automată a alizentării inductoarelor liniare prin intermediul traductoarelor de proximitate.

Ca element independent al sistemului de transport automatizat, traductorul de proximitate va fi tratat în detaliu în capitolul 6. În principiu, acest traductor constă dintr-un circuit oscilant, al cărui parametri se modifică la apariția unui obiect metalic în fața bobinei senzor ce aparține circuitului. Dezamorsarea oscilatorului în prezența obiectului metalic

preluată de un circuit electronic, rezultatul prelucrării acestui fenomen fiind apariția unui impuls de tensiune la ieșirea traductorului. Din motive de securitate, pentru ca placa indus al vagonetului să nu ducă la deteșarea traductorului în situația în care înțrefierul ar scădea sub valorile admisibile, traductorul trebuie să sesizeze prezența obiectului metalic (înălțimea de față placa de fier al indusului mobil) la o distanță de 4,5 - 5 cm.

Impulsul obținut la ieșirea traductorului (24 V) se aplică pe bobina releu intermediar. Acesta, închizându-și contactele, pune sub tensiune bobina contactorului de forță, care acționează. Traductoarele fiind montate sub tren, la distanța de 5 cm de suprafața indusului mobil, laedint liniare, determină cuplarea acestora atita timp cît placa (trenul) acoperă întreaga suprafață a inductorului. După trecerea ultimei vagonet al trenului deasupra grupului traductor de proximitate TP - motor liniar, traductorul nemaifiind acoperit de un obiect metalic, se reface oscilațiile în circuitul său oscilant, dispare impulsul de comandă la ieșirea sa și se produce astfel întreruperea alimentării bobinei contactorului de forță, deci inductoarele liniare sînt decuplate. Deoarece între plăci indus consecutive există o distanță de 6 cm, în pusea de montarea inductorului sferic, pentru a elimina posibilitatea deconectării contactorului de forță după trecerea fiecărui vagonet, bobina acestui contactor se va alimenta prin intermediul unui releu RI - 3T cu temporizare la deschidere.

Schema de comandă automată a cuplării motoarelor liniare prin înălțimii traductoarelor de proximitate a prezentată în fig. 39. În această schemă s-a notat cu I placa indus fixată de vagoneti.

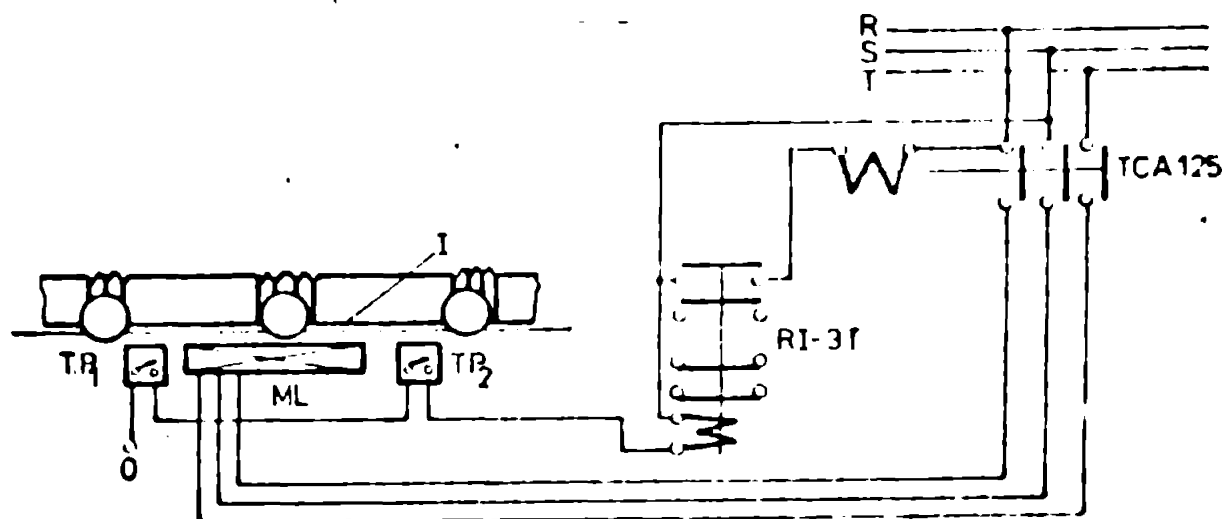


Fig. 39 Schema de cuplare automată a inductoarelor liniare prin traductoarele de proximitate TP.

Acest sistem de comandă prin traductoare ce sesizează prezența trenului deasupra inductoarelor liniare elimină posibilitatea funcționării în motoarelor, ele decuplându-se automat după trecerea ultimului vagonet,

conform principului prezentat mai sus. Rezultă astfel o însemnată cantitate de energie electrică economisită, sistemul de transport studiat neconsumând energie la mersul în gol.

5.2.3. Experimentări efectuate privind funcționarea sistemului de transport cu trenuri de vagoneti compartiment 600 cm, echipate cu motoare liniare la stația pilot a IPTV Timișoara

Experimentările de la stația pilot s-au desfășurat în condițiile specifice impuse de particularitățile sale constructive.

Asfel, datorită rezistențelor specifice de mers sporite, determinate atât de forma traseului, cât și de scăderea eficienței roților datorită nerealizării unei etanșări corespunzătoare la rulmentii acestora, viteza de rulare a trenului nu a putut depăși 4 m/s, iar consumul specific de energie, exprimat în kWh/tkm a crescut. Așa cum s-a arătat anterior, limitarea vitezei trenului a fost impusă și de solicitările dinamice mari la care ar fi fost supusă stația de descărcare elicoidală, în special în situația trenului încărcat, solicitări care, la o viteză mai mare de 4 m/s, ar fi putut provoca avarierea stației de descărcare.

Datorită unor imperfecțiuni constructive ale căii de rulare și în special a vagonetilor, lipsiți de posibilitatea reglării planității plăcilor indus, întrețierul mecanic nu s-a putut regla în jurul valorii optime (8 mm), el luând valori de 10 - 14 mm. Valorile mari ale întrețierului s-au înregistrat în special la ieșirea vagonetilor din bucla de descărcare datorită tendinței de ridicare a acestora, impusă de configurația spațială a căii de rulare la ieșirea din buclă.

Aceste valori destul de mari ale întrețierului au avut ca urmare o înrăutățire a randamentului și a factorului de putere al sistemului.

Experimentările s-au desfășurat în două situații distincte, ce se vor studia separat.

5.2.3.1. Experimentări în regia dinamic cu trenul de vagoneti neîncărcat

Experimentările susmenționate au constatat în parcurgerea de către trenul de vagoneti neîncărcat, a unui număr de 110 ture complete pe traseul stației pilot, fiecare tură constând în urcarea trenului pe rampa cu declivitate 199 ‰, parcurgerea buclei de descărcare elicoidală, coborârea în regia liber în zona cu $i = -135$ ‰ și străbătorea stației de descărcare torsională pe baza energiei cinetice astfel acumulate.

Unul din motoarele liniare de propulsie a fost fixat pe o placă ce pe lângă placă se putea mișca ușor de-a lungul a două ghidaje prevăzute

Alimentii. Placa a fost legată de un suport rigid și în interiorul
 cronometru. Interacțiunea reciprocă inductor - indus, deci în ultimă instanță
 metoda de propulsie dezvoltată de motorul liniar, se poate astfel măsura
 în regim dinamic, cu trenul de vagoaneți în mișcare. Atât principiul de măsura
 a forței, prezentat mai sus, cât și modalitatea sa practică de reali-
 zare, au fost expuse în subcap. 4., respectiv fig. 41. Când s-a descris modalita-
 tea de ridicare a caracteristicii mecanice la motorul liniar ML - 03. Să-
 deosebire între cele două sisteme constă în folosirea dinamometrului ca
 suport indicator la ML - 02. La bornele aceluiași motor s-a legat o punte
 de măsură, făcându-se citiri privind mărimea tensiunii, curenților
 active și reactive consumate pe parcursul fiecărei
 ture. Modul de legare a punții trifazate de măsură la bornele unui motor liniar
 este arătată în fig. 42. În vederea estimării consumului specific de energie
 al sistemului de transport, s-a măsurat și energia consumată prin citirea
 pe contor a numărului de rotații efectuate de discul contorului pe parcur-
 surilor 110 ture parcurse de tren. De asemenea, cu ajutorul unui cronometru,
 s-a măsurat timpul de parcurgere a fiecărei ture. Prin măsurarea continuă cu
 ajutorul unor punți Wheatstone a rezistenței celor două termistoare înglobate
 în motorul liniar, s-a putut face o evaluare privind încălzirea înfășurăturilor
 motorului în situația funcționării într-un regim intermitent, caracterizat
 printr-o durată relativă de funcționare ce se va calcula în continuare.

Modificarea valorii rezistenței celor doi termistori ca urmare a în-
 flăcărilor înfășurăturii motorului se prezintă în tabela 7, tabelă în care s-au
 realizat și celelalte măsuri (electrice și neelectrice) rezultate în urma
 măsurătorilor efectuate la parcurgerea de către tren a celor 110 ture. Se men-
 ționează că acest set de măsurători s-a efectuat în situația necompensării
 motorului de putere.

Măsurându-se, cu ajutorul unui cronometru, durata conectării unui
 motor liniar pe parcursul unei ture complete străbătute de tren (T_p) și tim-
 pul necesar parcurgerii unei ture complete (T_t), se poate calcula durată re-
 lativă de funcționare DA a motorului liniar ML - 02 pentru un regim caracte-
 rizat prin viteza medie V_m :

$$T_p = 3,9 \text{ s}; \quad T_t = 20,8 \text{ s};$$

$$DA = \frac{T_p}{T_t} = \frac{3,9}{20,8} = 0,187 \text{ sau } DA = 18,7 \% \quad (5.4)$$

Cunoscându-se lungimea trenului de vagoaneți l_t și timpul de trecere
 completă a trenului deasupra unui motor liniar t_{ind} , se poate calcula viteza
 medie a trenului pe parcursul unei ture:

$$l_t = 15,5 \text{ m}; \quad t_{ind} = 3,9 \text{ s} = T_p$$

$$v_{med} = \frac{l_t}{t_{med}} = \frac{l_t}{T_T} = \frac{15,5}{3,9} = 3,97 \text{ m/s} \quad (5.5)$$

Pe baza rezultatelor, prezentate în tabela 7, se poate calcula puterea medie absorbită de un motor liniar. Determinarea se face luînd în considerare măsurătorile efectuate pe parcursul primelor 40 de ture complete efectuate de tren. Notînd cu P_i puterea consumată de motorul liniar la fiecare tură și cu n numărul de ture, avem:

$$P_{med} = \frac{\sum P_i}{n} = \frac{512,4}{40} = 12,81 \text{ kv}$$

Curentul mediu avînd valoarea $I_{med} = 97,9 \text{ A}$, se poate calcula valoarea factorului mediu de putere:

$$\cos \varphi_{med} = \frac{P_{med}}{\sqrt{3} U I_{med}} = \frac{12,810}{380 \cdot 97,9} = 0,344$$

În situația absenței condensatoarelor de compensare și un întrefier mediu mecanic de 12 mm.

În vederea măsurării consumului specific de energie, indicator esențial privind eficiența sistemului de transport cu trenuri de vagoneti acționați cu motoare liniare, experimentările la stația pilot au fost reluate pentru situația unui tren format din 28 de vagoneti, dintre care 27 de vagoneti au fost neîncărcați, iar unul a fost încărcat cu o masă utilă de 145 kg, (acesta a fost primul vagonet, din motive de stabilitate pe parcursul rulării).

În condițiile susmenționate, masa trenului devine:

$$M_t = 4685 \text{ kg}$$

lungimea trascului este de 74 m și s-a parcurs 100 de ture complete în 37 de minute. Măsurîndu-se numărul de rotații ale discurilor contoarelor de energie activă, respectiv reactivă, cunoscîndu-se constantele de tensiune și curent ale contoarelor, precum și constantele propriuzise ale acestor aparate, se poate măsura consumul de energie activă W_a , respectiv reactivă W_r , la parcurgerea celor 100 de ture de către trenul de vagoneti. Cunoscîndu-se masa trenului M_t și spațiul total parcurs la efectuarea celor 100 de ture, se poate calcula consumul specific de energie activă a sistemului de transport studiat pe baza relației:

$$W_{sp} = \frac{W_a}{L \cdot M_t} \quad (5.6)$$

respectiv factorul de putere al instalației:

$$\cos \varphi = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_r^2}} \quad (5.7)$$

TABELA 7

Tip [°]	Nr. tururi contor		Rezistență termistori [KΩ]		U [V]	I ₁ [A]	I ₂ [A]	I ₃ [A]	P [kW]	C [kVAh]	P [W]
	C1	C2									
20			62	58	375	99	99	102	12	50	1500
42	1		62	58	378	102	99	102	12	50	1700
75		1	62	58	378	99	100,5	99	13,2	49	1600
93			62	58	378	102	99	102	13,2	50	1700
119			62	58	378	99	99	102	13,2	49	1500
151	2	2	63	59	387	99	100,5	99	13,2	49	1700
172			63	59	387	102	99	102	13,2	51	1600
192			63	59	378	102	99	102	12	50	1600
210		3	63	59	390	99	99	102	13,2	51	1700
230	3		63	59	387	99	99	99	13,2	51	1700
247			63	59	378	99	99	99	13,2	50	1500
260		4	63	59	378	102	102	99	13,2	49	1600
290			63,5	60	390	102	99	102	13,2	51	1750
309			63,5	60	375	102	102	99	13,2	50	1700
329	4		63,5	60	387	99	99	99	13,2	49	1500
356		5	63,5	60	391	99	102	102	13,2	50	1600
374			64	61	387	99	99	102	13,2	50	2000
397			64	61	390	99	102	102	13,2	49	1600
420	5	6	64	61	380	102	102	99	13,2	49	1700
439			64	61	387	99	99	99	13	50	1600
458			64	61	378	99	102	102	12	49	1700
481			64	61	390	99	99	99	13,2	50	1600
503		7	64	61	387	99	99	99	12	49	1500
522	6		64	61	387	99	99	99	13,2	49	1700
544			64,5	61	387	99	99	99	12	48	2000
565			64,5	61	387	99	99	102	13,2	48	1300
585			64,5	61	387	96	96	99	13,2	48	2000
605			64,5	61	390	99	99	96	13,2	50	1600
625	7		64,5	61	384	99	99	99	12	47	1600
646		8	65	62	378	99	99	109	12	48	1500
668			65	62	390	96	96	99	13,2	49	2000
688			65	62	393	96	96	102	12	49	1600
706	8	9	65	62	378	96	96	99	12	49	2000
725			65	62	378	99	99	102	13,2	49	1800
745			65	62	387	99	99	102	13,2	49	1600
762			65	62	387	99	99	99	12	49	2000
784		10	65	62	370	96	96	96	13,2	49	1600
805	9		65	62	384	96	96	96	13,2	50	1300
826			65	62	381	96	96	99	13,2	50	1400
846			65,5	62,5	378	96	96	99	12	50	1500
2296	25	32	69	65	381	96	96	96	13,2	50	1500

S-au notat mărimile:

- Constanta contorului de energie activă: $C_{ca} = 600 \text{ rot/kWh.}$
- Constanta de curent a contorului: $K_{11} = 100$
- Numărul de rotații disc contor energie activă: $A_1 = 32 \text{ rot.}$
- Constanta contorului de energie reactivă: $C_{cr} = 1920 \text{ rot/kVarh}$

- Constanta de tensiune a contorului: $K_U = 3,8$
- Constanta de curent a contorului: $K_{I2} = 400$
- Numărul de rotații disc contor energie reactivă: $R_1 = 73 \text{ rot.}$

Pe baza acestor mărimi s-au calculat:

- Energia activă consumată la 100 ture tren:

$$W_a = \frac{A_1 \cdot K_{I1}}{C_{ca}} = \frac{32 \cdot 400}{600} = 21,33 \text{ kWh} \quad (5.8)$$

- Energia reactivă consumată la 100 ture tren:

$$W_r = \frac{R_1 \cdot K_U \cdot K_{I2}}{C_{cr}} = \frac{73 \cdot 3,8 \cdot 400}{1920} = 57,79 \text{ kvarh} \quad (5.9)$$

Ținând cont de lungimea totală parcursă de către tren a fost:

$$L = 100 \text{ ture} \cdot 74 \text{ m} = 7,4 \text{ km,}$$

se poate calcula consumul specific de energie al sistemului de transport pentru această situație (rel 5.6):

$$W_{sp} = \frac{21,33 \text{ kWh}}{7,4 \text{ km} \cdot 4,685 \text{ t}} = 0,629 \text{ kWh/tkm}$$

Factorul de putere al instalației va fi (rel 5.7):

$$\cos \varphi = \frac{21,33}{\sqrt{(21,33)^2 + (57,79)^2}} = 0,346$$

Viteza medie a trenului a fost de 3,33 m/a.

5.2.3.2. Experimentări în regim dinamic, în situația trenului cu 14 vagoane încărcate și 2 vagoane neîncărcate

În acest regim, măsurătorile s-au efectuat numai cu scopul evidențierii consumului specific de energie al sistemului de transport.

S-au încărcat numai 14 vagoane ai trenului pentru a limita solicitările dinamice ale stațiilor de descărcare, această încărcare constând de fapt în sudarea în fiecare vagonet a unor cupoane de șină cîntărind câte 145 kg. Datorită acestor sarcini suplimentare fixe, vagoaneții neputîndu-se de fapt descărca în stațiile de descărcare, la o încărcare întregă a trenului ar fi apărut în aceste stații, îndeosebi în cea elicoidală, solicitări dinamice considerabile, putînd duce la deteriorarea acestor stații.

Masa trenului avînd cei 14 vagoaneți încărcate va fi:

$$M_{\text{tren}} = 5695 \text{ kg.}$$

S-au parcurs 36 de ture complete în 13 minute.

Energile active și reactive consumate s-au măsurat pe aceleași contoare ca și în situația precedentă, diferind doar numărul de rotații a diso-
ler acestora. Având același plan de măsurători, rezultă:

$$A_1 = 15 \text{ rot. respectiv } R_1 = 30 \text{ rot.}$$

Energia activă consumată va fi:

$$W_a = 10 \text{ kWh.}$$

Respectiv energia reactivă absorbită:

$$W_r = 23,75 \text{ kVarh}$$

A putut deci calcula consumul specific de energie activă (rel. 5.6):

$$W_{sp} = \frac{10 \text{ kWh}}{74m \times 36 \text{ turo} \times 10^{-3} \times 5,695 \text{ t}} = 0,659 \text{ kWh/tkm.}$$

Respectiv factorul de putere al sistemului (rel. 5.7):

$$\cos \varphi = \frac{10}{\sqrt{(10)^2 + (23,75)^2}} = 0,308$$

5.2.4. Concluzii privind experimentările în regim dinamic lente de performanțele sistemului de transport ecarterment 600 mm cu motoare liniare

Experimentările în regim dinamic, efectuate cu sistemul de transport cu trenuri de vagoane ecarterment 600 mm propulsate cu motoare liniare L - 02 au permis obținerea unor concluzii utile privind performanțele și fiabilitatea unor părți componente ale sistemului. Aceste concluzii vor fi prezentate în continuare.

1) Aspectul cel mai important care a putut fi evidențiat pe parcursul experimentărilor în regim dinamic a sistemului de transport cu motoare liniare a fost consumul specific de energie al acestuia. Valoarea redată a lui W_{sp} (0,63 - 0,66 kWh/tkm), determinată de cuplarea automată a inductoarelor liniare de către traductoarele de proximitate numai în prezența trenului deasupra lor, constituie un factor esențial în ceea ce privește preabilitatea și avantajele aplicării acestui tip de sistem de transport la vehicularea unor cantități mari de material, comparativ cu sistemele clasice de transport (camicase, pensi transportoare). Acesta din urmă prezintă consumuri specifice de energie mult superioare celui menționat (de 3 - 6 ori mai mari).

2) Așa cum s-a menționat în subcap. 5.2.3.1., evaluarea continuă a funcționării inductoarelor liniare în timpul funcționării sistemului s-a putut

realiza prin măsurarea rezistenței celor două termistoare montate în interiorul înfășurării fiecărui inductor, (deci și a celui de măsură), cunoscându-se dependența rezistență temperatură a acestor termistoare. Variația rezistenței acestor termistoare cu încălzirea înfășurărilor inductorului, la parcurgerea a 110 ture complete de către trenul de vagoneti, s-a prezentat în tabela 7, iar descrierea detaliată a caracteristicilor termistoarelor folosite și a efectuării acestui set de măsurători se prezintă în [36]. Creșterea cu 7 k Ω a rezistenței termistoarelor înglobate în înfășurările inductorului de măsură după parcurgerea celor 110 ture de către tren (62 k Ω valoare inițială - - 69 k Ω) a demonstrat o încălzire cu 21 $^{\circ}$ C a înfășurărilor inductorului de măsură. Această creștere puțin pronunțată a temperaturii înfășurărilor motorului liniar se datorește regimului intermitent de funcționare al acestuia ($PA < 20\%$), impus de cuplarea automată a motoarelor prin tractoare de proximitate numai în prezența trenului. Rezultă astfel încă un aspect avantajos al acestui procedeu de conectare automată a motoarelor de propulsie. Evident, durata relativă de funcționare PA a motoarelor ce asigură acționarea sistemului de transport studiat are o valoare specifică pentru fiecare aplicație concretă analizată, depinzând de capacitatea de transport asigurată, lungimea unui tren, tipul căii de rulare (simplă sau dublă), etc.

3) Valorile nominale întrefiorului (10-14 mm), determină un consum substanțial de putere reactivă și ca urmare, un factor de putere scăzut ($\cos \varphi < 0,4$). Acesta trebuie compensat cu ajutorul unor baterii de condensatoare trifazate având o putere reactivă de 20 kVAR fiecare și surse care determină o creștere a cheltuielilor de investiții privind echipamentul electric al instalației de transport.

4) Turnarea în rășină epoxidică a inductoarelor permite o creștere considerabilă a fiabilității acestora, motoarele funcționând perfect în condiții climatice și de umiditate grele (ploaie, zăpadă, etc.).

5) Experiențele au dovedit că sistemul de cuplaje sferice folosite permite înscrierea cu ușurință a trenului în curbe cu raze suficient de mici, atât în plan orizontal, cât și vertical. De asemenea, repartizarea mai multor motoare liniare de-a lungul trenului permite realizarea unor forțe de propulsie ce determină apariția în cuplaje a unor eforturi relativ mici, nefiind necesară o supradimensionare a cuplajelor și deci creșterea greutateii trenului. Evident, periodic, cuplajele trebuie bine gresate pentru a-și menține mobilitatea.

6) Stația de deschidere elicoidală, cu toate că prezintă o soluție constructivă simplă, cu un consum specific redus de material (otel), poate prelua fără probleme șocurile dinamice considerabile produse la trecerea trenului încărcat. Masa utilă a fost sudată pe fiecare vagonet, deci în bucla

(trenul de fapt nu se deșcarcă, aparind astfel suprasolicitări pu-

servicio ale stației, în special pe porțiunea de ieșire din buclă.

7) Nerealizarea constructivă a unui sistem de reglare a planității inductorilor, cu abateri minime de la vagonet la vagonet, a determinat imposibilitatea reglării întrefierului la valorile optime (6 - 8 mm), ceea ce a determinat o scădere considerabilă a factorului de putere și a randamentului.

8) Tot în scopul reglării optime a întrefierului este necesar și un sistem de reglare pe verticală a poziției inductorului liniar.

9) În vederea asigurării unui grad ridicat de mobilitate roților vagonetilor trenului, este necesară realizarea unei etanșări perfecte a rulmenților acestora prin garnituri și capace bine fixate. Pătrunderea umidității la rulmenți poate duce la ruginirea rulmenților, blocarea roților și creșterea inadmisibilă a rezistenței specifice la înaintare a trenului. Aceasta din urmă poate determina creșterea exagerată a consumului specific de energie și chiar deraierea trenului.

10) În scopul scăderii rezistenței specifice la înaintare a trenului în stațiile de descărcare, pentru a micșora forțele de frecare dintre roți și contraciță la parcurgerea configurației spațiale complexe a acestor stații, se va asigura gresarea contracițelor.

5.3. Sistemul de transport cu trenuri de vagoneti ecartament

1435 mm, acționați cu motoare liniare ML - 03

5.3.1. Prezentare generală

În vederea realizării primului tronșon cu caracter industrial experimental al unui sistem de transport cu trenuri de vagoneti acționați cu motoare liniare la o carieră de suprafață, la stația pilot a IPTV Timișoara a fost amenajată o linie experimentală în buclă închisă, având lungimea totală de 76,5 m. Această linie servește la efectuarea unor testări în regim dinamic a performanțelor sistemului de transport cu trenuri de vagoneti ecartament 1435 mm, acționați cu motoare liniare ML - 03, sistem care se poate aplica atât la transportul materialului util, (cărbune sau șist bituminos), cât și în mod deosebit, la vehicularea stărilor de granulație grosieră.

Necesitatea etapei testărilor pe instalații experimentale are o importanță deosebită, având în vedere următoarele aspecte:

- timpul scurt realizat necesită investiții relativ reduse;
- fiind vorba de un model experimental, se pot realiza efecte pe aceste diferite îmbunătățiri impuse de rezultatele experimentărilor;
- instalația experimentală fiind modelul, la scară redusă, a unei instalații industriale de mari proporții, pe baza concluziilor etapei de testare pe instalația experimentală se poate estima eficiența economică globală

a sistemului cu caracter industrial. Modificări ulterioare realizate pe instalația experimentală cu investiții minime, pot avea consecințe deosebit de favorabile privind reducerea costului specific al transportului la instalația industrială.

Așadar, rezultatele testărilor efectuate pe instalații experimentale cu caracter de stații pilot pot justifica o investiție substanțială în instalația cu caracter industrial printr-o eficiență economică favorabilă, dovedită pe un model la o scară redusă, ușor realizabil și mult mai ieftin.

La realizarea în cadrul stației pilot a IPTVT, a instalației experimentale de transport ecartament 1435 mm, autorul lucrării de față are o contribuție directă, concretizată prin proiectarea configurației căii de rulare ecartament 1435 mm în limita spațiului disponibil al stației pilot, participarea la elaborarea tezei dezvoltate în vederea proiectării vagonetilor ecartament 1435 mm, calculul de acționare și repartizarea pe baza acestuia, a motoarelor liniare de propulsie ML - 03 executate pe traseul căii, conceperea instalației de forță și comandă a sistemului, precum și participarea efectivă la lucrările de montare a întregului sistem (pozarea cablurilor de forță și comandă, montarea aparatului de forță și comandă și legături electrice, stabilirea lungimii optime a trenului pentru traseul dat, și montarea vagonetilor, montarea motoarelor, etc.). Autorul a participat și colaborat în mod direct la punerea în funcțiune a sistemului de transport ecartament 1435 mm și a conceput baza experimentală pentru stabilirea în regim dinamic al performanțelor sistemului.

Sistemul de transport ecartament 1435 mm, testat la stația pilot a IPTVT, constă din trenuri de vagoneti cu o singură osie (cu excepția primului vagonet, prevăzut cu două osii), cuplați printr-o articulație sferică. (fig.40) Pe partea inferioară a fiecărui vagonet este fixat câte un indus de motor liniar. Pe calea de rulare, între sine, sunt amplasate inductoarele liniare fixe, la un interval de cel puțin egal lungimii trenului.

Caracteristicile trenului de vagoneti ecartament 1435 mm sînt următoarele:

- ampatamentul vagonetilor intermediari : 3 m;
- ampatamentul vagonetului de capăt: 1,5 m;
- ecartament: 1435 mm;
- lungimea cuvei: 2000 mm;
- deschiderea cuvei: 1600 mm;
- volumul cuvei: 3 m³
- greutatea utilă transportată: 6 t
- greutatea vagonetului intermediar gol: 1710 kg;
- greutatea vagonetului de capăt gol: 1200 kg;
- raza minimă a căii în carieră, pentru care a fost proiectat tre-

- ulului: 20 mm
- raza minimă a căii la stația pilot, pe care s-au desfășurat testările: 9 m;
- distanța dintre placa indus și nivelul șinei: 50 mm;
- diametrul roții de rulare: 350 mm;
- greutatea proprie pe metru liniar: 600 kg/m;
- grosimea plăcii indus de oțel: 17 mm;
- grosimea plăcii indus de cupru: 3 mm;
- lățimea plăcii indus: $L_{Po} = 810$ mm, $L_{Cu} = 500$ mm;
- întrefier mecanic: 12 mm;

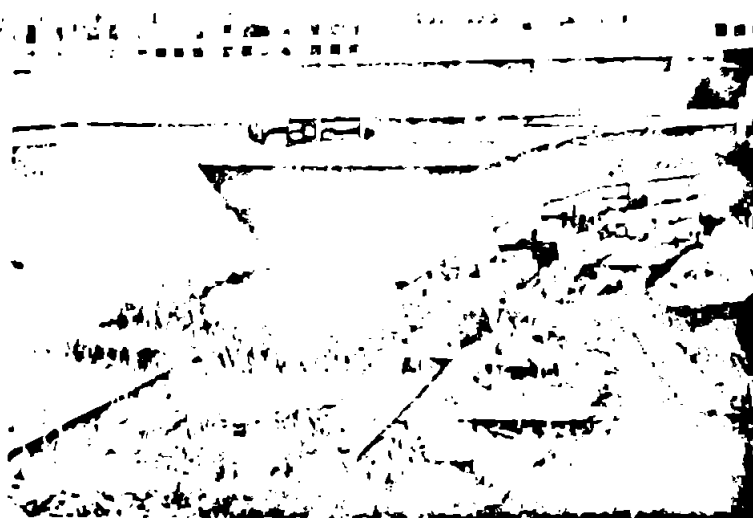


Fig. 40. Sistem de transport cu tremuri de vagoneti
ecartament 1435 mm

La montarea vagonetilor ecartament 1435 mm la stația pilot și la punerea în funcțiune a sistemului de transport cu acționare liniară, s-au constatat o serie de deficiențe de proiectare și de execuție, unele cu repercursiuni semnificative privind performanțele sistemului. Se prezintă în continuare câteva dintre acestea:

- Pentru a se putea înscrie în curbe cu raza de 9 m, cuvele trebuiau să aibă capetele tesite într-un anumit unghi. Prin realizarea capetelor velor sub forma unor pereți plani, perpendiculari pe cadrul vagonetilor, la scrierea în curbă a trenului marginile cuvelor dinspre linia interioară a căii s-au atins, producând astfel blocarea trenului. În urma tensionării a două vagoneti succesivi, datorită blocării bazelor bandajelor roților de șină interioară, respectiv interioară, trenul s-a "întepenit" în zona curbei. Pentru soluționarea situației, au trebuit să fie tăiate colțurile din partea interioară a căii la cuvele succesive.

- Nu s-a prevăzut un sistem de etanșare a articulației sferice, existând posibilitatea întepenirii prin ruginită la pătrunderea apei.

ele nu se pot demonta fără demontarea cuvelor și astfel au

există posibilitatea reglării orizontalității tremului prin intermediul cuplajelor. În acest scop, ar trebui prevăzută în curvă un orificiu, acoperit cu un capac, pe unde, cu ajutorul unei chei să se poată acționa asupra piulițelor cuplajului.

- Între cadrul vagonetilor și curvă ar trebui prevăzute 4 arcuri, care să preia șocurile de la încărcare.

- Carcasa cuplei, atât în exterior, cât și în interior, este de secțiune pătrată. Deoarece obținerea, prin prelucrare, a unui orificiu de secțiune pătrată, este destul de dificilă ar fi indicat ca în interior carcasa cuplei să fie cilindrică, având secțiunea rotundă.

- Jocul între roți și calea de rulare este prea mic.

- Buza bandajului roții nu prezintă o racordare sub forma unui arc de cerc cu bandajul propriu zis. Aceasta face ca locul de contact roată-șină să nu mai fie punctiform (această situație s-ar realiza numai dacă roata s-ar sprijini de marginea interioară a capului șinei tocmai prin arcul determinat de racordarea susmenționată). Această deficiență de proiectare face ca în situația reală a tremului, contactul roată-șină să se facă pe întreaga suprafață de rulare a roții, buza bandajului frecându-se cu întreaga ei suprafață, de partea interioară a capului șinei.

- La montarea vagonetilor s-au constatat abateri de orizontalitate a plăcilor indus de ± 2 mm.

- S-au sudat de cadru atât cuplajele, cât și brățile de reglare, la osii, a orizontalității plăcii indus.

- Placa de cupru fixată de placa de oțel prin șuruburi de oțel (140 buc. șuruburi), ce întrerup traiectoriile liniilor de curent induse în placa de cupru.

- Șuruburile de fixare a plăcilor indus trebuie ștanuite pentru evitarea dezurubării.

- Pentru evitarea modificării întrefierului prin slăbirea cuplajelor dintre vagoneti, piulițele de fixare ale acestor cuplaje trebuie prevăzute cu siguranțe.

- Distanța realizată dintre capul șinei și placa indus a fost de 50 mm, în loc de 40 mm, (costa proiectată), indusul fiind fixat cu 10 mm mai sus (opre osie).

Toate aceste deficiențe, constatate la montarea și testările sistemului de transport ecartament 1435 mm, cu acționare liniară, vor fi eliminate la realizarea tronsonului cu caracter industrial experimental, realizându-se astfel o îmbunătățire sensibilă a performanțelor sistemului de transport analizat.

- Calea de rulare prezintă 4 zone distincte (fig 41):

- câte două porțiuni drepte, cu lungimea de 10 m fiecare;

- cîte două porțiuni curbe, cu raza de curbură de 9 m.

Această configurație destul de strînsă a căii de rulare a fost impusă de spațiul limitat disponibil la stația pilot, linia ecartament 143, mm. înconjurînd sistemul de transport, ecartament 600 mm, prezentat anterior.

Lungimea totală a căii de rulare, calculată pe linia mediană, este 765 m. Sina folosită are greutatea specifică 40 kg/m și a fost montată pe traverse de lemn direct pe sol.

Fixarea motoarelor liniare de propulsie între șinele căii s-a făcut folosindu-se cîte două prăfile U 200 pentru fiecare motor, montate transversal pe calea de rulare. Capetele profilurilor se fixează de talpa șinei prin intermediul a 8-piese de formă unor "cîlîroți", întreg ansamblul fiind rigidizat cu ajutorul unor buloane \varnothing 20.

Trenul de vagoneti s-a realizat prin cuplarea vagonetului de cupăt cu 5 vagoneti intermediari (cu o singură osie), greutatea totală a trenului rezultînd:

$$G_t = (5 \times 1710 \text{ kg} + 1200 \text{ kg}) \cdot 9,8 = 97,5 \text{ kN}$$

Realizarea unui tren relativ scurt (16,5 m) a fost impusă de următorii factori:

- ampatamentul vagonetilor intermediari (3 m), relativ mare în raport cu raza de curbură a căii de rulare (9 m), ar fi determinat blocarea trenului în curbă în situația în care lungimea acestuia ar fi fost mai mare, datorită fenomenului de "întepenire" descris anterior, fiecare vagonet contribuind la o creștere substanțială a rezistenței la înaintare a trenului în curbă.

- fenomenul de creștere a rezistenței la înaintare susmenționat este amplificat și de faptul că nu există o racordare cu o anumită rază de curbură între buza bandajului roții și bandajul propriu-zis, în timpul rulării asigurînd un contact punctiform bandaj - cap șină, cî un contact permanent, pe întreaga suprafață de rulare a acestora.

- numărul de motoare liniare de propulsie montate este mai mic decît cel rezultat în urma unui calcul de acționare riguros, în care s-au luat în considerare rezistențele specifice de mers reale măsurate, pentru respectarea diagramei de mers impuse fiind necesare încă cel puțin 4 motoare, cîte două în fiecare curbă. Aceste motoare nefiind realizate, lungimea trenului s-a ales astfel încît acesta să poată fi accelerat considerabil în porțiunile drepte ale căii de rulare, unde sînt plasate cîte două motoare liniare de propulsie, energia cinetică acumulată permițînd trenului străbateră curbelor cu pierderi de viteză minime.

În scopul reducerii frecărilor ansamblului roată - șină în curbe, s-a procedat în aceste zone la gresirea buzelor bandajelor roților și a suprafețelor interioare a capului șinei.

Alegerea convenabilă a lungimii trenului de vagoane, a șinelor de accelerare, precum și măsurile suplimentare luate cu scopul micșorării rezistențelor specifice la înaintare a trenului în zona curbelor (tețirea capetelor vagoanelor, gresarea și rodarea cuplajelor, gresarea ansamblului roată-șină, etc.) au permis realizarea unor condiții de rulare corespunzătoare ridicării caracteristicii mecanice a motorului liniar de propulsie ML - 03 (s-a atins o viteză de 7,3 m/s, adică o alunecare $s = 0,13$).

Se menționează că la sistemul industrial experimental, raza de curbură a căii e preconizată a fi de minim 20 m, situație în care nu se vor mai manifesta fenomenele de creștere exagerată a rezistențelor la înaintare evidențiate în timpul testărilor la stația pilot.

Motoarele liniare de propulsie sînt de tipul ML - 03, avînd caracteristicile menționate la subcap. 4.4.2.1. Pentru ridicarea caracteristicii mecanice a unuia din cele 6 motoare liniare dispuse de-a lungul traseului de rulare, s-a folosit montajul; placă de măsură cu motorul fixat pe el - ghidaje cu rulmenți - traductor tensometric de forță - punte tensometrică, montaj care a fost descris mai amănunțit tot în subcapitolul amintit mai sus.

Instalația electrică de forță care asigură cuplarea și protecția motoarelor liniare ale sistemului de transport ecartament 1435 mm, se află grupată în două tablouri de forță, (TF 6 și TF 7 - fig. 41). Fiecare inductor este pus sub tensiune prin anclanșarea unui contactor TCA - 400 (contactoare notate cu $C_1 - C_6$ fig 41), protecțiile fiind realizate cu ajutorul siguranțelor fuzibile de tip GF 315 A (cîte una pe fiecare fază) și a releelor termice T3AW 400. Punerea sub tensiune a barelor tablourilor de forță se face prin închiderea a două întrerupătoare de tip ISOL 800 A aflate în tabloul general de distribuție TOD, precum și a celor două separatoare tip STI 1000 A proprii tablourilor de forță.

Cuplarea selectivă a alimentării motoarelor liniare se face fie automat, după principiul menționat la prezentarea sistemului de transport ecartament 600 mm, (prin traductoare de proximitate), fie manual, prin butoane de comandă aflate în camera de comandă a stației de pilot. În unele cazuri, punerea sub tensiune a bobinelor contactoarelor de forță TCA 400 se face prin intermediul unor rele cu temporizare la declanșare RI - 3T.

În fig. 41 se prezintă schematic, traseul căii de rulare ecartament 1435 mm, amplasarea motoarelor liniare de propulsie (inclusiv cel a cărui caracteristică mecanică se măsoară), precum și cele două tablouri de forță ce conțin instalația electrică de cuplare și protecția a inductoarelor liniare.

Înainte efectuării unor determinări experimentale privind performanțele motoarelor liniare de propulsie ale sistemului de transport ecartament 1435 mm, pentru estimarea realistă a consumului specific de energie al sistemului menționat, avînd în vedere caracterul particular al traseului căii de

re, s-au măsurat experimental rezistențele la înaintare ale trenului în diferitele zone ale traseului, prin tractarea acestuia cu un cabestan, având înălțat un dinamometru cu domeniul 0 - 1400 daN.

Ținând cont de greutatea totală a trenului $G_t = 97,5 \text{ kN}$, s-au determinat:

- rezistența specifică la înaintare în situația pornirii trenului din repaus, în porțiunea dreaptă:

$$w_{rd} = \frac{1200 \text{ N}}{97,5 \text{ kN}} = 12,3 \text{ N/kN}$$

- rezistența specifică la înaintare în situația trenului în mișcare în porțiunea dreaptă:

$$w_{rd} = \frac{900 \text{ N}}{97,5 \text{ kN}} = 9,2 \text{ N/kN}$$

- rezistența specifică la înaintare în situația pornirii din stare repaus a trenului situat în întregime în curbă:

$$w_{rc} = \frac{5500 \text{ N}}{97,5 \text{ kN}} = 56,4 \text{ N/kN}$$

- rezistența specifică la înaintare în situația când trenul se află în mișcare, fiind în întregime în curbă:

$$w_{rc} = \frac{3000 \text{ N}}{97,5 \text{ kN}} = 30,8 \text{ N/kN}$$

5.3.2. Determinarea experimentală a performanțelor motoarelor liniare de tracțiune ale sistemului de transport ecartament 1435 mm

Pentru măsurarea parametrilor electrici ai motoarelor liniare (tensiune de alimentare, putere activă absorbită, curenții pe cele 3 faze) se folosește o punte trifazată de măsură tip METRA, legată în circuitul de forță al motorului liniar ale cărui performanțe se măsoară conform fig. 42.

Bornele de tensiune R₁, S, T, ale punții se leagă la cele 3 faze de alimentare a motorului liniar, la ieșirea din contactorul TCA - 400.

Deoarece curenții pe cele 3 faze ale motorului, de ordinul sutelor de amperi, depășesc domeniul maxim de măsură directă al aparatului, (domeniul de măsurare directă a curentului la acest tip de punte de măsură este 1 A), se intercalează între fazele de alimentare a motorului liniar și bornele de curent ale punții trifazate oțite un transformator de curent cu raportul de transformare:

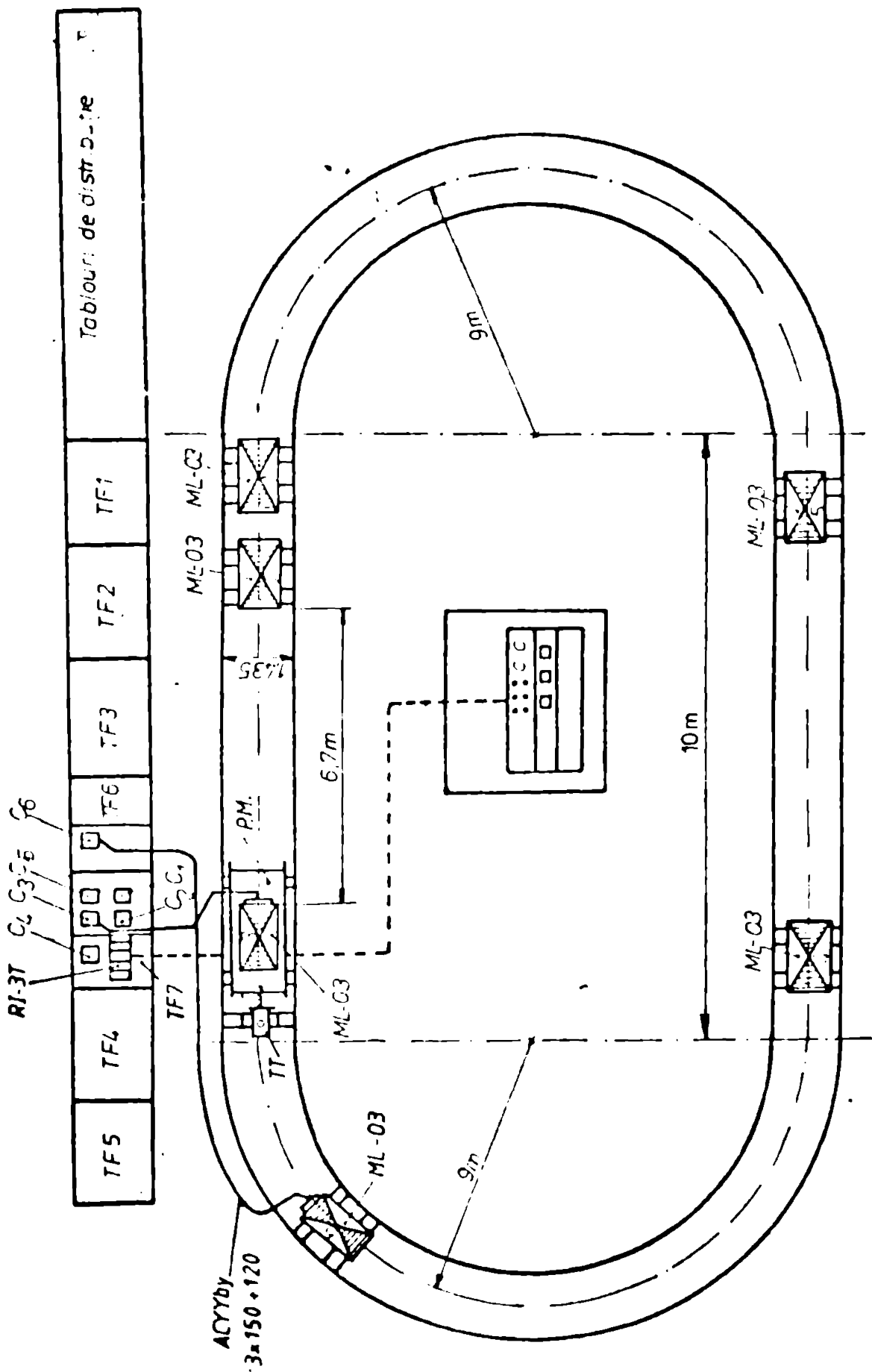


Fig.41. Traseul căii de rulare ecart 1435 mm și amplasarea motoarelor liniare de propulsie ML-03

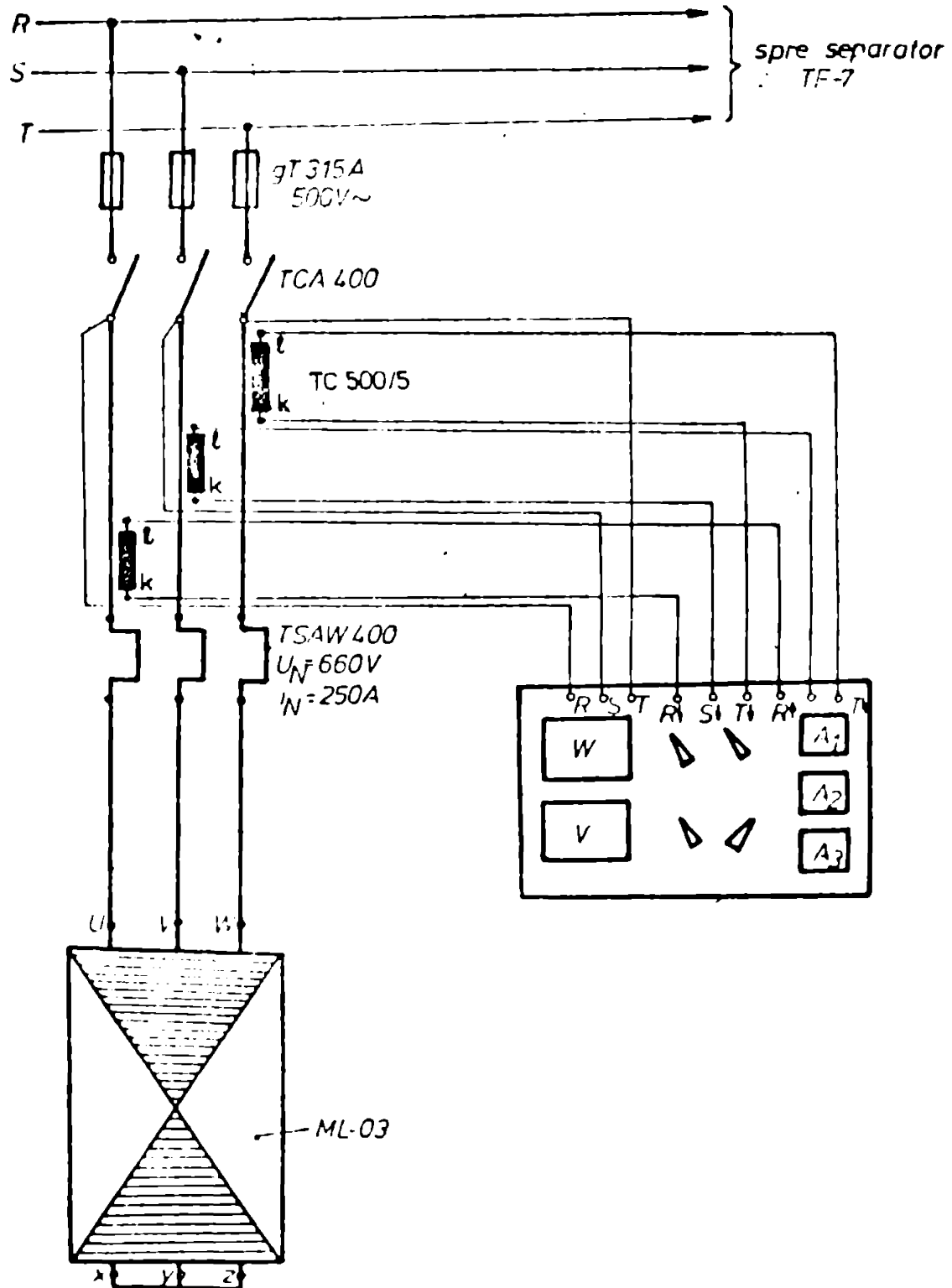


Fig.42. Schema electrică de măsură realizată în scopul determinării parametrilor motorului liniar

$$K = 500/5$$

Din schema de conexiuni prezentată în fig. 42, reiese modalitatea de legare a bornelor transformatoarelor de curent TC la bornele de curent ale punții trifazate.

Domeniile de măsură și constantele instrumentelor punții de măsură au fost următoarele :

- Pentru măsurarea tensiunilor, voltmetrul se reglează pe domeniul 0 - 440 V; corespunzător rezultă constanta $K_U = 4$.

- pentru măsurarea curentilor pe cele 3 faze, dată fiind legarea aparatului la secundarele transformatoarelor de curent, ampermetrele se reglează pe domeniul 0 - 5 A; rezultă constanta $K_I = 1 \cdot 500/5 = 100$.

- Pentru măsurarea puterii active absorbite, indicația citită pe wattmetru va fi înmulțită cu constanta:

$$K_P = 1,5 \cdot K_U \cdot K_I = 1,5 \cdot 4 \cdot 100 = 600,$$

unde 1,5 este o constantă ce depinde de modul de realizare a unor conexiuni interne ale wattmetrului în situația folosirii transformatoarelor de curent.

Pentru măsurarea forței de tracțiune a motorului liniar, respectiv ridicarea caracteristicii mecanice $P = f(v)$, s-a folosit un traductor tensometric de forță (celulă de sarcină) tip CS - T - 10, realizată de IAMB - lab. Timișoara, avînd un domeniu de 0 - 10 kN. Celelalte caracteristici ale acestui traductor, precum și descrierea detaliată a montajului realizat, s-au menționat în cap. 4.

Măsurarea rezistențelor celor 3 faze ale motorului liniar s-a făcut cu o punte Thomson tip Pontavi, alimentată de la o sursă externă cu 2 A c.c.

Experimentările privind determinarea performanțelor motorului liniar ML - 03 în regim dinamic s-au desfășurat la două întrefieruri mecanice: 12 mm și 5 mm.

Măsurătorile efectuate la un întrefier mecanic de 12 mm s-au desfășurat în condițiile parcurgerii de către trenul de vagoneti a unui număr de 27 bare complete pe traseul căii de rulare.

Mărimile electrice măsurate cu puntea trifazată de măsură au fost incluse în tabela nr. 8.

Tabela nr. 8

Nr. cure	I			U			P		
	α [div]	K	I [A]	α [div]	K	U [V]	α [div]	K	P [W]
	2	100	540	24	4	336	50	1,5.4.100	43
(normire)									
1	4,4	100	440	25	4	340	60	600	76
2	4,6	100	460	25	4	340	60	600	76
3	4,5	100	450	25	4	340	55	600	73
4	4,5	100	450	25	4	340	53	600	71,8

Tabola nr. 8 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	4.6	100	460	85	4	340	50	600	30
6	4.6	100	460	85	4	340	50	600	30
7	4.5	100	450	85	4	340	50	600	30
8	4.6	100	460	85	4	340	50	600	30
9	4.6	100	460	85	4	340	50	600	30
10	4.5	100	450	85	4	340	50	600	30
11	4.5	100	450	85	4	340	50	600	30
12	4.5	100	450	85	4	340	50	600	30
13	4.5	100	450	85	4	340	50	600	30
26	4.5	100	450	85	4	340	50	600	30
27	4.5	100	450	85	4	340	50	600	30

Măsurătorile privind caracteristica mecanică $P = f(V)$ a motorului liniar LL - 03 s-au sintetizat în tabela nr. 9, iar alura acestei caracteristici s-a reprezentat în fig.29.

Tabola nr. 9

V [m/s]	C [div]	K [da N/div]	F [da N]
0	650	1	650
1.65	720	1	720
3.1	870	1	870
4.21	910	1	910
5.32	920	1	920
6.07	930	1	930
6.63	900	1	900
7.2	880	1	880

Pe baza măsurătorilor se poate determina factorul de putere din relația:

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} U \cdot I} \quad (5.10)$$

unde P este puterea activă absorbită, U și I tensiunea respectiv curentul de fază.

La viteze mici ($V \approx 1$ m/s), factorul de putere are valoarea:

$$\cos \varphi = \frac{36000}{\sqrt{3} \cdot 340 \cdot 440} = 0,159$$

La viteze mari ($V \approx 7$ m/s) avem:

$$\cos \varphi = \frac{30000}{\sqrt{3} \cdot 340 \cdot 450} = 0,113$$

Rezultă valoarea medie a factorului de putere în situația unui întrefier mecanic de 12 mm:

$$\cos \varphi_m = 0,126$$

Determinările experimentale efectuate la stația pilot în situația întrefierului mecanic menționat mai înainte au permis, de asemenea, calculul randamentului motorului liniar ML - 03. Neglijând pierderile în fier și în cuprul secundarului, se poate scrie:

$$P = P \cdot V_g + 3 I_1^2 \cdot R_1 \quad (5.11)$$

unde:

P = puterea absorbită, citită la wattmetru; $P \cdot V_g$ = puterea utilă;
 F = forța de propulsie; V_g = viteză sincronă a motorului liniar; R_1 = rezistența unei faze a motorului;

Cu ajutorul punții Thomson, s-au determinat experimental valoarea lui R_1 : $R_1 = 0,02 \Omega$.

Așadar, pierderile în înfășurarea primară vor avea valoarea:

$$3I_1^2 \cdot R_1 = 3 \cdot (450)^2 \cdot 0,02 = 12,15 \text{ kw.}$$

Puterea utilă va avea valoarea:

$$P_{II} = P - 3I_1^2 R_1 = 30 - 12,15 = 17,85 \text{ kw.}$$

Deci randamentul motorului liniar va fi:

$$\eta = \frac{P_{II}}{P} = \frac{17,85}{30} = 0,595$$

În vederea determinării consumului specific de energie al sistemului de transport scartament 1435 mm, s-au reluat experimentările tot la întrefierul mecanic de 12 mm, parcurgându-se de această dată un număr de 58 ture complete.

În această situație, consumul total de energie activă, măsurat la un contor trifazat, a fost: [39]

$$W_1 = 362,51 - 362,40 = 0,11 \text{ kWh}$$

Constanta transformatoarelor de curent aferente contorului are valoarea: $K_1 = 400$.

Așadar, energia activă consumată pentru parcurgerea a 58 de ture complete de către tren va fi:

$$W_m = 0,11 \cdot 400 = 44 \text{ kWh}$$

Greutatea totală a trenului fiind $G_t = 9.75 \text{ t}$, iar lungimea totală a traseului parcurs:

$$L = 76.5 \cdot 58 = 4437 \text{ m} = 4.437 \text{ Km.}$$

rezultă consumul specific de energie al sistemului de transport pentru situația analizată:

$$W_{sp} = \frac{44 \text{ Kwh}}{9.75 \text{ t} \cdot 4.437 \text{ Km}} = 1.017 \text{ Kwh/tKm}$$

Determinarea performanțelor motorului liniar HL - 03 la un întrefier mecanic de 5 mm s-au efectuat prin parcurgerca de către trenul de vagoți a unui număr de 12 ture complete.

Mărimile electrice măsurate cu puntea trifazată au fost incluse în tabela numărul 10.

Tabela nr. 10.

Nr. ture	I [A]	U [V]	P [Kw]
1	550	336	42
2	450	340	42
3	440	340	42
4	450	340	42
5	450	340	42
6	450	340	42
7	430	340	42
8	430	340	42
9	430	340	42
10	430	340	42
11	430	340	42
12	450	340	42

Caracteristica mecanică $F = f(v)$ la acest întrefier s-a sintetizat în tabela nr. 11.

Tabela nr. 11

v [m/s]	C [dN]	K [dNv/dN]	F [dN]
0	400	1.75	700
2.68	540	1.75	945
4.46	530	1.75	1015
6	590	1.75	1033
6.68	530	1.75	1015
6.97	560	1.75	980
7.34	540	1.75	945
8	480	1.75	840

Factorul de putere mediu rezultă:

$$\cos \varphi_B = \frac{42000}{1,73 \cdot 340 \cdot 440} = 0,162$$

Randamentul motorului liniar la acest întrefier va fi:

$$\eta = \frac{42 \cdot 3 \cdot (440)^2 \cdot 0,02 \cdot 10^{-3}}{42} = 0,72$$

5.3.3. Concluzii privind determinările experimentale a performanțelor sistemului de transport format din vagoneti ecartament 1435 mm, acționat cu motoare liniare

Experimentările privind performanțele în regim dinamic ale sistemului de transport ecartament 1435 mm acționat cu motoare liniare, desfășurate la stația pilot a IPTVT, au permis desprinderea unor concluzii deosebit de utile în vederea proiectării și realizării eficiente a unui tronson cu caracter industrial experimental la o carieră de suprafață, unde se vehiculează o cantitate mare de material cu granulație grosieră. În esență, acestea sînt următoarele:

1) Tehnologia de încărcare a vagonetilor trenului, în primă etapă direct din cupa excavatorului, precum și granulația mare a materialului transportat, impun realizarea unor vagoneti robusti, capabili să reziste în condiții optime solicitărilor mecanice considerabile care apar în timpul transportului, descărcării și șocurilor la încărcare. Vagonetii realizați la ICM - Caransebes îndeplinesc în mare măsură cerințele menționate. Totuși, observațiile efectuate în timpul experimentărilor în regim dinamic, precum și discuțiile purtate cu această ocazie cu beneficiarii potențiali ai sistemului de transport realizat, au permis reconsiderarea unor detalii constructive ale vagonetilor, în vederea realizării variantei industriale optime. Astfel:

- Cuplajul sferic va trebui să aibă carcasa cilindrică pentru ușurarea prelucrărilor, articulația sferică va trebui prevăzută cu un sistem de etanșare, cuplajele nu trebuie să fie sudate de cadrul vagonetilor, ele urînd să aibă posibilitatea de demontare separată, fără a demonta și cuvele vagonetilor.

- Între cadrul vagonetilor și cuvă vor trebui prevăzute 4 arcuri pentru preluarea șocurilor la încărcarea trenului.

- Bandașul roții va fi racordat la buza bandașului printr-un arc de cerc, eliminîndu-se racordarea unghiulară existentă.

Rezolvarea tuturor acestor aspecte prezentate va conduce la realizarea unui vagonet robust și fiabil, robustețea sa neimplicînd totuși o masă mare, care să conducă la creșteri nejustificate ale consumului de materii

(ștă), a rezistențelor de mers și, în ultimă instanță, a consumului specific de energie al sistemului de transport.

2) Trebuie să existe o corelare mai bună între ampatamentul vagoanelor și raza minimă de curbură a căii de rulare. Raza de 9 m a căii de rulare de la stația pilot, exagerat de mică în raport cu ampatamentul de 3 m a vagoanelor, cu toate consecințele sale negative menționate, a fost determinată de condițiile obiective privind spațiul disponibil de amplasare la stația și a sistemului de transport ecartament 1435 mm.

Se menționează că valoarea de 3 m a ampatamentului vagoanelor a fost adoptată în ideea refolosirii acestor vagoane, după terminarea testărilor la stația pilot, la realizarea sistemului de transport în variante industriale într-o carieră de suprafață unde razele de curbură aveau valoarea minimă de 20 m.

3) Consumul specific de energie, de 1,017 kWh/tkm se datorează caracteristicilor traseului căii de rulare a stației pilot, precum și întregului lanț de 12 km. Din lungimea totală de 76,5 m a căii, doar 20 m reprezintă porțiuni drepte (aprox. 1/4 din lungimea totală a traseului), restul fiind pe cu raza de 9 m. Datorită raportului relativ mic între mărimea acestor raze de curbură și ampatamentul vagoanelor, în zona curbelor, deci pe aprox. 3/4 din traseu, se manifestă substanțiale forțe de frecare în sistemul roată-axă. Astfel, pe aprox. 3/4 din lungimea traseului, rezistența specifică la înaintare a trenului este de cea 3 ori mai mare decât cea corespunzătoare porțiunilor drepte (după cum s-a măsurat experimental). Considerând că ponderea cea mai mare a consumului de energie o reprezintă partea necesară învingerii rezistențelor de mers în curbe, se poate estima că, în situația rulării trenului pe porțiuni drepte și orizontale (de exemplu pe magistralele de transport, pe distanțe de 5 - 15 km), consumul specific de energie va fi de cea 3 ori mai redus (0,33 kWh/tkm).

4) Din motive constructive, a imposibilității reglării perfecte a orizontalității inductorilor întregului tren și a realizării unei rigidități suficiente să asigure această orizontalitate pe o perioadă îndelungată (cuplajele se pot să cedeze datorită șocurilor mecanice), întrefierul mecanic la care nu realizat experimentările a fost mare (11 - 12 mm). Dacă se adaugă grosimea plăcii de cupră (3 mm), material diamagnetic, rezultă un întrefier magnetic total de 14 - 15 cm. În această situație, pentru producerea fluxului magnetic util, curentul de magnetizare, respectiv puterea reactivă absorbită, sînt mari. Așa se explică factorul de putere mediu de valoare mică la acest sistem ($\cos \varphi_m = 0,13$). Acesta trebuie neapărat compensat, crescînd investițiile în echipament electric de compensare, (baterii de condensatoare). Soluțierea întrefierului mecanic a determinat, după cum s-a menționat, o creștere considerabilă a factorului de putere și a randamentului.

5) Forțele de propulsie sînt diminuate de următorii factori:

- întrefier mare

- căderi de tensiune în sarcină (pînă la 35 V) datorită curenților de ordinul a 400 - 450 A și a faptului că alimentarea cu tensiune a stației pilot se realizează, prin cablurile de forță, de la o distanță de cca 150 m, din laboratoarele Facultății. Căderea de tensiune susmenționată se realizează pe aceste cabluri de alimentare ale stației pilot, iar forța de propulsie, în cazul general al unei mașini electrice asincrone, depinde direct proporțional de U^2 . De aici rezultă concluzia că în situația industrială, punctele de alimentare cu energie electrică trebuie să fie cît mai aproape de motorul și niere.

- datorită fixării plăcii indus de cupru de placa de fier printr-un număr mare de șuruburi, lucru impus de deformațiile posibile ale indusului sub acțiunea încălzirii determinată de curenții induși, orificiile și șuruburile reprezintă discontinuități pentru liniile de curent induse. Traiectoriile acestora sînt puternic deformate, producînd forțe suplimentare de frinare și pierderi suplimentare, adică o diminuare a forței utile de propulsie. Pentru evitarea acestui fenomen, se propune găsirea unei soluții eficiente de lipire (sudare) a plăcii de cupru de cea de fier.

6. ELEMENTE DE AUTOMATIZAREA ALI SISTEMELOR DE TRANSPORT CU TRENURI DE VAGONETI ACIONATI CU MOTORE ELECTRICI LINIARE

6.1. Problematika automatizării sistemului de transport cu motoare liniare

Unul din aspectele deosebit de avantajoase ale sistemului de transport cu trenuri de vagoneti acționați cu motoare electrice liniare, comparativ cu sistemele clasice de transport material (pe cale ferată și cu camioane), este posibilitatea sa la o automatizare totală, aceasta având implicații importante asupra respectării diagramelor de mers optime și deci a capacităților de transport prescrise, asigurarea securității transportului și controlul permanent al întregii instalații în timpul funcționării, reducerea personalului de supraveghere și control, o fiabilitate ridicată a instalației. Toate acestea contribuie la realizarea unui sistem de transport de mare capacitate, eficient din punct de vedere economic, fiind caracterizat printr-un consum specific de energie și un cost specific al transportului cu mult mai redus decât cele ale sistemelor clasice de transport material.

Problemele esențiale pe care trebuie să le rezolve automatizarea sistemului de transport studiat în prezenta lucrare, având în vedere și apariția sa ulterioară la nivel industrial în carierele de suprafață, sînt următoarele:

- 1) Asigurarea cuplării automate a motoarelor liniare de propulsie numai în prezența trenului deasupra lor.
- 2) Posibilitatea evaluării precise a vitezei trenului de vagoneti în diferitele zone ale traseului, avînd în vedere valorile diferite pe care le are aceasta în zonele de încărcare, deștrău, descărcare, etc.
- 3) Realizarea securității transportului prin asigurarea distanței minime de siguranță între două trenuri consecutive.
- 4) Asigurarea posibilității încărcării vagonet cu vagonet a trenului deci a înaintării "în pași succesivi" a acestuia, în situația în care vagonetii sînt independenți și se încarcă direct din cupa excavatorului.
- 5) Autorizarea pătrunderii trenului gol în zona de încărcare numai în situația în care silozul tampon conține o cantitate de material suficientă umplerii integrale a trenului (aceasta în situația în care trenul are aspectul unei benzi continue, vagonetii fiind uniți prin benzi de cauciuc ondulate iar procesul de încărcare este continuu prin existența unui siloz tampon pe lângă decuparea trenului).

6) Cuplarea automată a macazelor ce permit accesul trenurilor pe diferitele ramificații ale traseului.

7) Decuplarea automată a motorului liniar de propulsie în momentul în care încălzirea sa depășește limita admisibilă.

8) Controlul permanent al întrefierului cu ajutorul traductorului de întrefier.

9) Comanda frinelor de siguranță din diferitele zone ale traseului (încărcare, pante, etc).

10) Dispecerizarea traficului în situația în care sistemul de transport are un caracter dezvoltat, cuprinzând mai multe puncte de încărcare, descărcare, magistrale, etc., și un număr ridicat de trenuri.

11) Controlul permanent al traficului și vizualizarea funcționării globale a sistemului de transport printr-un tablou sinoptic aflat în camera dispecer.

Așa cum rezultă din cele menționate mai sus, problema automatizării sistemului de transport cu trenuri de vagoneti acționați cu motoare liniare este deosebit de complexă, fiecare din aspectele amintite putând constitui obiectul unor lucrări de cercetare independente. Datorită acestui fapt, în prezenta lucrare se abordează numai soluționarea celor mai importante aspecte ale automatizării sistemului în studiu, din cele enumerate mai înainte. Elementele de automatizare ce vor fi prezentate în subcapitolele următoare vor fi analizate punându-se accentul pe rolul acestora în contextul sistemului de transport prezentat, principiul de funcționare, realizarea practică și experimentările și reglajele efectuate asupra lor, neinsistându-se în mod special asupra proiectării diferitelor părți constitutive ale acestor elemente, împreună cu relațiile și calculele pe care această etapă o implică, datorită creșterii exagerate a volumului de material prezentat în acest subcapitol, în contextul spațiului relativ limitat destinat acestuia.

6.2. Traductorul de proximitate de tip inductiv

În cadrul elementelor ce asigură automatizarea sistemului de transport cu trenuri de vagoneti acționați cu motoare liniare, un rol de maximă importanță îl are traductorul de proximitate.

În contextul sistemului de transport studiat, traductorul de proximitate TP asigură:

1) Cuplarea sau decuplarea automată a alimentării inductoarelor liniare. Având în vedere conceperea acționării trenului de vagoneti de tip modular, adică prin grupuri de motoare liniare repartizate pe unitatea de lungime a traseului conform unei diagrame de mers calculate, înainte și după fiecare modul de acționare e prevăzut câte un TP. Acesta este inserat în circuitul de alimentare al bobinei contactoarelor de forță ce cuplează sub tensiune

parele liniare. In momentul in care traductorul "sinte" placa de fier al trenului vagonet al trenului, comandă închiderea circuitului acționat și deci piarea alimentării motoarelor liniare de propulsie. După ce a trecut și al vagonet, motoarele se decuplează automat. Astfel se asigură punerea sub asina a motoarelor numai atita timp cit trenul se află deasupra lor, adică elimină practic consumul de energie la mersul in gol, ceea ce conduce la scăderea substanțială a consumului de energie al sistemului de transport.

2) Prin senzizarea trecerii deasupra lor a două caili consecutive ale vagonului, TP oferă posibilitatea unei schimbări continue a vitezei trenului, in eşantionarea "forestrei" dintre cele două treceri consecutive și numărul de impulsurilor de eşantionare.

3). Măsurarea continuă a vitezei oferă posibilitatea comparării vitezei efective a trenului cu cea prescrisă din diagrama de mers, concordanta între cele două viteze realizându-se prin cuplarea sau decuplarea automată unui anumit număr de motoare liniare de acționare. Prin aceasta se realizează respectarea duratei ciclului de transport și deci asigurarea capacității de transport prescrise.

4) Realizarea securității transportului prin asigurarea distanței minime între două trenuri consecutive.

5) Cuplarea automată a macazelor ce permit accesul trenului pe cuspantele de frinare, respectiv in zonele de încălcare, sau diferite alte semnificații ale traseului.

6) Vizualizarea permanentă a poziției trenului pe un tablou sigoplic in camera dispecer.

6.2.1. Principiul de realizare al traductorului de proximitate

Traductorul de proximitate ce urmează a fi analizat a fost realizat de autor, in colaborare [35], in conformitate cu necesitățile impuse de sistemul de transport la care se va aplica:

- eficiența traductorului se recomandă să fie cuprinsa, in domeniul 3 - 5 cu, fiind impusă de dificultățile de realizare a planității caili de rulare, respectiv a trenului de vagoneti. O eficiență mai mică ar putea provoca o apropiere inadmisibilă a plăcii indus de traductor, putând determina levierea accidentală și deteriorarea traductorului.

- traductorul trebuie să aibă o mare viteză de răspuns, avind in vedere vitezele la care va fi folosit (pînă la 10 m/s).

- să fie sigur in functionare, cu toate că va fi folosit in condiții suficient de grele (in cariere de suprafață, tot timpul anului).

- să fie realizat cu elemente indigene, la un preț de cost scăzut.

In urma analizării diferitelor principii care ar putea sta la baza funcționării traductorului, s-a ales o metodă inductivă, care exploatează

schimbarea parametrilor unei bobine în momentul apariției în fața ei a unui obiect metalic. După modul de exploatare a micilor variații ale parametrilor bobinei, s-a ales varianta unui traductor conceput după metoda dezamorsării, ce constă în introducerea unui circuit oscilant în bucla de reacție a unui oscilator.

Ca urmare a pierderilor de diferite naturi ce au loc în circuitul oscilant la apropierea metalului de acesta, apare o scădere simțitoare a factorului său de calitate Q_0 ; efectul însumat al acestor pierderi duce la dezamorsarea completă a oscilatorului. Se pot obține astfel eficiențe până la 8 - 10 cm. Singurele probleme la ridicarea oscilatorului, care trebuie să oscileze ferm în absența metalului și să se dea ușor la apariția metalului în fața bobinei. Variația concepută prezintă, de asemenea, avantajul că micile deplasări de frecvență ale oscilatorului, datorate instabilității sale, nu deranjează.

6.2.2. Schema bloc, schema de principiu, funcționarea traductorului

Schema bloc a traductorului de proximitate de tip inductiv este prezentată în fig 43, în care:

- OS - oscilator sinusoidal de tip LC ;
- L - bobina oscilatorului ;
- ES - etaj separator cu impedanță de intrare foarte mare ;
- AF - amplificator formator ;
- CI - circuit de integrare ;
- EF - etaj final ;
- CPS - circuit de protecție la scutocircuit ;
- CIB - circuit de întărire și blocare ;
- Re - relee electromagnetic.

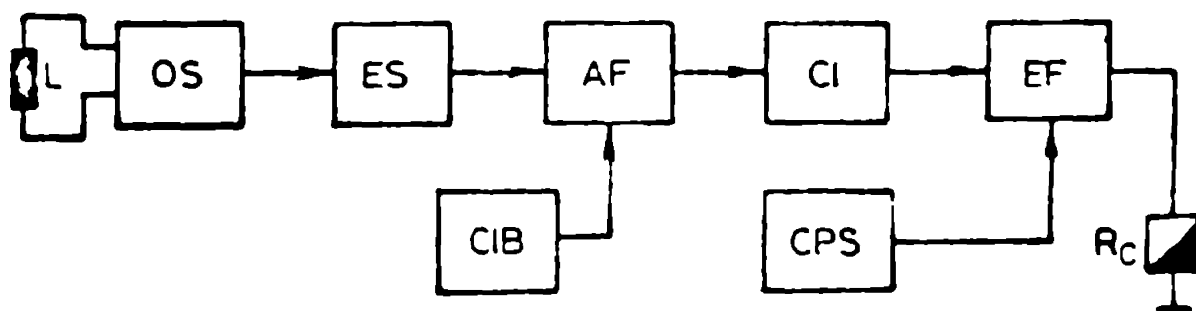


Fig.43. Schema bloc a traductorului de proximitate.

Schema de principiu a traductorului conceput este prezentată în fig.44.

Traductorul conceput după schema prezentată funcționează astfel:

Grupul $Tr; C_1; T_1; T_2; T_3; R_1; R_2; R_3; R_4; DZ_1$ reprezintă oscilatorul sinusoidal de mare sensibilitate, care furnizează oscilații sinusoidale de amplitudine stabilizată și frecvență fixă, aprox. 100 kHz. Amplitudinea oscilațiilor se poate regla prin intermediul curentului I_0 , care este constant în limite foarte largi ale tensiunii de alimentare (între 20 și 45 volți). Stabilizarea curentului I_0 făcându-se prin intermediul diodei Zener DZ_1 . Oscilațiile din punctul B atacă un reostat cu un limitator $T_4; T_5$, polarizat în serie prin primarul transformatorului în serie cu rezistenței R_5 , așa încât reostatul să lucreze apropiat de rezonanță de amplitudine pentru alternanțele pozitive.

Condensatorul C_2 asigură eliminarea componentei continue a semnalului cules de pe R_6 .

Tranzistorul T_9 lucrează în regim de amplificator limitator și formează impulsuri, potențialul în punctul C față de sursă fixându-se la valoarea de 0,5 volți, așa încât de această dată alternanțele pozitive vor fi complet realizate, iar cele negative vor fi formate în impuls în colectorul tranzistorului T_9 (pct. D). Aceste impulsuri, având amplitudinea sursei de alimentare și factor de umplere aproximativ 0,5 vor fi mediate de grupul $T_{10}; C_3$, obținându-se în E o valoare medie a tensiunii, aceasta fiind de aproximativ $V_{cc}/2$. Acest nivel de tensiune continuă menține blocat, prin intermediul rezistenței R_{11} , grupul compus echivalent pnp, $T_{10}; T_{11}$.

Presupunând acum apariția în fața bobinei a unei piese metalice, pierderile de diferite mărimi ce au loc în grupul $C_1; Tr$ determină o scădere punctată a factorului de calitate Q_0 al circuitului oscilant, factor de calitate ales foarte mare pentru a putea fi sensibil perturbat; această scădere a Q_0 are ca efect imediat dezamorsarea oscilatorului, deci dispariția oscilațiilor sinusoidale, dispariția impulsurilor la intrarea integratorului (pct. D), scăderea nivelului de tensiune continuă de la ieșirea sa, deci revenirea pe nivel scăzut a punctului E, deschiderea la comandă a lui T_{10} , deschiderea rapidă a lui T_{11} și anclanșarea reostatului etc. După cum se observă, oscilatorul funcționează și în absența grupului $T_6; R_7; T_7; R_8; C_3; R_2; T_3$ și D_1 condiția ca potențialul în punctul C să se fixeze printr-un divisor la 0,5 volți și pentru a asigura buna funcționare a lui T_9 .

Apare însă un aspect de care încă nu s-a ținut cont. La conectarea sursei de alimentare, treapta de tensiune + Vcc nu are front ridicător într-un timp infinit mic, amorsarea oscilațiilor nu poate avea loc brusc, ci într-un timp finit, deci procesele de transferare a oscilațiilor prin circuitele de integrare și de integrare nu se pot face instantaneu. Toți acești timpi întârziere și de integrare nu se pot face instantaneu. Toți acești timpi întârziere și de integrare nu se pot face instantaneu. Toți acești timpi întârziere și de integrare nu se pot face instantaneu. Toți acești timpi întârziere și de integrare nu se pot face instantaneu. Toți acești timpi întârziere și de integrare nu se pot face instantaneu.

Pentru curenți I_0 mici (eficiență mare), T_9 poate să ajungă la viteze de ordinul sutelor de milisecunde, timp suficient ca reostatul să anclanșeze

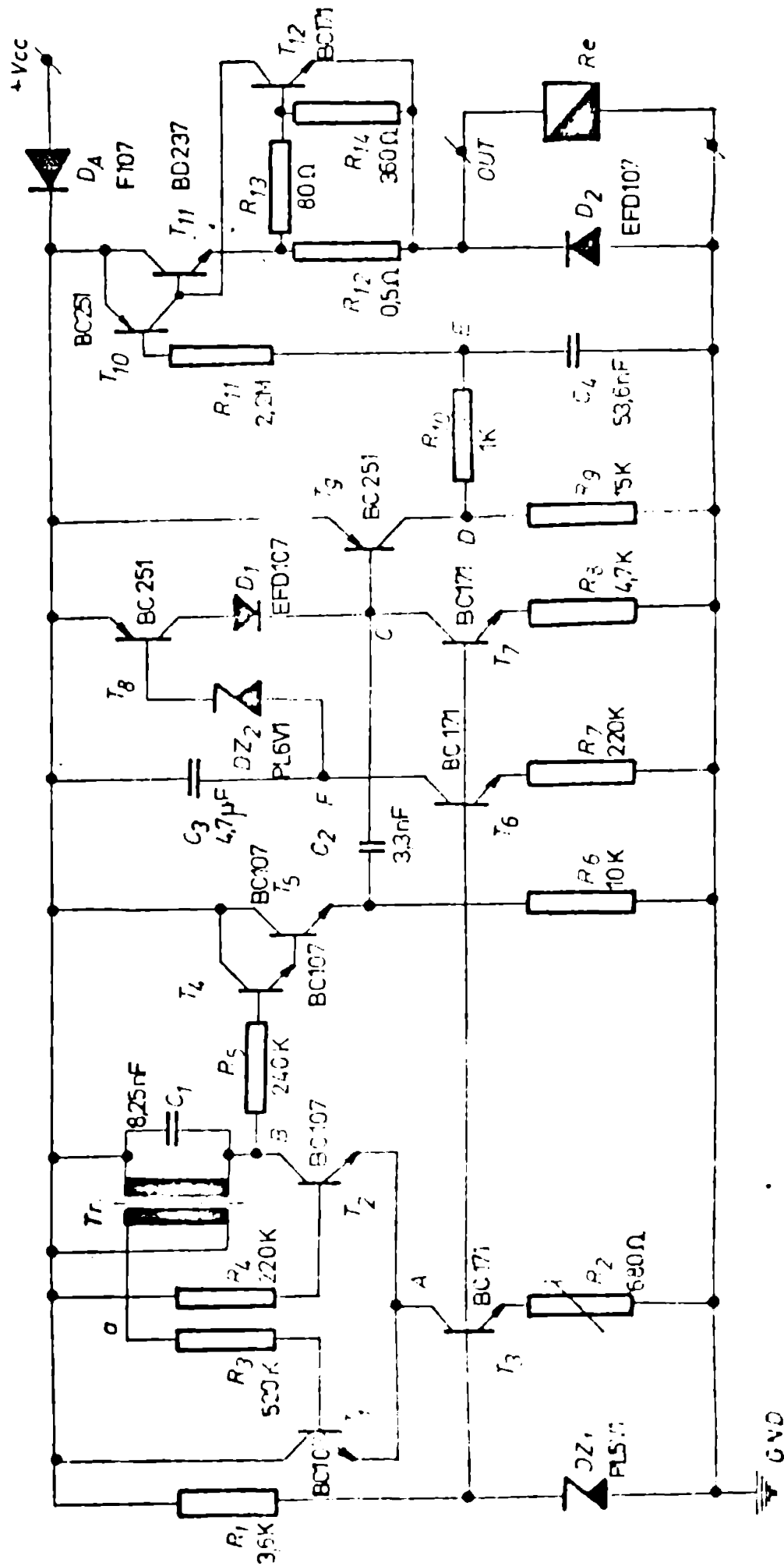


FIG. 44. SCHEMA TRADUCTORULUI DE PROXIMITATE DE TIP INDUCTIV

ceze în mod fals la conectarea sursei de alimentare.

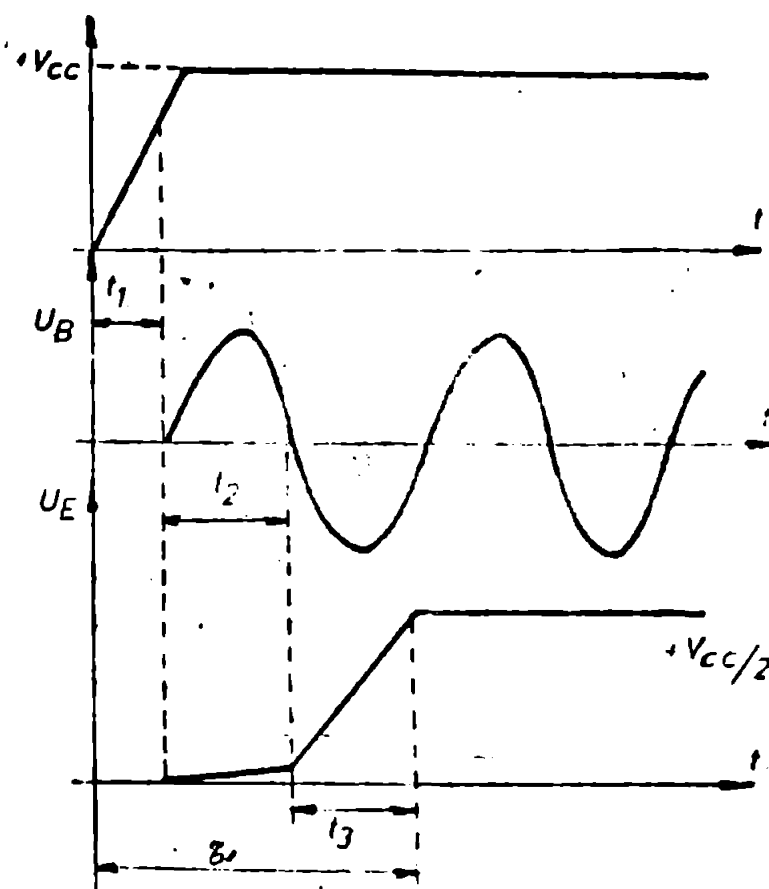


Fig. 45. Explicativă privind apariția cu întârziere a tensiunii U_E la conectarea sursei de alimentare a traductorului.

Pentru preîntâmpinarea acestui fenomen, s-a prevăzut blocul circuitelor de întârziere și blocare CIB, care asigură blocarea etajului final EF pe intervalul de timp t_1 . Totodată, se asigură prin T_7 saturat și D_1 potențialul necesar în punctul C, care să fie stabilizat, astfel încât dispozitivul în ansamblu să poată funcționa corect la tensiuni de alimentare nestabilizate.

Blocul CIB funcționează în felul următor:

În momentul conectării sursei, condensatorul C_3 se încarcă prin T_6 saturat. Procesul de scădere al potențialului în colectorul lui T_6 se desfășoară liniar în timp și se poate controla cu I_{C_6} și C_3 . Atâta timp cât tensiunea pe C_3 este insuficientă pentru deschiderea diodei Zenner DZ_2 , respectiv saturării lui T_8 ; T_7 va absorbi un curent considerabil din baza lui T_9 , saturându-l, deci fixând în punctul E un potențial apropiat de V_{CC} prin încărcarea rapidă a lui C_4 de la sursă prin T_9 saturat și R_{10} , care va fi dimensionată corespunzător spre a fi suficient de mică.

În aceste condiții, etajul final EF va fi blocat, eliminând astfel anclanșarea falsă ce s-ar fi putut produce la conectarea sursei de alimentare. După terminarea proceselor tranzitorii și procesului de temporizare cu durata t_1 , tensiunea pe C_3 atinge pragul de deschidere a lui DZ_2 , respectiv a lui T_8 , care se saturază. Antfol se deschide, cu ajutorul curentului I_{C_7} , dioda D_1 și în punctul C se fixează 0,5 volți față de sursă. De aici încolo, proces-

sele se petrec ca și cum circuitele de temporizare n-ar mai exista. Rolul lor s-a terminat până la o nouă deconectare, respectiv conectare la sursă.

Diada D_2 asigură protecția etajului final la supratensiune generată prin autoinducție în bobina releului R_0 .

Pentru protecția la scurtcircuit a lui T_{11} se prevede grupul R_{12} , R_{13} , R_{14} și T_{12} . Prin dimensionarea corespunzătoare a rezistenței R_{12} curentul de colector a lui T_{11} se limitează la valoarea $I_{C11} = 1,5 \text{ A}$, acesta fiind curentul de prag la care acționează protecția.

6.2.3. Considerații privind blocul oscilator

Condițiile pe care trebuie să le îndeplinească oscilatorul sînt următoarele:

- a) Să fie de tip LC.
- b) Să lucreze la frecvențe medii, așa încît pierderile prin efecte nedorite, cum ar fi:
 - radiația prin cîmp electromagnetic
 - efectul pelicular.
 - efect Joule
 - soldarea cîștigului de curent cu frecvența la dispozitivele semi-conductoare,

să fie minime, așa încît pierderile utile ce apar în piesa metalică de acționat să poată fi diferențiate și deci ușor de exploatat.

- c) Să fie stabil, mai ales în ceea ce privește amplitudinea oscilațiilor.

- d) Amorsarea oscilațiilor să se facă ferm și rapid la conectarea sursei de alimentare, la fel dezamorsarea la apariția obiectului metalic în fața bobinei.

O concluzie atât teoretică, cît și verificată experimental este că principiul dezamorsării exploatează favorabil pierderile ce au loc în circuitul oscilant LC la apariția metalului.

Într-un circuit oscilant LC defazație, pentru care factorul de calitate Q_0 se scrie:

$$Q_0 = \frac{\omega_0 L}{r} \quad (6.1)$$

unde:

ω_0 = pulsația de rezonanță

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (6.2)$$

Cu: L = inductivitatea bobinei;

C = capacitatea condensatorului oscilatorului;

r = rezistența echivalentă de pierdere serie în curent alternativ.

Pentru asigurarea lui Q_0 cât mai mare la pulsația de rezonanță în-
pună, este necesar ca:

- L să fie cât mai mare, ceea ce se obține folosind un miez de fe-
rită și număr mare de spire.

- Utilizând ferita E 55 de fabricație românească (Urziceni) cu
 $A_L = 5500 \text{ nH/s}^2$, dat de catalog în condițiile de închidere a miezului cu un
 L , se poate scrie:

$$L = A_L \cdot N^2; \quad N = \text{numărul de spire al bobinei.} \quad (6.3)$$

Tinând cont de faptul că miezul E - 55 va lucra în aplicația de față
cu cimp deschis, este de așteptat ca L să scadă substanțial la același număr
de spire.

- Rezistența echivalentă serie r să fie cât mai mică.

Utilizând pentru bobina primară a Tr sârmă CuLa ϕ 0,1, pentru care
rezistența specifică în curent alternativ este $R_s = 0,22 \Omega/\text{cm}$, condiția men-
ționată mai sus poate fi satisfăcută prin asocierea unui anumit număr de fire
 n în paralel:

$$r = \frac{R_s \cdot l}{n} \quad (6.4)$$

unde:

l = lungimea unui fir de cupru;

n = numărul de fire asociate în paralel într-un minunchi.

De remarcat că nu s-a folosit pentru bobinarea primarului Tr un sin-
gur fir gros, ci mai multe fire subțiri legate în paralel, pentru a preîntâ-
pina astfel efectul pelicular care ar duce la o creștere a lui r în curent
alternativ, deci la o scădere substanțială a factorului de calitate Q_0 .

Dacă se impune $r = 0,5 \Omega$ și $l = 5 \text{ m}$, rezultă $n = 150$.

În aceste condiții, inductivitatea măsurată este $0,3 \text{ mH}$.

Alegând frecvența de oscilație $f_0 = 100 \text{ KHz}$, va rezulta:

$$Q_0 = \frac{2\pi f_0 \cdot L}{r} = \frac{6,28 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3}}{0,5} = 377 \quad (6.5)$$

Din condiția de rezonanță rezultă:

$$C_1 = \frac{1}{4\pi^2 \cdot f_0^2 \cdot L} = \frac{1}{4\pi^2 (100 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3}} = 8,44 \text{ nF} \quad (6.6)$$

Alegem pe $C_1 = 8,25 \text{ nF}$, 2,5%, policarbonat metalizat sau polisti-
ren cu folie de staniu pentru a asigura pierderi cât mai mici.

Se remarcă faptul că polarizarea cu generator de curent constant
(transistorul T_3) rezolvă următoarele probleme:

1. Circuitul rezonant este foarte slab încărcat de circuitul de po-
larizare.
2. Se asigură o impedanță de intrare în repetorul T_1 foarte mare.

3. Stabilizează amplitudinea oscilațiilor la valoarea dorită, putându-se astfel regla eficiența sesizorului, reglând pe I_0 , adică acționând asupra rezistenței semireglabile R_2 .

Transistorul T_3 lucrează în regim de generator de curent constant prin intermediul diodei Zenner DZ_1 .

6.2.4. Experimentări, forme de undă, reglaje

Realizarea transformatorului Tr decurge în felul următor:

- pe un miez de ferită 50, pentru care s-a construit în prealabil o carcasă din carton electrotehnic sau alt dielectric cu pierderi mici, se bobinează cele 150 de fire cu ϕ 0,1 CuEn, răsurite împreună, având lungimea cablului răsucit 5 m; vor rezulta în total aproximativ 16 spire.

Capetele se dezizolează cu un decapant, iar firele fiecărui capăt se lipesc împreună. Se bobinează apoi secundarul care se constituie din 30 de spire din sîrmă CuEn ϕ 0,2.

Se introduce carcasa pe miez, acesta rămînînd deschis (se utilizează doar partea B din miez).

Traductorul realizat cu componentele rezultate din calcul este prezentat în fig. 46 și va fi experimentat după cum urmează:

Utilizînd osciloscopul, se reglează curentul I_0 cu R_2 semireglabil, astfel încît distanța la care traductorul sesizează prezența obiectului metalic să fie 5 cm. Se testează:

- stabilitatea amplitudinii oscilațiilor.
- stabilirea potențialului în punctul C la variația tensiunii de alimentare.

Experimental se constată că dispozitivul își menține nemodificați parametrii de funcționare pentru tensiunea de alimentare ce variază între 20 - 45 V, deci nu este necesar ca tensiunea de alimentare a traductorului să fie stabilizată.

Curentul absorbit de la sursele de alimentare +Vcc depinde de tipul releului Re utilizat. Astfel, în situația în care schema, alimentată la tensiunea 24 Vcc, determină anclanșarea în prezența unui obiect metalic a unui releu RI -3T ($t_{anclanșare} = 30$ ms., $U_{bobină} = 24$ Vcc, temperatură la declanșare reglabilă 0 - 5s) curentul absorbit are valoarea $I_B = 300$ mA. Distanța maximă la care traductorul sesizează prezența unui obiect metalic deasupra sa, determinînd anclanșarea releului Re (ape numita eficiență maximă a traductorului) este de 8 cm. Re este însă indicată utilizarea traductorului la această eficiență, deoarece oscilatorul în acest caz se află la limita sa de oscilație și există oricînd riscul de a ieși singur din oscilație în absența celui-lui; prezintă suplimentar dezavantajul unei anclanșări dificile. Se dau în

fig. 47 Formele de undă obținute la osciloscop în punctele menționate pe schema de principiu, pentru o tensiune de alimentare de 24 V și o eficiență (distanță de sesizare a obiectului metalic) de 5 cm.

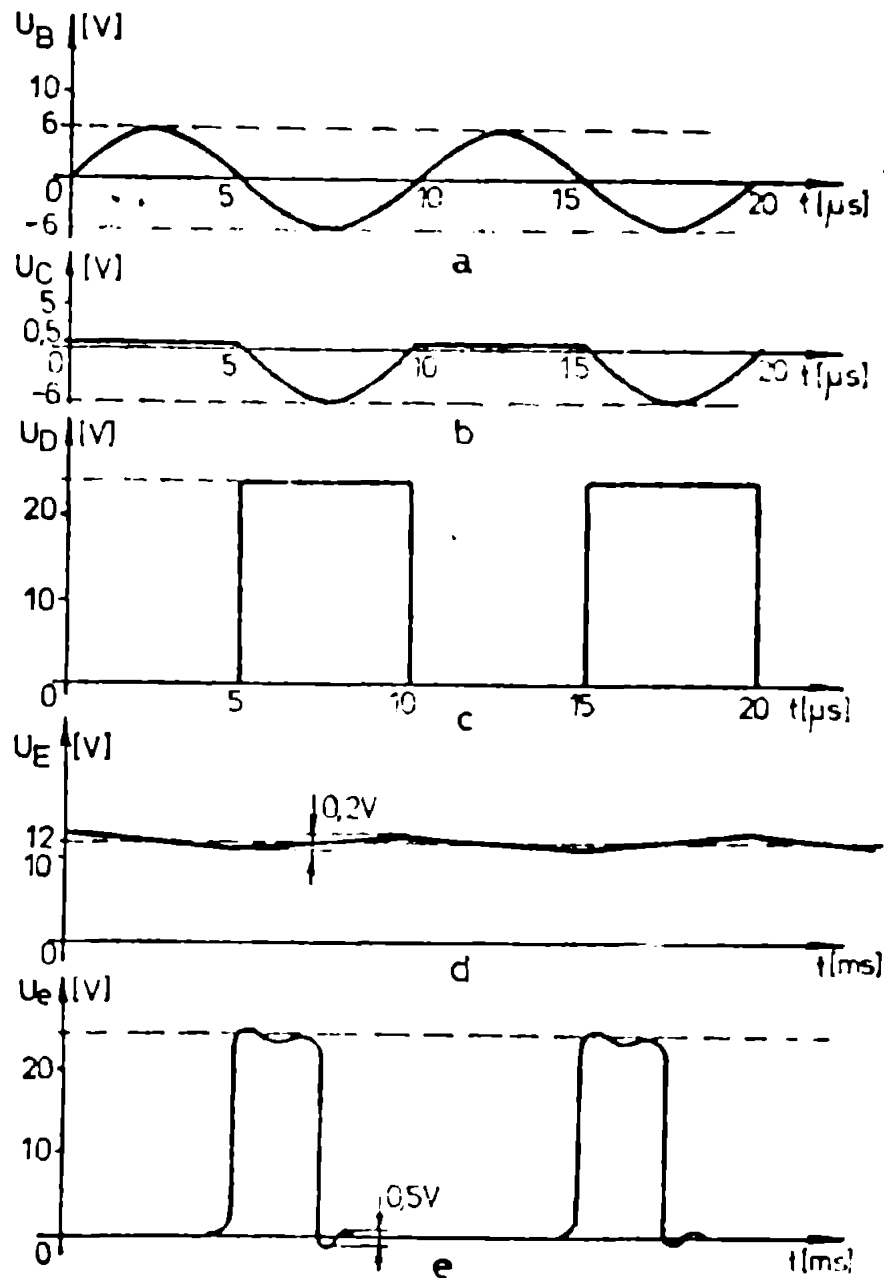


Fig. 47. Formele de undă vizualizate experimental în diferitele puncte funcționale ale traductorului de proximitate.

În fig. 47 s-au prezentat:

- oscilațiile sinusoidale de amplitudine stabilizată (6V, reflată la această valoare prin curentul I_0 stabilit prin potențiometrul scrireglabil R_2) și frecvență de 100 kHz, sunt vizualizate prin redarea variației tensiunii în punctul B ($U_B = f(t)$, fig. 47, a).

- variația tensiunii în punctul C (baza tranzistorului T_9) se prezintă în fig. 47 b), remarcându-se faptul că pe calea RZ_2 deschis- T_{11} saturat- D_1 - T_7 saturat, potențialul în C se fixează la 0,5 V, semnalturnantele pozitive ale oscilațiilor fiind astfel complet limitate (max. -0,5 V), cele negative ajungând pe baza lui T_9 și determinând, pe toată durata lor, saturarea lui T_9 .

- prin saturarea lui T_9 , semialternanțele negative de pe baza acestuia sînt formate în impuls în colectorul său, rezultînd impulsuri cu amplitudinea de 24 V (fig. 47, c).

- grupul $R_{10} - C_4$ realizează prin integrare componenta continuă a trenului de impulsuri din colectorul lui T_9 . Rezultă un nivel de tensiune avînd valoarea medie de aprox. (fig.47, d) 12 V. Pulsațiile relativ mici (0,2V) ale acestei tensiuni pe condensatorul C_4 nu deranjează, deoarece dispozitivul este conceput să acționeze doar la dispariția totală a oscilațiilor, adică la amplarea completă a nivelului de 12 V.

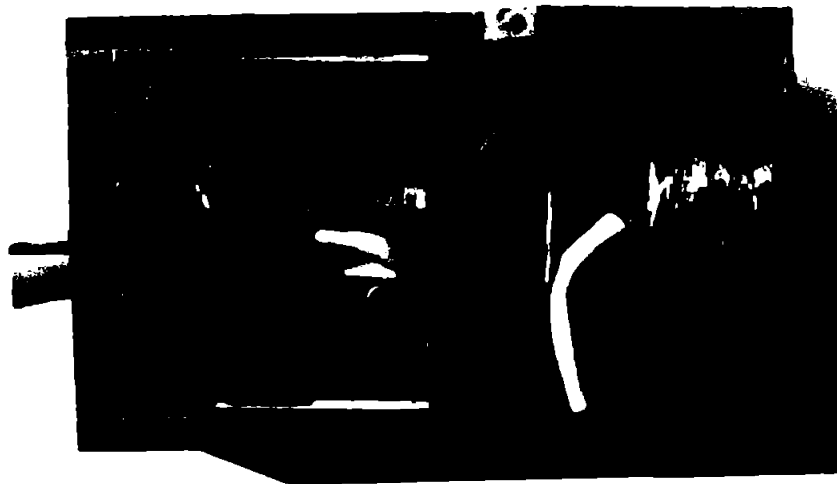


Fig. 46. Traductorul de proximitate inductiv cu eficiență maximă 6 cm.

Testarea traductorului în regim de lucru repetitiv se face astfel:

- se înlocuiește releul cu o rezistență de $100 \Omega / 10 \text{ W}$.
- se utilizează un disc prevăzut cu 2 bucăți metalice plasate diametral, care se rotește cu o viteză variabilă.
- se oscilografiază tensiunea pe rezistența de $100 \Omega / 10 \text{ W}$, determinîndu-se frecvența maximă la care poate senzorul să mai răspundă. Aceasta a fost măsurată și este de aprox. 800 scizări/sec. Impulsurile furnizate de traductor (U_0) avînd această frecvență, respectiv amplitudinea de 24 V, se vizualizează în fig. 46 c).

Traductorul realizat este suficient de rapid pentru a putea fi utilizat în contextul elementelor de automatizare caracteristice sistemului de transport cu tremuri de vagoneti acționați cu motoare liniare. Astfel, folosindu-l ca element senzor al oscililor unor vagoneti ce se deplasează cu o viteză maximă de 7,5 m/s intrînd în structura traductorului liniar deviteză ce se va prezenta în cele ce urmează, traductorul de proximitate realizat trebuie să răspundă la o frecvență de: $f = 1/T = 7,5/1,5 = 5$ scizări/s, unde $1,5$ m reprezintă spațiul vagonetilor ecarterament 600 mm.

6.8.5. Eficiența economică și concluzii

Dispozitivul prezentat este de concepție românească și este executat în întregime cu dispozitive electronice și tehnologie românești. O evaluare a prețului de cost unitar duce la concluzia că elementul cel mai costisitor al dispozitivului este bobina. De aceea se poate concepe o anumită tehnologie de încapsulare, care să permită recuperarea bobinei după epuizarea numărului de ore de funcționare date la analiza fiabilității. Se evaluează prețul de cost al dispozitivului, luând în considerare numai materialele folosite, la aprox. 200 lei/luc.

Traductorul de proximitate analizat prezintă o serie de performanțe care, sintetizate, sînt următoarele:

- Gama temperaturilor de lucru este între -25°C și 60°C , avînd parametri stabili, ce nu depind de temperatură.
- Tensiunea de alimentare nestabilizată, între 20 și 45 V.
- Eficiență reglabilă după necesități între 2 și 6 cm.
- Protecție la inversarea tensiunii de alimentare, protecție la scurt-circuit, temporizare și blocare pe perioada proceselor tranzitorii ce au loc la conectarea sursei de alimentare.
- Curent de sarcină maxim 1,5 A.
- Consum redus de putere.
- Circuitul este conceput astfel încît, printr-o reajustare a valorilor rezistențelor, să poată fi integrat, din capsulă fiind scoase doar bornele de alimentare, cea ce comandă, bobina senzor și cele două capacități de valori mari.

6.9. Traductorul liniar de viteză

Datorită complexității sistemului de transport cu mai multe trenuri, unde trebuie urmărită precizie deplasării fiecărui tren, asigurarea spațiului de siguranță dintre trenuri, reglarea vitezei fiecărui tren în funcție de acest spațiu, precum și de zona trasoului în care se află (în zona de încărcare sau descărcare, unde vitezele sînt mici, sau în zona transportului pe magistrală, unde viteza este mare), comanda cuplării selective a motoarelor liniare pentru asigurarea diagramei de mers, comanda cuplării unor organe de execuție (macaz), etc, măsurarea vitezei trenului constituie un element de maximă importanță.

Traductorul liniar de viteză prezentat și prezentat funcționează pe principiul transformării vitezei, a căreia necelctrică, într-o sursă electrică, și anume un cod de impulsuri, proporțiv nivel de tensiune proporțional cu viteza. După obținerea acestui semnal, el este prelucrat mai departe și transformat pînă cînd poate acționa asupra unui element de execuție.

Traductorul liniar de viteză trebuie să satisfacă 2 cerințe impor-

11

1. Elementul senzitor al deplasării trenului să fie traductorul de proximitate descris anterior, care este fix, de-a lungul căii de rulare, numai în locurile unde trebuie cunoscută și reglată cu precizie viteza trenului. Astfel, traductorul de viteză trebuie să poată fi cuplat cu traductorul de proximitate.

2. Informațiile proporționale cu viteza, furnizate de traductor, să fie atât analogice, cât și numerice, aceasta din urmă fiind necesară pentru prelucrarea informațiilor furnizate de traductor prin sistem de comandă al trenului prin microprocesor.

6.3.1. Principiul de funcționare, schema bloc.

Funcționarea principală a traductorului liniar de viteză este următoarea:

În momentul trecerii osii unui vagonet deasupra traductorului de proximitate (elementul senzitor), acesta își modifică parametrii circuitului logic și comandă blocarea unui tranzistor, deci apare o tensiune. Aceasta persistă pe toată durata trecerii osii. Lățimea osii fiind foarte mică, relativ cu distanța dintre 2 osi succesive (6 cm față de 1,5 m), tensiunea care apare are forma unui impuls.

Așadar, la trecerea trenului de vagoneti deasupra traductorului de proximitate, se obține un tren de impulsuri. Dacă trenul are o viteză mare, numărul de impulsuri în unitatea de timp va fi de asemenea mare, iar durata paunei dintre impulsuri va fi mică. Dacă trenul are viteză mică, numărul de impulsuri în unitatea de timp este mic și durata paunei dintre impulsuri este mare.

Se observă deci că durata paunei dintre două impulsuri generate de osi succesive este o mărime variabilă, invers proporțională cu viteza. De asemenea și durata impulsului generat de osi va fi variabilă, dar având în vedere diferența foarte mare dintre lățimea osii și distanța dintre 2 osi (500 mm față de 60 mm), variația duratei impulsului osii o putem neglija.

Măsurând deci mărimea paunei dintre 2 impulsuri succesive, se obține o informație proporțională cu viteza de rulare a trenului.

Schema bloc a traductorului de viteză este prezentată în fig. 48, care: T = traductor de proximitate; I = inversor; G.T. = generator de tact; R = poartă "SI"; N = numărător.

Diagrama de impulsuri este prezentată în fig. 49.

Señalul primit de la traductorul de proximitate e un semnal logic, având nivelele de "0" logic când nu trece trenul, și "1" logic când în porțiunea dintre 2 vagoneti consecutive, și "1" logic când deasupra traductorului trece oia unui

vagonet. Așadar, între două treceri succesive ale osiilor prin dreptul lui T , deci între 2 impulsuri generate de acesta, nivelul se menține "0" și acest nivel se inversează și se aplică la intrarea unei porți "SI". Pe cealaltă intrare a porții se aplică impulsuri de excitație furnizate de generatorul de tact G.T., care are $f > f_{max}$ osii. Așadar, la ieșirea porții "SI" obținem un număr de impulsuri proporțional cu durata dintre 2 treceri succesive ale osiilor, adică proporțional cu viteza medie a trenului pe intervalul dintre 2 osii. Având în vedere inerția mare a întregului tren, viteza de trecere a 2 osii consecutive prin fața traductorului de proximitate variază foarte puțin la trecerea completă a trenului, putându-se considera pe toată durata trecerii prin dreptul traductorului de proximitate $V_{tren} = ct.$

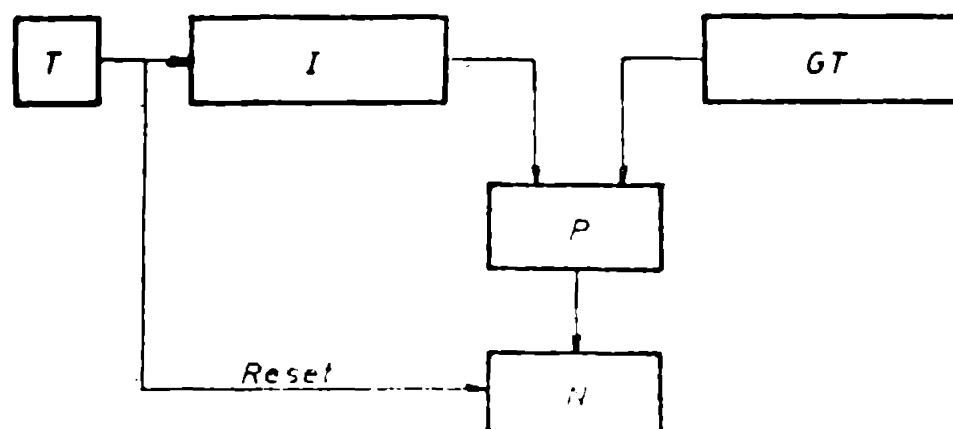


Fig. 48 Schema bloc a traductorului de viteză

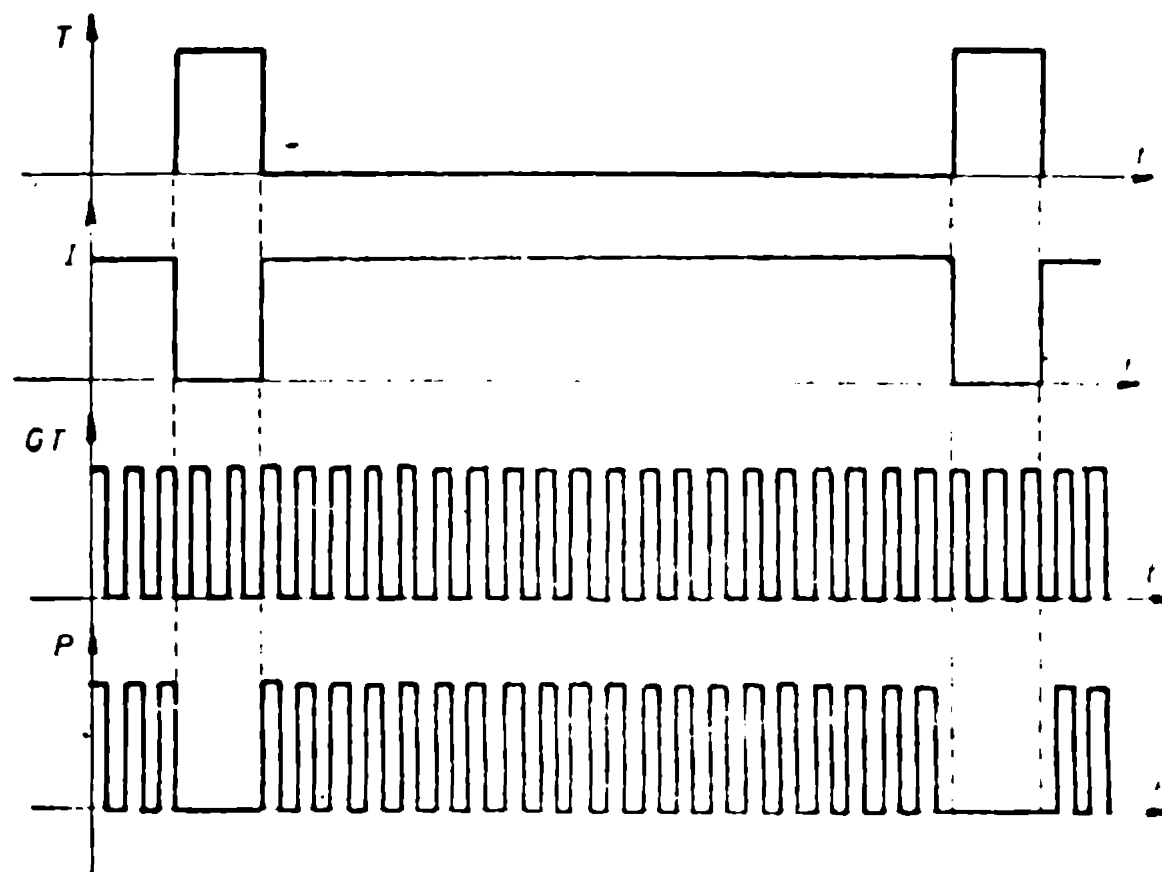


Fig. 49 Diagrama de impulsuri la traductorul de viteză prezentat

Urmează numărarea impulsurilor, operație făcută cu ajutorul unui numărator, la ieșirea cărui se obține, în cod binar, expresia numerică a vitezei trenului.

Această informație trebuie folosită pentru reglarea vitezei trenului la valoarea impusă. De aceea, cu un convertor numeric - analogic, informația numerică este transformată într-un nivel de tensiune U_{CNA} , care se compară cu o tensiune de referință U_p , proporțională cu viteza prescrisă.

Dacă $U_{CNA} > U_p$, înseamnă că durata de timp dintre 2 osii succesive este prea mare, deci viteza trenului este mai mică decât cea prescrisă, un element de execuție EE trebuie să comande cuplarea unui anumit număr de motoare liniare pentru mărirea vitezei trenului la valoarea impusă, pe porțiunea respectivă a traseului.

Dacă $U_{CNA} < U_p$, înseamnă că viteza trenului este prea mare și elementul de execuție trebuie să comande cuplarea motoarelor în regim de frână pentru micșorarea acestei viteze.

Schema se prezintă în fig. 50.

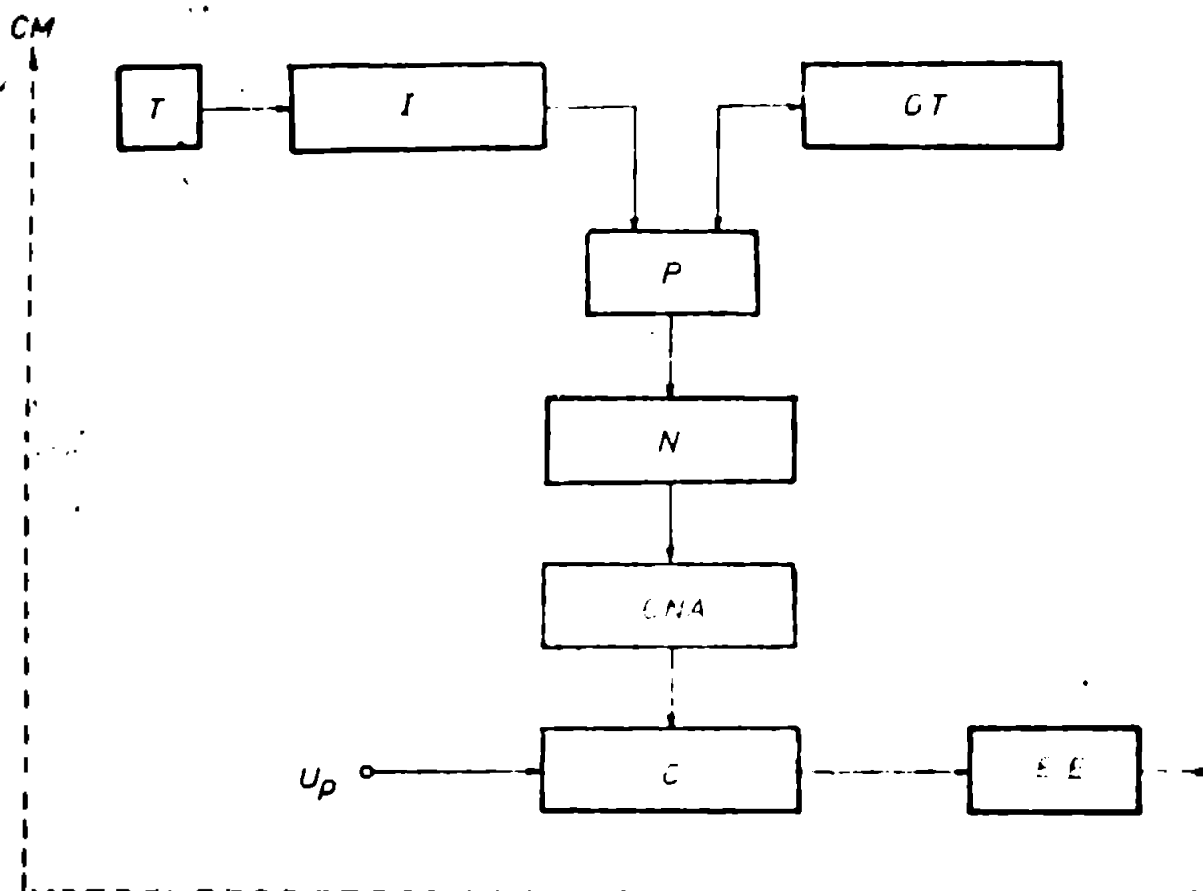


Fig. 50 Prelucrarea informației analogice proporționale cu viteza, în vederea cuplării selective a elementelor de execuție.

care; CNA = convertor numeric analogic; C = comparator; EE = element de execuție; CM = comandă motoare. Semnificația celorlalte blocuri e prezentată în fig. 48.

6.3.2. Realizarea practică

Circuitul inversor a fost realizat cu ajutorul a două porți NAND dintr-un circuit integrat CDB 400.

În calitate de generator de tact G.T., s-a folosit un circuit basculant stabil simetric, cu cuplaj colector - bază, prezentat în fig. 51.

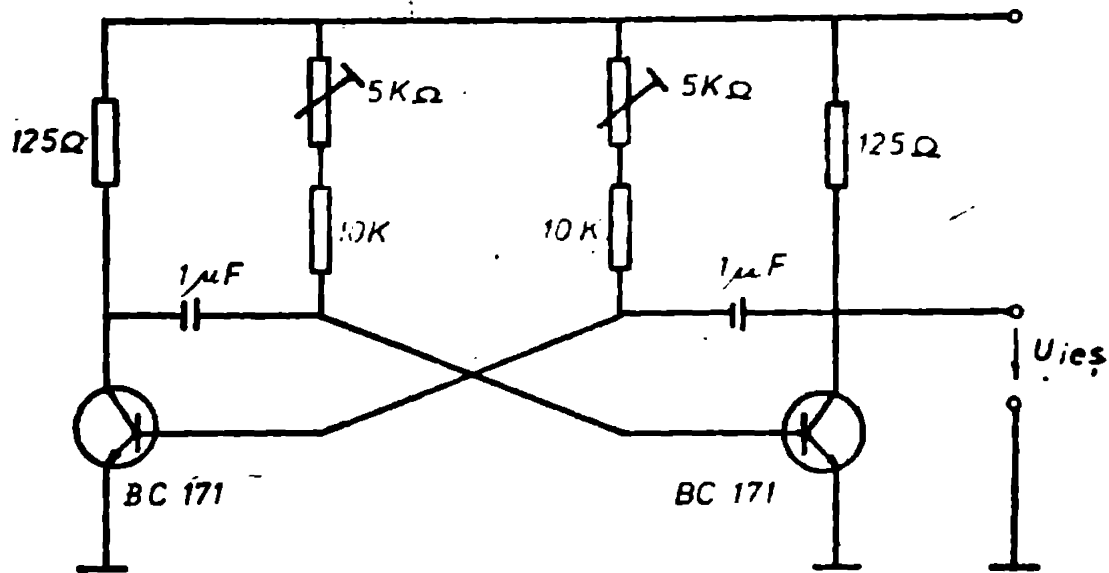
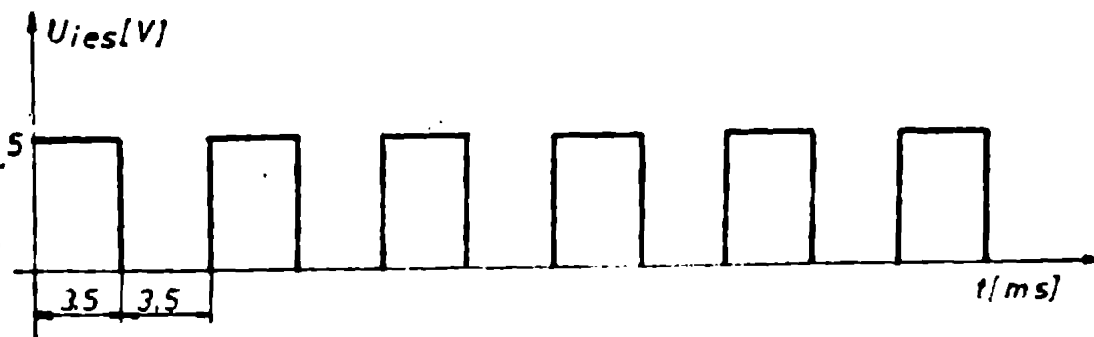


Fig. 51. Schema generatorului de tact a traductorului de viteză
Cu acest circuit s-a obținut diagrama de impulsuri din fig. 52.



52
Fig. Diagrama impulsurilor furnizate de G.T.

Aceste impulsuri de esantioane date de generatorul de tact între două osii succesive urmează să fie numărate de numărătorul binar natural alcătuit din două circuite integrate CDB 493, legate între ele ca în fig. 53.

Această modalitate de conectare a fost impusă de capacitatea maximă de numărare pe care trebuie să o asigure numărătorul, adică de numărul maxim de impulsuri de esantionare corespunzătoare vitezei minime a trenului. Ținând cont de viteza minimă pe care trebuie să-o aibă trenul în stația de încărcare (2m/s), de lățimea osiei (60 m în cazul trenului de vagoneti ecartament 600 mm), ampatamentul $a = 1500$ mm, s-a putut evalua durata pauselor dintre două impulsuri succesive la trecerea trenului deasupra traductorului de proximitate cu viteză minimă ($t_p = 750$ ms). Cunooscându-se perioada generato-

ului de tact $T = 7$ ms, s-a putut calcula numărul maxim de impulsuri ce va fi măsurat de numărător: $N = 107$ impulsuri, corespunzătoare vitezei minime. Aceste impulsuri, pentru a fi numărate în cod binar, impun o capacitate de 7 biți numărătorului, capacitate care rezultă prin conectarea celor două capete după modul prezentat în figură.

Referitor la problema vitezei minime admise a trenului, la care capacitatea maximă de numărare a celor două numărătoare să nu fie depășită, se menționează următoarele:

- traductoarele de viteză concepute în varianta propusă se montează în zone ale trasoului unde trenul este în mișcare, viteza acestuia trebuind să se încadreze strict în domeniile impuse (20/s în stația de încărcare, 10/s înainte de intrarea în stația de descărcare). Orice abatere de la aceste valori prescrise este corectată de traductorul de viteză cu ajutorul sistemului comparator - element de execuție - comandă motor prezentat anterior. Oprirea trenului în aceste zone, deci necesitatea unei reporniri, nu poate fi decât accidentală (căderea rețelei de alimentare, ruperea cuplajului dintre wagoneti, scoaterea din funcțiune a unui sau mai multor grupuri de propulsie succesive, etc.). Oricare din situațiile susamintite determină imediat decuplarea alimentării generale a sistemului de transport și apariția unui semnal de avarie la camera dispecer.

- în situația în care, totuși, trenul ar avea tendința să se oprească în aceste zone, la o viteză a trenului apropiată de $V_{min} = 0,075$ m/s, secvența de numărare rezultată va determina la ieșirile numărătorului o informație numerică (stări logice 0-1) care, printr-un sistem simplu decodificator-comparator, vor determina decuplarea generală a sistemului de alimentare.

- în situația în care trenul s-a oprit accidental chiar deasupra traductorului de viteză și la repornire viteza V_{min} s-ar atinge după un interval oarecare de timp, ceea ce ar determina depășirea capacității de numărare a numărătoarelor, această poziție a trenului e vizualizată pe panoul sinoptic din camera dispecer. Problema este rezolvată astfel: se decuplează alimentarea traductorului de viteză, se schimbă sensul cimpului magnetic alunechitor la câteva grupuri de propulsie liniară din zona respectivă, obligând trenul să se deplaseze în sens invers, pînă la oprirea, rapid de traductorul de viteză, a unui spațiu de accelerare corespunzător, urmiind apoi recuplarea în stare inițială a motoarelor de propulsie și a alimentării traductorului. Astfel, trenul se poate accelera pînă la o viteză apropiată de cea prescrisă în zona respectivă.

În cazul vitezei minime de 2 m/s a trenului, caracteristică acestei aplicații a traductorului, numărului $N = 107$ impulsuri corespunde o secvență de numărare care face cu ieșirile numărătorului să aibă stările:

a_8	a_7	a_6	a_5	a_4	a_3	a_2	a_1
0	1	1	0	1	0	1	1

Această informație proporțională cu viteza tremului, obținută la ieșirea numărătorului în cod binar, urmează să fie convertită într-un nivel de tensiune printr-un convertor numeric - analogic cu rețea R - 2R.

În principiu, un convertor numeric analogic cu conversie directă conține o sursă de semnal de referință, o rețea rezistivă și o sursă de comutare (așa numitele chei) care conectează referința la rețeaua rezistivă în funcție de codul aplicat.

Ca elemente esențiale ale convertorului numeric - analogic, cheile de comutare trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- viteza mare de comutare;
 - izolare bună între semnalul numeric de comutație și porțiunea analogică a circuitului;
 - curenții în stare blocată a comutatorului să fie neglijabili.
- Aceste chei se realizează împreună cu generatoarele de curent care debitează curenții ponderați în rețea.

O variantă de realizare a cheilor și a generatoarelor de curent se prezintă în fig. 54.

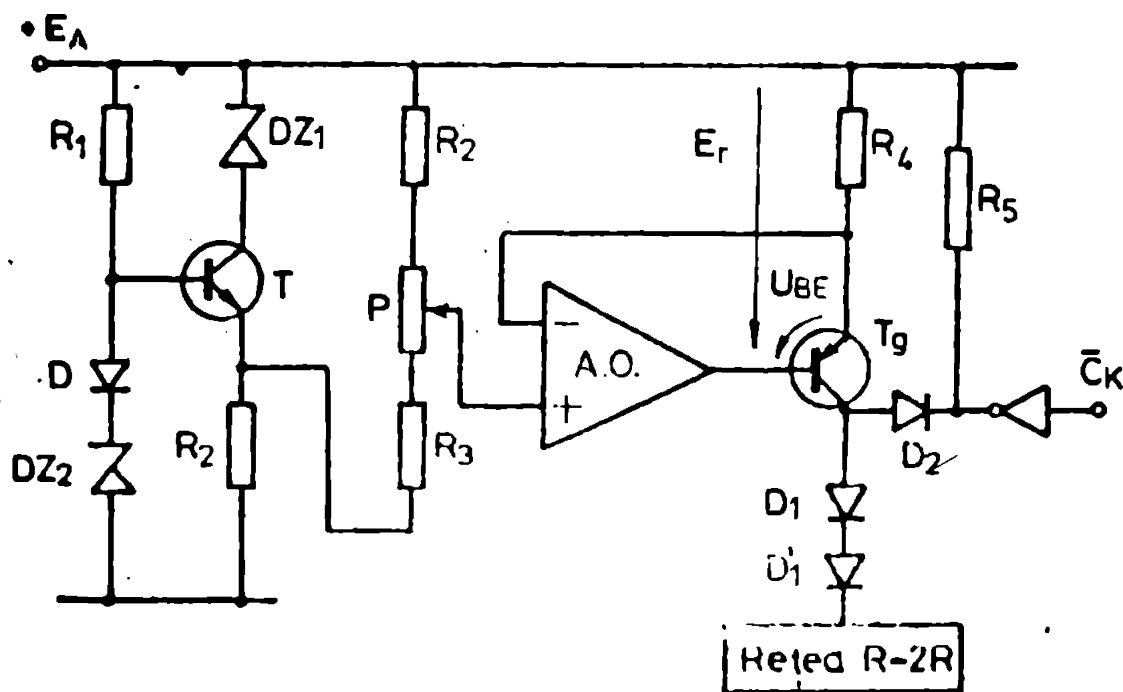


Fig. 54. Variantă de realizare a cheilor și generatoarelor de curent ale convertorului numeric - analogic

Aplicând la intrarea C_k un semnal 0, dioda D_2 se blochează, transistorul T_g intră în conducție și debitează un curent stabilizat în rețeaua R-2R. Dacă la intrarea C_k semnalul este 1, dioda D_2 intră în conducție și generatorul de curent nu debitează curent în rețeaua rezistivă.

În fig. 55 se prezintă și sursa - referință de tensiune a convertorului, de a cărei realizare depinde în mare măsură precizia conversiei. Aceasta debitează în rețeaua rezistivă un curent constant, a cărui valoare

poate regla prin potențiometrul P. Amplificatorul operațional AO de tip 741 are rol de amplificator de eroare, având cuprinsă în bucla de reacție tensiunea bază-emitor a tranzistorului T_g din generatorul de curent. Astfel micșină variațiile de curent ce ar fi cauzate de variațiile de temperatură lui U_{BE} în felul următor: dacă tensiunea de referință E_g are tendința de a crește (crește rezistența joncțiunii E - B a lui T_g din cauza creșterii temperaturii, deci crește U_{BE}), tensiunea de la intrarea inversoare a lui AO crește, tensiunea la ieșirea acestuia scade, deci prin joncțiunea E-F micșină intensitatea I_g rezultă o scădere a lui E_g. Acest lucru se menține astfel riguros constant, determinând astfel menținerea unui curent constant ce va fi repartizat pe cei R-2R prin cheile comutatoare.

În ceea ce privește rețeaua de rezistențe de decodificare, este o rețea de tip R-2R, deci o rețea care include doar două valori ale rezistențelor. Aceasta deoarece precizia convertorului este cu atât mai mare cu cât numărul valorilor de rezistențe din rețea este mai mic. Însușirea curentilor de punctori fiecărui rang duce la obținerea unei tensiuni la ieșirea elementului sumator al convertorului, proporțională cu codul binar aplicat la intrare. În schema realizată a convertorului, ca sumator se folosește un amplificator operațional.

Tensiunea maximă la ieșirea convertorului numeric analogic U_e se obține dacă toate cheile C_k sînt la nivel de tensiune logic (cele două mullare complet încărcate, foarte aproape de V_{cc} și la admisibil tron). Iarna valoarea maximă a tensiunii U_e: U_e = 5 V, se poate obține cuanta de tensiune U_y obținută din contribuția fiecărui rang binar: U_y = 19,29 mV. Se poate calcula curentul debitat prin fiecare cheie de comutare: I_k = 3,169 mA. În asemenea, se pot calcula valorile rezistențelor ce intră în componența rețelei R-2R: 1K = 2K.

Schema completă a convertorului numeric - analogic realizat se prezintă în fig. 55.

Sintetic, funcționarea acestui convertor este următoarea: la intrarea pe C_k, unde k = 1-8, ale convertorului, ieșirile mullare devin stabilesc, în nivel binar, o informație numerică (pe 8 biți), proporțională cu viteza de tranziție. Conform descrierii principiului de funcționare al cheilor de comutare (vezi fig. 54), vor debita curent constant în rețeaua rezistivă R-2R numai acele tranzistoare T_{gk} care prezintă în colector (pe intrarea de rang k) semnal logic 1. Acest semnal blochează diodele D₂ și determină curentul constant furnizat de generator să intre în rețeaua rezistențelor de decodificare. Cunoscându-se poziția bitilor cu nivel 1 L din informația numerică înscrisă la intrarea convertorului, rezultă imediat cheile de comutare ce se deschid, rezistențele active ale rețelei rezistive de decodificare, prin suma contribuției fiecărui rang la stabilirea valorii rezistențelor de decodificare. Astfel, pentru a realiza o tensiune U_e = n · U_y (n = numărul cunților de

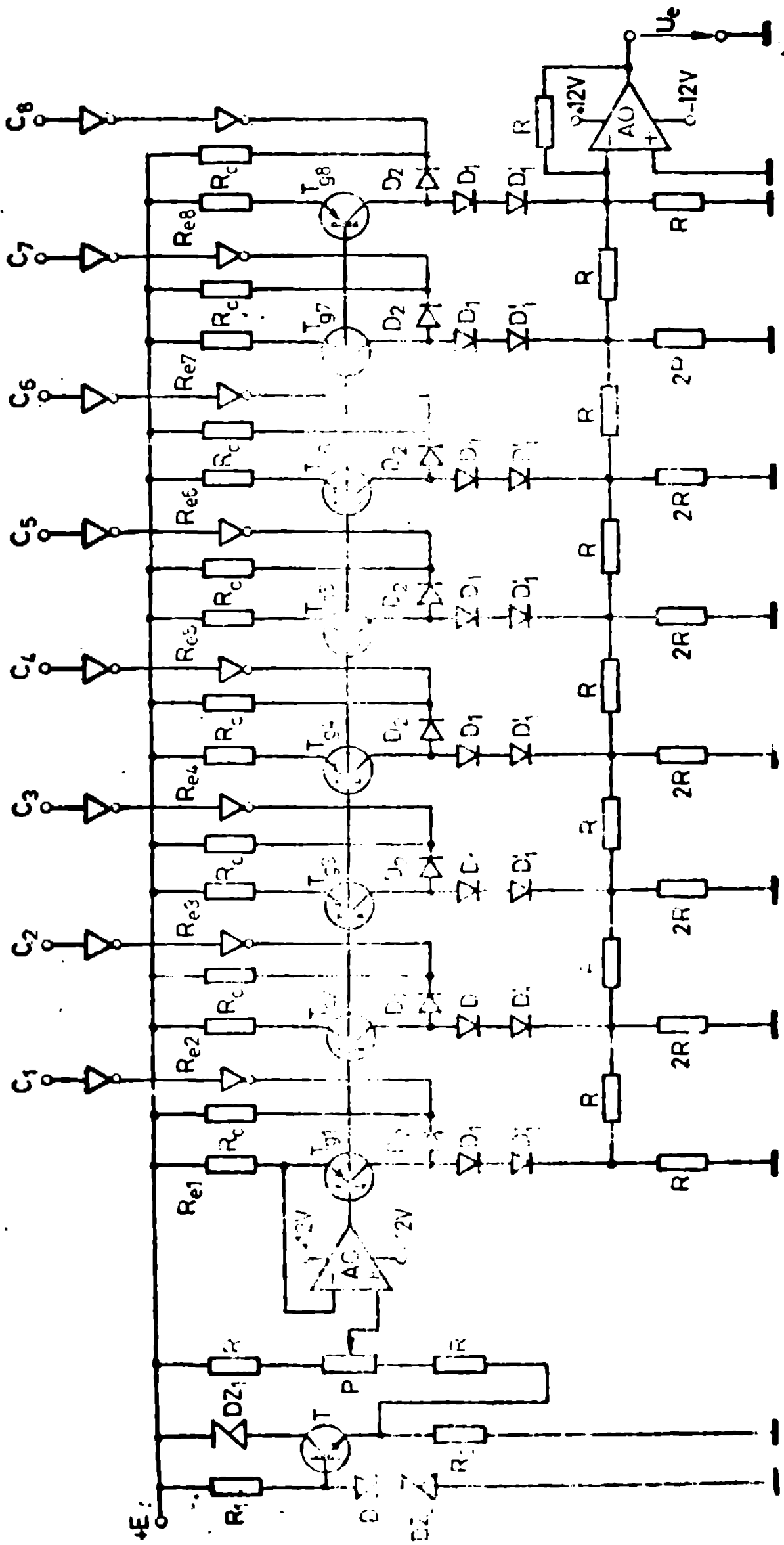


FIG. 55 SCHEMA CONVERTORULUI NUMERIC ANLOGIC CU REZISTORII R-2R

tensiune a rangurilor active este amplificatorul operațional de la ieșirea convertorului (AO_1), acesta realizând și o amplificarea corespunzătoare a semnalului sursă de la intrarea sa.

În situația în care viteza prezentă a trenului într-o anumită secțiune a traseului, convertită într-un anumit nivel de tensiune, nu coincide cu viteza sa reală, exprimată prin nivelul de tensiune efectiv de la ieșirea convertorului numeric-analogic, pentru respectarea diagramelor de viteză calculate, trenul trebuie accelerat sau frânat pentru ca viteza sa să se încadreze în limitele prevăzute.

Rolul de comandă este deosebit de important în activitatea de control a nivelurilor de tensiune, efectiv și prezente, și de comandă a elementelor de execuție când cele două semnale nu coincid, în ambele direcții de circulație. În rîndul lor, organele de execuție (de obicei roțile intermediare) pot ecua funcționarea motoarelor liniare și elemente de accelerare sau frinare ale trenului.

Blocul comparator este un circuit integrat de tip CMOS 2711 (care constă de fapt din două comparatoare ale căror ieșiri intră într-o porțită "SAU"), două porți "SI" care primesc semnal de la traductoarele de poziție în funcție de prezența sau absența trenului și un inversor. Prescripția se face prin stabilirea cu ajutorul unui potențiometrul a nivelului U_p corespunzător vitezei prescrise (de ex. U_p pentru $v = 2 \text{ m/s}$).

Situația în care deasupra traductorului circula tren având o viteză mai mică decît cea prescrisă este reprezentată în fig. 56.

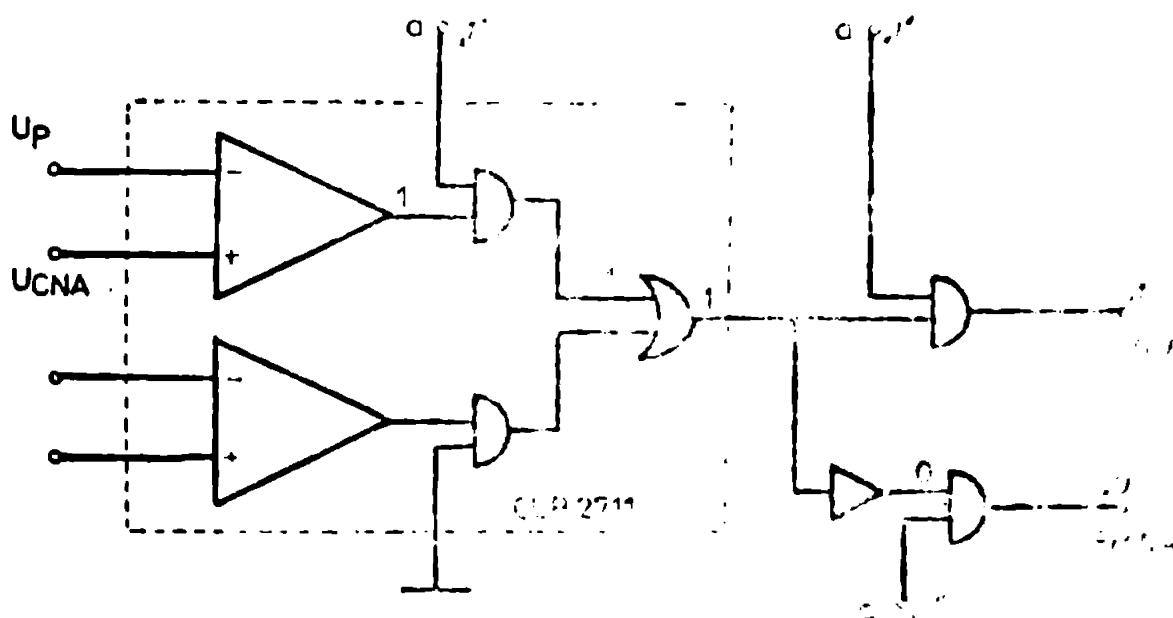


Fig. 56. Cuplarea prin interjecții în cazul comparator, a unui element de execuție (1) în regim de lucru, când viteza trenului e mai mică decît cea prescrisă.

În acest caz trebuie cuplat un anumit număr de roți de comandă liniare

aducerea tremului la viteza prezenta. In intrările rotato cu "a" va apărea, datorită prezentei tremului, un semnal de tip "1" primit de la traductorul de proximitate (proximitate).

Tensiunea primită de la convertorul numeric - logic va fi mai mare decât tensiunea de prescriere U_2 , deci intrarea de intratorului se va afla la starea "1" logic. Acesta, împreună cu semnalul de tip logic furnizat de traductorul de proximitate, prin interacțiunea portii "1", va genera cuplarea celor două linii care vor accelera tremul până la viteza prezenta.

La verificarea teoriei de funcționare a sistemului de funcționare trebuie să se țină cont de faptul că amplitudinea semnelor de intrare este foarte mică, de ordinul milivoltilor, frecvența acestora fiind mult mai mare decât cea de referință bazată de timp de care dispune osciloscopul. În acest scop au fost realizate două dispozitive furnizate de traductoarele de proximitate care sesizează osile vagonetelor, a căror frecvență variază în domeniile $0,05 - 0,7$ sciz/n, corespunzător unui domeniu de viteze $V = 0,075 - 4$ m/s. Din acest motiv, pentru ca buna funcționare a schemei să poată fi verificată și evidențiată, s-a multiplicat frecvența taturilor impulsurilor de 100 de ori, rugă în care s-a putut fotografia oscilogrammele și s-au putut trage concluzii privind funcționarea traductorului.

În calitate de generator de tact s-a utilizat un generator de impulsuri tip P.C.P.5, la care s-a fixat frecvența impulsurilor la $14,2$ kHz (70 Hz), mult de 100 de ori mai mare decât cea a generatorului de tact realizat la instalația experimentală. Semnalele corecte emițtoare osilor vagonetelor, furnizate de traductorul de proximitate, dar multiplicato de 100 de ori, s-au realizat într-un simulator electronic, cu ajutorul căruia s-a obținut un tren de impulsuri echivalent cu cel real, păstrând caracterul de variație real al vitezei tremului.

Deoarece la fazele de funcționare a sistemului de funcționare (de exemplu la 0 sau 1), cuplarea de tensiune liniară este foarte mică, s-a realizat un dispozitiv care amplifică aceste semnale până la nivelul necesar funcționării și funcționării unor relee intermediare care vor alimenta, prin încluzarea contactelor lor, bobinele contactoarelor din circuitul de forță al motoarelor.

6.3.3. Experimentări, oscilogramme

Traductorul liniar de viteză a fost realizat practic, iar funcționarea sa a fost verificată conform diagramelor și calculului teoretic realizat. Pentru a realiza fotografierea oscilogramelor acestuia s-a realizat un dispozitiv de funcționare. Menționăm că oscilogrammele obținute sunt semnificative datorită faptului că viteza mică, (până la $0,7$ m/s) este în domeniul de funcționare.

Montajul experimental realizat pentru verificarea funcționării traductorului liniar de viteză se prezintă în fig. 57.

1) Impulsurile obținute de la simulatorul generatorului de cuplatură

a oscilor trenului (in situație reală traductorul de proximitate), sînt prezentate în fig. 58.

Simulatorul este un circuit basculant stabil, care poate genera impulsuri cu amplitudinea de 5 V și perioadele:

$$T_1 = \frac{1,5 \text{ m}}{2 \text{ m/s}} \cdot \frac{1}{100} = \frac{0,75}{100} = 7,5 \text{ ns (viteza mică) fig. 58.a.}$$

$$T_2 = \frac{1,5 \text{ m}}{4 \text{ m/s}} \cdot \frac{1}{100} = \frac{0,375}{100} = 3,75 \text{ ns (viteza mare) fig. 58.b.}$$

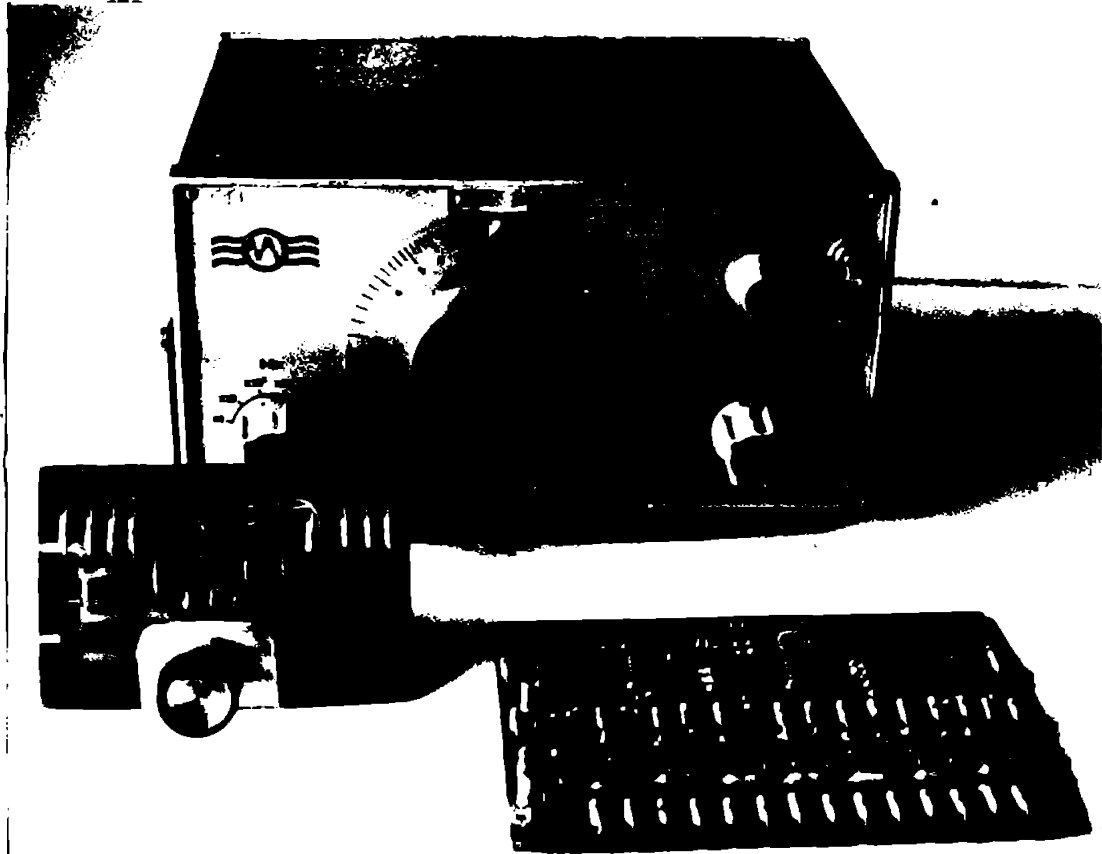
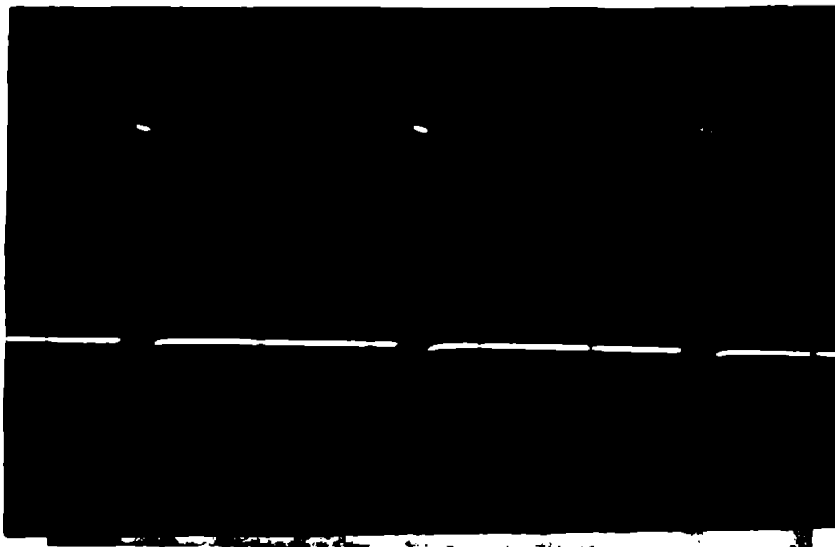


Fig. 57. Montajul experimental realizat pentru testarea performanțelor traductorului de proximitate



viteză mică

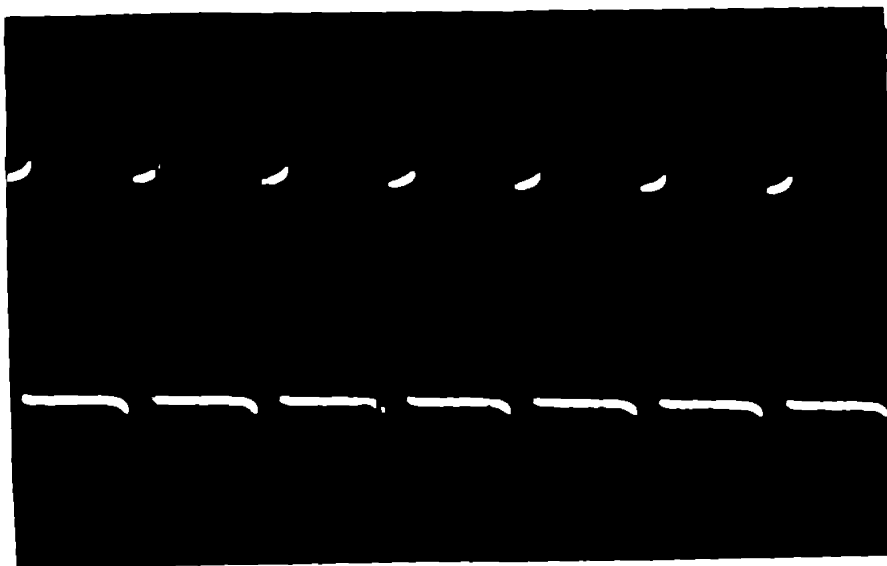


Fig. 58. Impulsurile obținute de la generatorul de impulsuri la ieșirea surselor de alimentare a celulelor trenului (traducătoarele de proximitate).

2) Impulsurile furnizate de generatorul de tact se văd în fig. 59. Amplitudinea impulsurilor este de 5 V, iar frecvența este 14,3 kHz (70 μs).

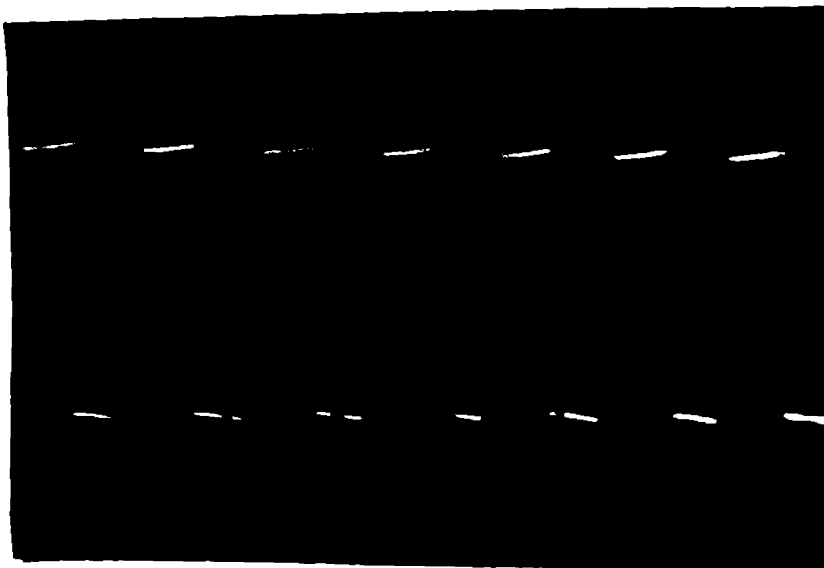


Fig. 59. Impulsurile furnizate de generatorul de tact.

3) Impulsurile de la ieșirea portii "SI" ce urmează a fi furnizate în funcție de poziția cuantificată a vitezii (variabil) dintre două cașe sunt prezentate în fig. 60. Cașul reprezentat corespunde vitezei de 12 km/h, amplitudinea impulsurilor fiind 5 V. Se observă necesitatea de a lua în considerare variația și a intervalului corespunzător trecerii de la o cașă la alta și de la generatorul de proximitate.

4) Semnalul de ieșire de la convertorul numeric analogic, U_{max}, este prezentat în fig. 61, intervalul de timp dintre două cașe succesive este egal cu intervalul de măsurare de ecantionare măsurat de numărător de cașe, adică este egal cu intervalul de măsurare în CNA din codul binar natural intrare nivel analogic (U_{max} = 4,9 V în fig. 61). Se observă creșterea semnificativă a amplitudinii semnalului de ieșire al CNA pe măsură ce numărătorul începe să se apropie de valoarea maximă a potului. U_{max} = 4,9 V corespunde vitezei de 12 km/h.

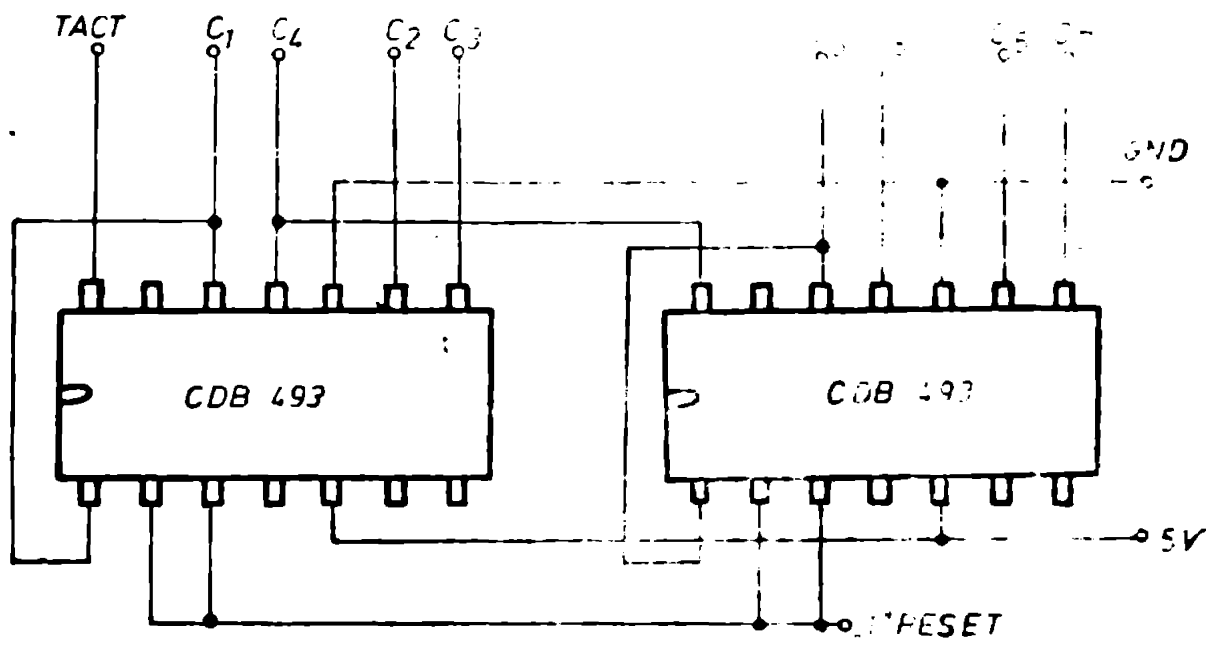


Fig. 53. Conectarea celor două circuite integrate CDB 493 în scopul realizării număratorului binar - natural

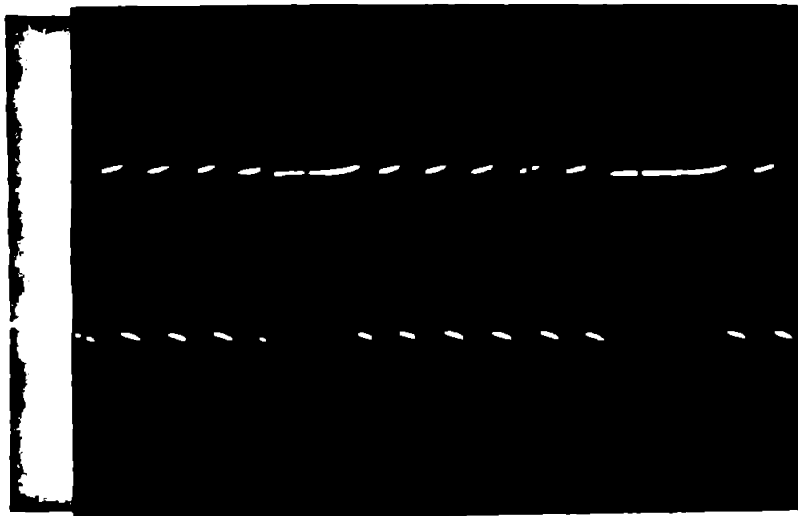


Fig. 60 Impulsurile de la ieșirea porții "OR"

CNA este periodic ($T = 750$ ms) datorită apariției unui impuls de REEF pe pinii 2 și 3 ai numărătorului CDB 493 în momentul în care s-a numărat $N = 107$ impulsuri date de generatorul de tact (această valoare a lui N corespunde exact vitezei $V = 2$ m/s a trenului).

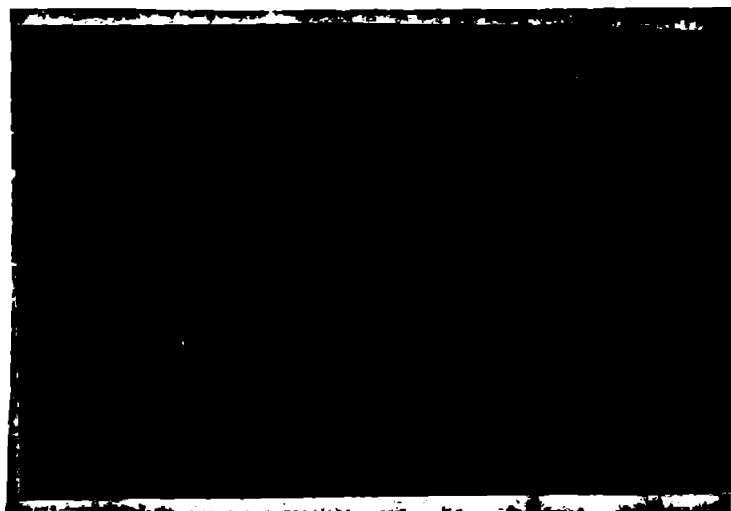


Fig. 61. Semnalul de la ieșirea CNA, corespunzător unei viteze mici a trenului.

La vitezi mare, numărul de impulsuri la intrarea în CNA este mic, intervalul de timp dintre două coși succesive fiind mic. Acest număr de impulsuri este convertit într-un nivel analogic mai scăzut decât în cazul precedent. Următorul semnal este prezentat în fig. 62. Perioada semnalului V_{109} CNA este păstrează: $T = 750$ ms.

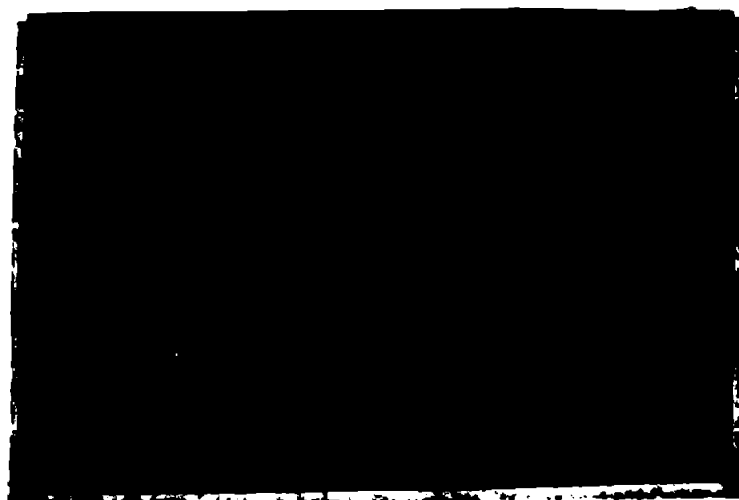


Fig. 62. Semnalul de la ieșirea CNA, corespunzător unei viteze mari a trenului.

Dacă acest nivel analogic variabil, proporțional cu viteza trenului, se aplică la una din intrările unui comparator, la cealaltă intrare a celui din urmă fiind nivelul de referință corespunzător vitezei prescrise, a funcției de comparație rezultă informația obținută de la traductor de poziție a organelor de execuție (rele liniare) care să accelereze sau să frâneze vagonetii trenului.

Altfel, sistemul prezentat poate realiza reducerea vitezei la anumite puncte ale traseului de rulare, această funcție fiind asigurată de

SECRET

de descărcare și încărcare a materialului vehiculat.

6.4. Asigurarea securității traficului în sistemele de transport material cu motoare liniare

Aplicarea la nivel industrial al sistemelor de transport material a trenuri de vagoneti acționați cu motoare liniare și intensificarea considerabilă a traficului din cariere în condițiile vehiculării unei cantități mari de material (până la 10.000 t/h) impun asigurarea unor condiții stricte de securitate a transportului, subcapitolul de față tratând soluționarea schematică a două aspecte esențiale ale problemei în discuție.

6.4.1. Asigurarea distanței de securitate între două trenuri succesive

Pe magistrala de transport, grupurile de propulsie, formate dintr-un anumit număr de motoare liniare, sunt dispuse la o anumită distanță unele față de altele, distanță bine determinată de lungimea trenului. Se estimează [32] că un spațiu echivalent cu de 3 ori lungimea unui tronson dintre două grupuri de propulsie succesive poate constitui spațiul minim de siguranță în cazul succesiunii a două trenuri liniare. La începutul și la sfârșitul fiecărui grup motor există câte două transductoare de proximitate de tip inductiv, care având în componență câte un relee, determină cuplarea motoarelor liniare în trenul se află deasupra lor. În cazul fiecărui grup de acționare, contactele ND ale celor două transductoare (relee) se închid în circuitul de alimentare a bobinei contactorului de forță, împreună cu contactele ND ale transductoarelor ce corespund celor 3 grupuri de propulsie (reletoare (echivalentul celor 3 tronșoane ce reprezintă spațiul minim de securitate)).

Principiul protecției este următorul: se permite cuplarea unui grup de propulsie numai dacă deasupra tronșoanelor 3 grupuri, în care se află trenul, nu se află nici un tren. Nouăzeci și cinci dintr-un număr de ajutoare electronice se prezintă în fig. 63, iar schema detaliată a protecției se vede în fig. 64.

În situația în care cele două transductoare TP_{1A} și TP_{2A} (fi. 63) corespunzătoare grupului de propulsie A, sînt acoperite de tren, se va autoriza cuplarea grupului prin releul RI_A și contactorul de forță RI_A , numai dacă transductoarele $TP_{1B,C,D}$ sînt inactive (adică în cazul în care trenul nu se află deasupra, senș ce reprezintă totuși spațiul de siguranță, nu se află tren).

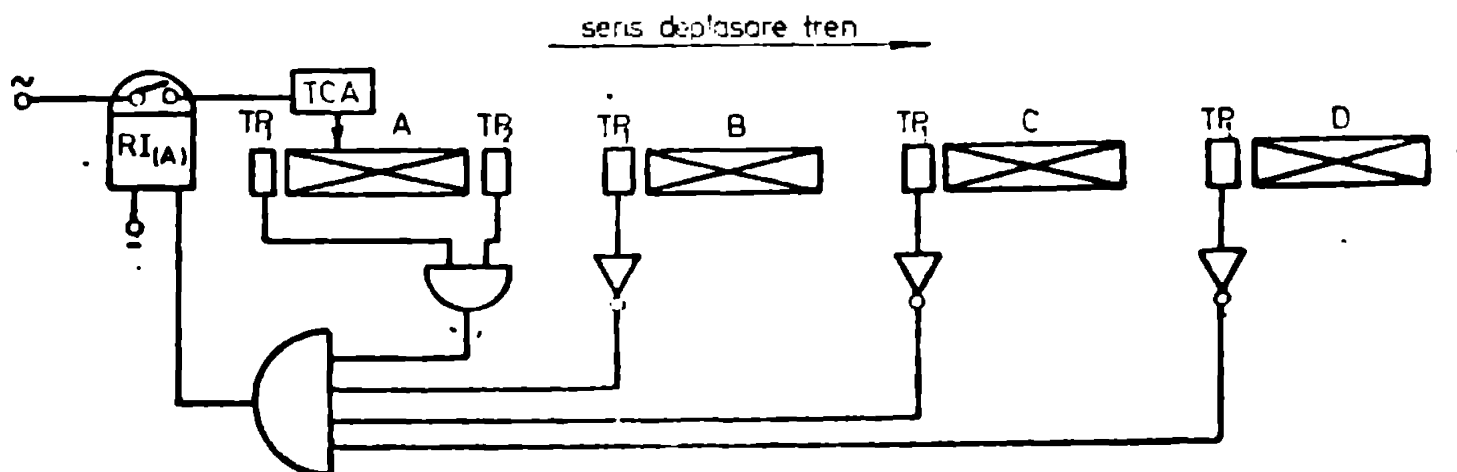


Fig. 63. Schema de principiu a asigurării distanței de securitate între două trenuri consecutive

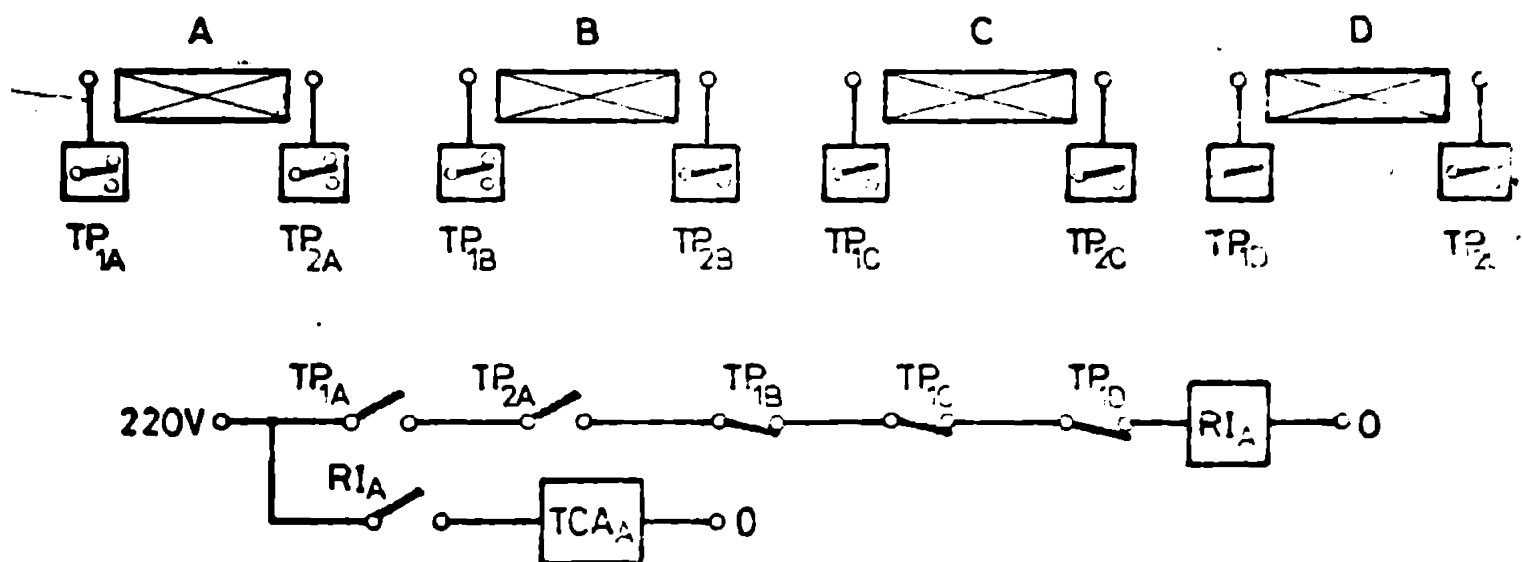


Fig. 64. Schema detaliată a protecției

6.4.2. Protecția în cazul ruperii trenului (a cuplului dintre vagoane)

Acest caz de avarie, deși puțin probabil la o întreținere corectă și sătoare, poate apărea accidental la apariția unor șocuri, în special la încălcarea și descărcarea torsională a trenului.

Principiul protecției este următorul:

Trenul avînd o lungime l cunoscută, trecerea deasupra grupului de propulsie se face într-un timp Δt bine determinat pentru o viteză cunoscută a trenului. În cazul ruperii șocului, partea din față continuă să treacă, dar durata de trecere Δt^* deasupra grupului de propulsie va fi mai scurtă. Protecția va sesiza avaria și va comanda deconectarea sistemului.

Schema de protecție se materializează cu două relee:

R - releele marter, cu temporizare la declanșare;

R_A - releele de ieșire, ce comandă declanșarea de avarie, care, în cazul

la releul intermediar RI, deconectează alimentarea sistemului de propulsie.

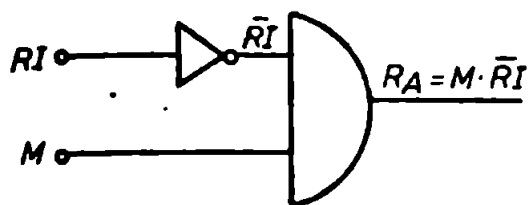


Fig. 65. Modelare logică a acțiunii releului R_A

Acțiunea releului R_A poate fi modelată printr-un circuit logic de tip "SI", la care intrările sînt: (fig.65) semnalul releului RI negat și cel al releului M (martor). Se consideră codificarea:
 1L - contact închis
 0L - contact deschis

Declanșarea în caz de avarie are loc cînd $R_A = 1$, deci apare numai în situația în care $RI = 0$ și $M = 1$, adică timpul de parcurgere al grupului de mișcare este mai mic decît cel programat pentru lungimea normală a trenului.

Schema electrică a protecției se prezintă în fig. 66.

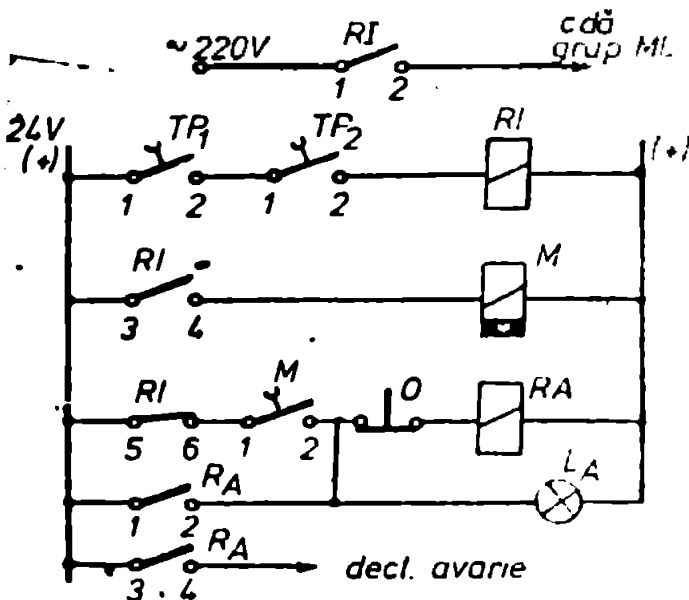


Fig. 66. Schema ce asigură protecția în cazul ruperii cuplajelor trenului.

La exploatarea sistemului de transport pot apărea 3 situații:

1) Trenul nu se află în zona unde acționează protecția. Inductoarele sînt inactice, $TP_{1,2}$ sînt deschise, RI este nealimentat, rezultă nivelele semnalelor $RI = 0$ și $M = 0$, deci releul R_A rămîne neanchisat ($R_A = 0$).

2) Zona e parcurgă de un tren de lungime normală L. Prin închiderea contactelor $TP_{1,2}$ anchinșează RI, care determină cuplarea grupului de mișcare ($RI = 1,2$) și a releului M ($RI = 3,4$). Starea contactelor protecției se prezintă în fig. 67 a.

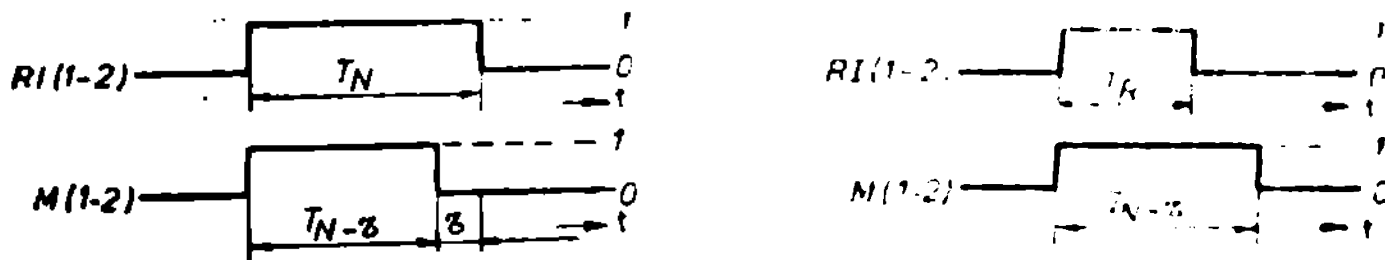


Fig. 67. Reprezentarea în timp a stării contactelor protecției

Pentru releul M s-a luat o temporizare ($T_M = \tau$) mai scurtă decât timpul normal de parcurgere ($T_M = \Delta t$) a tronsonului, pentru a evita hazardul în cazul declanșării simultane a releelor RI și M. Luând originea timpului în momentul declanșării lui RI, avem:

- dacă $t \in [0, T_M - \tau]$, avem $\bar{RI} = 0$, $M = 1$, deci: $R_A = 0$
- dacă $t \in [T_M - \tau, T_M]$, avem $\bar{RI} = 0$, $M = 0$, deci similar $R_A = 0$.

3) Trenul ce parcurge tronsonul în discuție s-a rupt, (cero lungimea $L_R < L$); la aceeași viteză de parcurgere, timpul $T_R < T_M$ (situația e prezentată în fig. 67, b). Cu aceeași convenții privind originea timpului avem:

- pentru $t \in [0, T_R]$, avem $\bar{RI} = 0$, $M = 1$, deci $R_A = 0$
- pentru $t \in [T_R, T_M - \tau]$, avem $\bar{RI} = 1$, $M = 1$, deci $R_A = 1$.

situație în care releul R_A comandă declanșarea semnalului de avarie și decuplarea sistemului.

În concluzie, se poate afirma că ambele scheme de protecție, robuste și fiabile, pot asigura în condiții favorabile securitatea sistemului de transport analizat.

6.5. Considerații privind posibilități de soluționare a unor probleme de automatizare ale sistemului de transport cu motoare liniare

Se prezintă în continuare, fără a intra prea mult în detaliu, principiile care se propun a sta la baza soluționării problemelor menționate în subcap.6.1, punctele 4, 5, 7, și 11.

Așa cum s-a menționat, în situația încărcării direct din cupa excavatorului, vagonetii trenului sînt independenți. În situația aceasta este necesar un sistem de comandă automată secvențială de deplasare a trenului, vagonet cu vagonet, astfel încît în fața cupei excavatorului să se poziționeze, pe rînd, fiecare vagonet al trenului pînă la încărcarea sa completă.

Această deplasare discretă, pas cu pas a trenului, este asigurată prin forța de propulsie dezvoltată de un anumit număr de motoare liniare montate în zona de încărcare. Asigurarea, pe măsură ce trenul se umple, a unei forțe de tracțiune progresiv crescătoare, care să producă deplasarea de un pas (un vagonet) a trenului, se face prin menținerea în stare cuplată a sistemului liniare un interval de timp reglabil pe durata fiecărui pas. Această deplasare temporizată și selectivă a motoarelor de propulsie se realizează, în varianta propusă, printr-un aparat electro mecanic de comutare (selector), și rulează cu temporizare la declanșare. Fiecărui pas executat, ceea ce corespunde unei deplasări spațiale avînd lungimea unui vagonet, îi corespunde o poziție distinctă a contactelor mobile ale selectorului. Retinîndu-se, pentru executarea fiecărui pas, forța de propulsie ce trebuie asigurată în funcție de gradul de

Încărcare a trenului, un anumit relee menține în stare cuplată motorul de propulsie un interval de timp bine stabilit. Evident, numărul releelor cu temporizări diferite depinde de numărul vagoanelor trenului. De asemenea, el coincide cu numărul de poziții distincte ale selectorului. Astfel se realizează o corespondență biunivocă între fiecare poziție distinctă (pas) al selectorului și forța necesară executării pasului de către tron.

Comanda comutării selectorului de pe o poziție pe alta o face chiar brațul excavatorului, care, rotindu-se pentru a executa încărcarea, include, prin intermediul unei came situate solidar cu brațul, un microîntrerupător. În acest fel, excavatorul comandă automat deplasarea secvențială a vagoanelor în dreptul cupei sale. Pentru o poziționare exactă a vagoanelor se utilizează o schemă în care intervin traductoare de proximitate ce sesizează pozițiile spațiale a câte două esii succesive, precum și o frână ce asigură oprirea exactă a trenului prin blocarea perechilor de roți prin interzicerea unor rotații.

În situația în care trebuie asigurate capacități de recepție mari vagoaneli trenurilor sînt uniți prin burdufuri de cauciuc, între al treilea avînd aspectul unei benzi continue. Încărcarea trenului se face în acest caz prin intermediul unui siloz tampon, de unde materialul se scurge în treptă continuu pe se alică sub buncărul silozului.

Pentru o umplere integrală a trenului, trebuie autorizată intrarea acestuia în zona de încărcare numai dacă silozul conține o cantitate de material suficientă umplerii întregului tron. Pentru rezolvarea acestei probleme se propune următoarea soluție:

Pe pilonii de susținere ai buncărului se fixează un anumit număr de traductoare tensometrice. Aceste traductoare furnizează în permanentă un semnal electric proporțional cu forța de compresie ce se exercită asupra pilonilor datorită încărcării buncărului cu material. Adică, în orice moment, un semnalului (de ex. o tensiune continuă) oferă informații privind cantitatea de material din buncăr. Considerăm că acest semnal se compară cu unul prescribit din exterior și care corespunde cantității minime de material care să asigure încărcarea integrală a trenului. În momentul în care semnalul efectiv devine inferior nivelului prescris, înseamnă că în buncăr se găsește puțin material. Deci un element senzitor ce compară nivelurile celor doi semnale va declanșa un element de execuție (contactor, relee) care să va autorizeze intrarea sub tensiune a motoarelor liniare ce propulsează trenul în zona de încărcare. Aceasta se va întimpla numai după ce buncărul se umple suficient, greutatea sa și deci nivelul semnalului efectiv depășește valoarea prescrisă.

O altă problemă ce se impune a fi soluționată este deconectarea motorului liniar în momentul în care el se încadrează pe platforma de încărcare. Aceasta se rezolvă prin intermediul unor termistori încalțati la capetele motorului liniar, capetele acestora fiind scese la cîștia de borne a motorului. În momentul

tul în care temperatura motorului depășește limita admisibilă, variația rezistenței termistorului determină modificarea căderii de tensiune pe acest element, ceea ce poate determina decuplarea contactorului de forță ce alimentează motorul respectiv. În acest sens, s-a conceput o schemă având în componență un comparator și o punte de rezistență, în unul din brațele punții fiind termistorul amintit. Când încălzirea motorului se încalză peste limita admisă, se produce un dezechilibru al punții și apare un semnal electric care, aplicat pe intrarea (+) a comparatorului, depășește nivelul semnalului prescris, aplicat pe intrarea (-), determinând bascularea ieșirii comparatorului pe nivel + 12 V. Acest nivel determină saturarea unui tranzistor și alimentarea unui relee care, anclanșând, întrerupe curentul de alimentare a bobinei contactorului de forță.

Visualizarea poziției trenului pe tabelul sinoptic al căreia dispoziție se realizează tot prin intermediul traductorilor de proximitate. Prin închiderea contactelor SD ale acestora în momentul sesizării prezentei trenului, se închide și circuitul de alimentare al unui bec de pe tabloul sinoptic, bec care corespunde grupului de acționare deasupra căruia trece trenul. Astfel e posibilă localizarea permanentă a trenului pe traseu.

Toate aceste considerații, care au prezentat sintetic câteva soluții privind automatizarea sistemului de transport cu trenuri de vârf și acționați cu motoare liniare, demonstrează varietatea problemelor care trebuie abordate, precizia și stabilitatea sistemului la o automatizare complexă integrală, precum și rolul esențial pe care îl ocupă traductorul de proximitate în contextul structurii globale a schemelor de automatizare.

7. CALCULUL TEHNICO - ECONOMIC A VEHICULĂRII UNEI CANTITĂȚI DE MATERIAL TERUȘE ÎN VARIANTA SISTEMULUI DE TRANSPORT CU MOTOARE LINIARE SAU KOLOSIND CĂȘIOARE DE MARE CAPACITATE, LA FIECĂREI TRASEU
CONCRET ÎN CAZUL CARIERA ANINA

7.1. Prezentare generală

În acest capitol se prezintă soluționarea tehnică și în mod deosebit eficiența economică a vehiculării unei cantități impuse de material care trebuie transportată din incinta carierei I.M.E.S.B. Anina, în două variante: aplicarea în acest scop a unui sistem de transport format din tremuri de vago- neti acționați cu motoare liniare (similare cu unul din sistemele prezentate în capitolul 5), sau folosirea unui sistem convențional de transport, cel cu cășioare de mare capacitate.

Alegerea acestor două soluții de transport a fost impusă de natura materialului vehiculat: stăruș, rezultat din descoperirea straturilor utile de tip bituminos. Acest material este caracterizat printr-o granulație grosieră, în urma proceselor de descoperire rezultând o cantitate substanțială, care trebuie evacuată continuu din dreptul frontului de lucru până la locul de descărcare (haldare). Aceste date inițiale au impus luarea în considerare a celor două sisteme de transport menționate, caracterizate prin robustețe, posibilități de încărcare direct din cupa excavatorului, capacitate mare de transport și posibilități de descărcare și haldare corespunzătoare.

Calcululele ce urmează a fi prezentate se vor referi la asigurarea unei capacități de transport de 8400 t/h material ce va trebui excavat, într-o perspectivă apropiată, pe una din treptele carierei de la Anina. Traseul pe care se va efectua transportul de la locul de excavare la haldă, are o lungime totală de 1350 m, profilul longitudinal al căii fiind prezentat în Fig. 66.

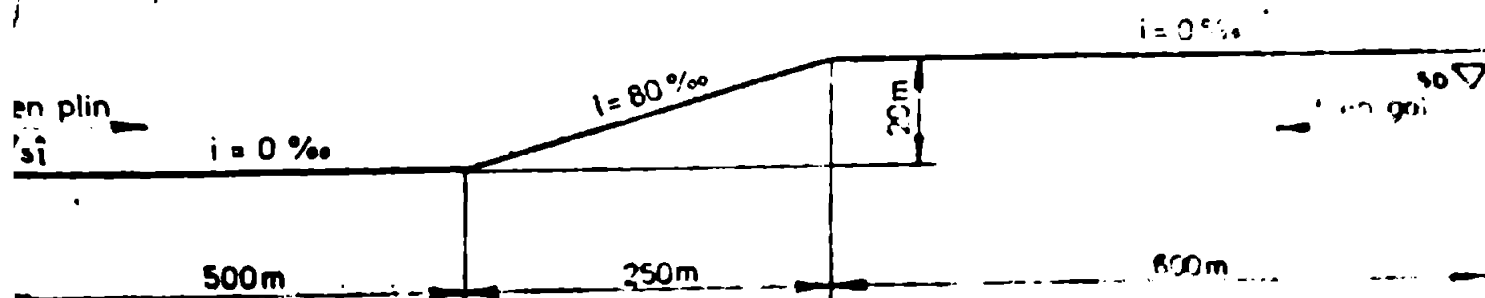


Fig. 66 Profilul longitudinal al căii pe care se va vehicula materialul excavat pe o treaptă a carierei

În această figură, cei 250 m reprezintă lungimea efectivă a tronșonului cu declivitatea $i = 80 \text{ ‰}$.

Pentru a avea o imagine realistă a eficienței economice comparative

a celor două sisteme de transport, se vor avea în vedere parametri și indici tehnico - economici reali, de actualitate, o parte din informații fiind asimilate din studii tehnico-economice elaborate pentru sisteme de transport convenționale la trasee concrete din cariere (datele de bază privind costurile camioanelor, a motorinei, cheltuielile de întreținere și reparații, salarii, etc.), date privind parametri reali ai conversiei energiei primară - energie electrică la termocentralele din țară ce funcționează cu combustibili convenționali, normele internaționale în vigoare referitoare la acest aspect, precum și datele culese experimental la stația pilot, privind performanțele sistemului de transport cu motoare liniare. ([39],[38],[105]).

7.2. Asigurarea capacității de transport prescrise folosind sistemul de transport cu trenuri de vagoane acționate cu motoare liniare

7.2.1. Calculul consumului specific de energie și al costului specific al transportului la sistemul analizat

Pe baza algoritmului de calcul al diagramelor de mers ce se prezintă în detaliu în Anexa 1 la prezenta lucrare, prin aplicarea acestuia la traseul concret prezentat în fig. 66 și impunând o capacitate de transport orară de 8.400 t/h, rezultă: Lungime tren = 30 m; distanța dintre picheti = 25 m; lungime stație descărcare torsională = $L_{SD} = 25$ m; cale dublă; număr total de motoare liniare montate pe calea dublă; $N_{HL} = 467$ motoare; numărul de motoare liniare active: $N_{HLa} = 102$; $T_{ciclu} = 1200$ s (durata unui ciclu complet de transport); număr de curse complete pe oră, efectuate de un tren; $n_{of} = 3$; număr total de trenuri necesare; $N_t = 47$ trenuri.

De asemenea, aplicând relațiile (A.14) și (A.16) din Anexa 1, rezultă energia electrică consumată pe oră W_h și consumul specific de energie C_{sv} al sistemului de transport cu motoare liniare, pentru o capacitate de 8400 t/h rezultă și o distanță pe care se vehiculează sarcina utilă de 1,35 km:

$$W_h = 2153 \text{ kWh}; \quad C_{sv} = 0,189 \text{ kWh/tkm.}$$

În ceea ce privește calculul costului specific al transportului cu trenuri de vagoane acționate cu motoare liniare, acest cost se exprimă prin relația:

$$C_{st} = \frac{a + C_{expl}}{Q_{ta} \cdot l_t} \quad (7.1)$$

în care: a = amortizarea investițiilor; C_{expl} = cheltuieli de exploatare; Q_{ta} = capacitatea de transport anuală [t/an.]

$$C_{expl} = C_v + C_{rot} + C_D \quad (7.2)$$

în care:

- C_v = costul consumului anual de energie [lei/an]

la montarea instalației electrice aferente sistemului de transport.

$I_f = 50.000$ lei/frină (7.11) - reprezintă cheltuielile investite în frinele de siguranță. Prețul a fost estimat în situația posibilității concrete de realizare a unei variante proiectate de frină cu sabot și cu ridicator electrohidraulic de frină, în condițiile de tehnicitate a întreprinderii I.M. Timișoara. Se consideră necesară amplasarea frinelor de siguranță în zonele cu declivități accentuate (una buc. frină la 25 m traseu). Intrarea lor în funcțiune e dictată de eventuale avarii ale sistemului de transport sau "agățarea" trenului pe pante la căderea rețelei de alimentare.

$I_{GI} = 5.000.000$ lei - investiția estimativă în proiectarea și realizarea unei stații de încărcare a trenului de vagoți.

$I_{GD} = 4.000.000$ lei - investiția estimativă în proiectarea și realizarea unei stații de descărcare torsională mobilă față de poziția haldelor.

Toate aceste investiții menționate până acum fac parte din categoria așezămintelor investiții neelectrice I_{nel} .

I_{eo} = investițiile în motoare liniare și echipamentul electric aferent (de forță, comandă și protecție).

I_c = investițiile destinate compensării factorului de putere.

Pentru calculul I_{eo} se calculează, în funcție de numărul total de motoare liniare montate pe traseu, puterea aparentă maximă pentru întreaga instalație:

$$S_{nec, t_{max}} = \sqrt{3} U_n \cdot I_n \cdot N_{tot ML} \cdot \sqrt{DA} \quad (7.12)$$

unde: U_n , I_n = tensiunea, respectiv curentul nominal al ML; $N_{tot ML}$ = numărul total de motoare instalate ($N_{tot ML} = K_{MLp}$)

DA este durata relativă de funcționare a unui motor liniar:

$$DA = \frac{N_t \cdot t_f}{T_c} \quad (7.13)$$

unde: t_f = timpul mediu de conectare a unui motor liniar (explicitat la relația 7.12); T_c = durata unui ciclu [s].

Din relația (7.12) rezultă numărul necesar al transformatoarelor de tip TRU 6/0,4 kV din tablourile principale (cele mai folosite tipuri sînt cele avînd puterile aparente $S_n = 1.000$ kVA; 1600 kVA; 3.000 kVA).

Instalația electrică de forță a sistemului de transport constă dintr-un anumit număr de tablouri principale TP, care conțin transformatorul susmențit, precum și alte aparate (numărul acestor tablouri TP depinde de $S_{nec, t_{max}}$ și de puterea unitară aparentă nominală a unui traf), precum și tablouri de forță TF deja pe partea de joasă tensiune (0,4 kV). Tablourile de forță TP conțin, pe lângă alte aparate, contactoarele ce asigură cuplarea ML prin

ralea cu temporizare, acestea din urmă fiind activate de transformatoarele de

proximitate numai în prezența trecului deasupra grupului de motoare.

Se consideră că, apreciind gabaritele contactoarelor și a celorlalte aparate, la un TP se pot lega 5 motoare liniare de tip ML - 03 (care asigură propulsia sistemului de transport ecarterent 1435 mm).

Se prezintă în continuare componența și analiza costurilor componentelor la un TP și un TF.

- TP
- dulap metalic, $U_n = 10$ kV, 1 buc., 15.000 lei
 - separator STI, cod CUPS 332 - STIP_m 10/400, una buc., 1460 lei
 - siguranță SIT, cod CUPS 416552 - STEn (S) 10/12, una buc., 1370 lei
 - transformator 6/0,4 kV, $S_n = 3000$ kVA, una buc., 150.000 lei
 - întrerupător cu ulei puțin ITP 10/500, una buc., 17.300 lei
 - cablu ACIaby 3 x 240 + 95 mm, 50 m, 5300 lei
 - cablu comandă CSY aby 30 x 2,5; 50 m, 3600 lei
 - separator STI 2000 A, cod CUPS 41.531, $U_n = 1,2$ kV, una buc., 8760 lei

Total $C_{TP} = 203.290$ lei

- TF
- dulap metalic, $U_n = 0,4$ kV, una buc., 15.000 lei
 - siguranță NPR 2300/2300, $I_n = 630$ A, 5 buc., 5 x 472 lei
 - contactor TCA 400, cod 4040, $I_n = 400$ A, 5 buc., 5 x 4627 lei
 - releu termic TNAV 400, cod 3076, $I_r = 400$ A, 5 buc., 5 x 423 lei
 - motor liniar ML - 03, $P_n = 30$ kW, $I_n = 400$ A, 5 buc., 5 x 60.000 lei
 - traductor proximitate RTI - 60, $U_n = 24$ V, 3 buc., 3 x 500 lei
 - releu intermediar RI - 3T, $U_n = 24$ V, 2 buc., 2 x 443 lei
 - cutie borne, $U_n = 380$ V, închisă, 5 buc., 5 x 1200 lei
 - cablu ACY aby 3 x 120 + 95, 75 m, 4050 lei
 - cablu comandă CSY aby 4 x 2,5; 30 m, 900 lei

Total $C_{TF} = 355.948$ lei

Ținând cont de cele menționate, rezultă:

$$I_0 = \left(\frac{N_{\text{tot ML}}}{5} \right) C_{TP} + N_{TF} \cdot C_{TF} \quad (7.14)$$

unde:

$$N_{TF} = \frac{S_{\text{nec } t \text{ max}}}{S_n \text{ trafo}} \quad (7.15)$$

reprezintă numărul total al TF, iar C_{TP} și C_{TF} reprezintă costurile TP, TF mai sus prezentate.

Pentru calcularea termenului I_0 (investiția pentru compensarea factorului de putere), trebuie cunoscută $\cos \varphi_{ML}$ (aprox. 0,15 la ML - 03) și $\cos \varphi_{\text{impus}} = 0,95$ (impus de către furnizorul de energie electrică).

Puterea reactivă totală Q_0 care trebuie compensată e dată de relația:

$$Q_0 = P_0 (\tan \varphi_{ML} - \tan \varphi_{\text{impus}}) \quad [\text{kVar}] \quad (7.16)$$

unde : P_o reprezintă puterea activă [kW] cerută de sistem;

$$P_o = N_a \cdot P_{ML} \cdot DA, \quad (7.17)$$

unde N_a reprezintă numărul total de motoare liniare în stare activă (conectate în regimul normal de funcționare).

Prețul unui kvar compensat prin baterii de condensatoare fiind 364 lei/kvar, rezultă I_c :

$$I_c = Q_c \cdot 364 \quad [\text{lei}] \quad (7.18)$$

Prețul unui kvar s-a luat din normele în vigoare cu privire la compensarea factorilor de putere a consumatorilor.

Înlocuind în relațiile (7.1 - 7.18) dat-le cunoscute, se va calcula investiția totală pentru realizarea sistemului de transport studiat;

$$C_N = 2153 \text{ kWh} \cdot 12 \text{ h/zi} \cdot 300 \text{ zile/an} \cdot 1 \text{ leu/kWh} = 7.750.000 \text{ lei/an}$$

$$C_{ret} = 120.000 \text{ lei/km,an} \cdot 1,35 \text{ km} = 162.000 \text{ lei}$$

$$C_D = 2.000.000 \text{ lei/km,an} \cdot 1,35 \text{ km} = 2.700.000 \text{ lei}$$

$$I_{cf} = 2 \times 1,35 \text{ km} \times 1.000.000 \text{ lei/km} = 2.700.000 \text{ lei}$$

$$I_{ca} = 467 \text{ ML} \times 10.000 \text{ lei/ML} = 4.670.000 \text{ lei}$$

$$I_v = 47 \text{ tremuri} \times 600 \text{ kg/m} \times 30 \text{ m} \times 150 \text{ lei/kg} = 126.900.000 \text{ lei}$$

$$I_m = 2 \times 1,35 \text{ km} \times 2.000.000 \text{ lei/km} = 5.400.000 \text{ lei}$$

$$I_f = 50.000 \text{ lei/frână} \times \frac{1350 \times 2}{25} = 5.400.000 \text{ lei}$$

$$I_{SI} = 5.000.000 \text{ lei}$$

$$I_{SD} = 4.000.000 \text{ lei}$$

$$I_{neol} = 154.000.000 \text{ lei}$$

$$DA = \frac{47 \times 5,21 \text{ s}}{1200 \text{ s}} = 0,218$$

$$S_{dec_t \text{ max}} = \sqrt{3} \times 300 \times 400 \times 467 \sqrt{0,218} = 57.325 \text{ kvar} \quad (\text{curentul nominal de fază a unui ML -03 este } 400 \text{ A la un întrefier mecanic de } 12 \text{ mm}).$$

Resultă:

$$N_{TP} = \frac{57.325 \text{ kvar}}{3.000 \text{ kvar}} = 19,1. \quad \text{Se ia } N_{TP} = 20$$

$$N_{TP} = \frac{467}{5} = 94 \quad (\text{în ultimul TP avem 2 contactoare TCA 400}). \quad \text{Având}$$

$$C_{TP} = 203.200 \text{ lei/buc.} \quad \text{și } C_{TP} = 355.946 \text{ lei/buc.} \quad (\text{inclusiv cele 5 ML}), \text{ rezultă}$$

$$I_{\infty} = 355.946 \times 94 + 203.200 \times 20 = 37.524.724 \text{ lei}$$

Investițiile pentru compensarea factorului de putere vor fi:

$$P_o = 192 \times 0,18 \times 50 = 172,8 \text{ kW}$$

$$Q_o = 1190 (7,27 - 0,759) = 7685 \text{ kvar}$$

$$I_c = 364 \times 7685 = 2.799.340 \text{ lei}$$

sultă o investiție totală d

$$I_{Total} = 194.685.724 \text{ lei}$$

Considerind $T_a = 10$ ani, rezultă amortizarea a :

$$a = 0,1 I_{Total} = 19.468.572 \text{ lei}$$

Asadar, se poate calcula costul specific al transportului in situatia vehicularii materialului cu sistemul de transport cu trenuri de vagoane si locomoti cu motoare liniare :

$$C_{st} = \frac{19.468.572 + 7.750.000 + 152.000 + 2.700.000}{1,35 \text{ km} \times 3600 \text{ ore} \times 1000 \text{ t/a}} = 0,731 \text{ lei/tkm}$$

7.3. Asigurarea capacitatii de transport prescrise folosind sistemul de transport material cu camioane de 50 t

Pentru realizarea transportului cu camioane, trebuie construită o baze betonată. Se estimează [] costul km - ului de sosea:

$$C_0 = 2.000.000 \text{ lei/km}$$

Pe traseul de transport, se estimează că viteza medie de splasare unui camion de 50 t este de cca 14 km/oră. Rezultă că se parcurg 35 km într-un timp:

$$T_m = \frac{35}{14} = 0,096 \text{ ore} \quad (7.19)$$

Din condițiile concrete de transport material în carieră cu autocamioanele, au rezultat timpii de încărcare direct din cupe excavatorului $t_1 = 3 \text{ min} = 0,05 \text{ ore}$ și timpul de descărcare a materialului în haldă: $t_2 = 5 \text{ min} = 0,083 \text{ ore}$.

Rezultă timpul total în care se vehiculează materialul în haldă:

$$t_T = 0,096 + 0,083 + 0,05 = 0,229 \text{ ore} \quad (7.20)$$

Capacitatea de transport a unui camion va fi:

$$M = \frac{50 \text{ t}}{0,229 \text{ h}} = 218,3 \text{ t/h} \quad (7.21)$$

Se poate deci calcula numărul necesar de camioane care asigură capacitatea de transport prescrisă:

$$N_{nec} = \frac{1160 \text{ t/h}}{218,3 \text{ t/h}} \approx 39 \text{ camioane} \quad (7.22)$$

Coeficientul de utilizare în timp real al camioanelor fiind aprox. 0,5 (din cauza numeroaselor defectivități), rezultă numărul de camioane real :

$$N_T = \frac{39}{0,5} = 78 \text{ camioane} \quad (7.23)$$

Costul unui camion de 50 t fiind 7.000.000 lei/buc., rezultă investiția în camioane:

$$I_c = 78 \times 7.000.000 + 546.000.000 \text{ lei} \quad (7.24)$$

Amortizamentul camioanelor și al șoselei va fi:

$$a = \frac{I_c + C_s}{10 \text{ ani}} = 54.870.000 \text{ lei/an} \quad (7.25)$$

7.3.1. Calculul costului specific al transportului

Se calculează în continuare cheltuielile de exploatare:

- consumul zilnic de motorină:

$$C_{\text{mot}} = 500 \text{ CP/camion} \times 0,150 \text{ kg/CPoră} \times 10 \text{ h/si} \times 39 \text{ camioane} = 29.250 \text{ kg/zi} \quad (7.26)$$

- costul motorinei consumate pe an:

$$C_{\text{mot}} = 29.250 \text{ kg/zi} \times 7 \text{ lei/kg} \times 300 \text{ zile} = 61.425.000 \text{ lei/an} \quad (7.27)$$

- costul filtrelor, uleiurilor, unscrilor, altor materiale: aprox.

10 % din C_{mot} :

$$C_{F,U,U} = 0,1 C_{\text{mot}} = 6.142.500 \text{ lei/an} \quad (7.28)$$

- costul anvelopelor:

$$6 \text{ buc./cam.} \times 20.000 \text{ lei/buc.} \times 39 = 4.680.000 \text{ lei/an} \quad (7.29)$$

- costul intretinerilor și reparațiilor curente (5 % din costul camioanelor):

$$0,05 C_c = 0,05 \times 7.000.000 \times 39 = 13.650.000 \text{ lei/an} \quad (7.30)$$

- costul reparațiilor capitale: 8 % din costul camioanelor:

$$0,08 \times 7.000.000 \times 39 = 21.840.000 \text{ lei/an} \quad (7.31)$$

- salariile șoferilor:

$$39 \text{ postari} \times 100 \text{ lei/post} \times 300 \text{ zile} = 1.170.000 \text{ lei/an} \quad (7.32)$$

Costul specific al transportului rezultă astfel:

$$C_{\text{sp}} = \frac{(54.870 + 61.425 + 6.142,5 + 4.680 + 13.650 + 21.840 + 1.170) \times 10^3}{210,3 \text{ t/h} \times 3.000 \text{ h/an} \times 39 \text{ cam.} \times 1,15 \text{ km}} = 4,75 \text{ lei/tkm} \quad (7.33)$$

7.3.2. Calculul consumului specific de energie

Calculăm consumul de energie primară ce se va converti în energie electrică:

$$W_p = 29.250 \text{ kg/zi} \times 7.000 \text{ kcal/kg} = 204,75 \times 10^6 \text{ kcal/zi} \quad (7.34)$$

S-a considerat puterea calorică a motorinei 7.000 kcal/kg.

Această energie primară consumată, exprimată în kWh, va fi:

$$W_p^* = \frac{231,75 \times 10^6 \text{ kcal}}{260 \text{ kcal/kWh}} = 239.038 \text{ kWh/zi} \quad (7.35)$$

Admițind că procesul conversiei energiei primare, exprimată în kWh - energie electrică, exprimată tot în kWh, se caracterizează prin relația:

1 kWh energie electrică = 2,6 kWh energie primară (7.36) Deși rezultă cantitatea de energie electrică echivalentă consumată pe zi de sistemul de transport cu camioane:

$$W_{el} = \frac{239,038 \text{ kWh}}{2,6} = 91.570 \text{ kWh/zi} \quad (7.37)$$

Deci se poate calcula consumul specific de energie al acestui sistem de transport:

$$C_{S_v} = \frac{91.570}{218,3 \text{ t/h} \times 39 \text{ cam} \times 10 \text{ h/zi} \times 1,35 \text{ km}} = 0,796 \text{ kWh/tkm}$$

Din aceste calcule rezultă că sistemul de transport cu camioane față de cel cu motoare liniare, la aceeași capacitate de transport, prezintă un cost specific al transportului de $4,75/0,731 = 6,5$ ori și un consum specific de energie de $0,796/0,189 = 4,2$ ori mai mari.

8. CONCLUZII

În acest capitol se face o prezentare sintetică a principalelor probleme care au constituit obiectul tezei, remarcându-se faptul că majoritatea acestora sînt abordate de către autor într-o viziune și concepție originale. Legat de acest aspect se precizează că o prezentare completă a contribuțiilor originale ale autorului, legate de problematica studiată, se face la sfîșitul primului capitol.

Abordarea, în cadrul tezei, a problematicii sistemului de transport cu trenuri de vagoneti acționați cu motoare electrice liniare, a fost impusă de necesitatea concretă a rezolvării vehiculării unor cantități mari de material (pînă la 10.000 t/h) pe distanțe de ordinul kilometrilor, în condițiile asigurării unui cost specific al transportului și a unui consum specific de energie de valori scăzute.

Aspectele dezavantajoase prezentate de sistemele clasice de transport care asigură în prezent vehicularea materialului în carierele de suprafață, menționate în detaliu în cap. 3, (în principal consum considerabil de motorină și cheltuieli mari de exploatare la camioane, coeficient de utilizare în timp foarte scăzut iarăși, inadaptabilitate la orice profil de traseu, consum de energie la mersul în gol și cost ridicat al utilajelor la benzi transportoare din cauciuc) au determinat luarea în considerare, ca posibil și eficient înlocuitor al sistemelor susmenționate, a sistemului de transport cu trenuri de vagoneti acționați cu motoare liniare.

Avantajele certe pe care le oferă acestea din urmă, și anume: nu se pune problema aderenței, se înlătură dispozitivul de transmitere a cuplului la roți, nu se consumă energie la mersul în gol, poate fi aplicat la orice configurație a traseului, pretabil la o automatizare completă, robust, și fiabil, faptul că nu consumă combustibil lichid din ce în ce mai deficitar și mai scump, determină realizarea, pe plan mondial, a unor instalații cu caracter experimental și industrial de mare capacitate, prezentate în cap. 3, care își demonstrează în mod concret eficiența și impus extinderea și în continuare a sistemului.

Pentru realizarea unui calcul rapid a eficienței economice globale a sistemului de transport cu motoare liniare, într-o aplicație concretă dată, a fost găsită o metodă operativă de calcul a caracteristicii mecanice a motoarelor liniare. Neîfiind date caracteristicile mecanice ridicate de constructor, această metodă oferă posibilitatea unui calcul teoretic realist a acestor performanțe, cunoscîndu-se o serie de parametri constructivi - geometrici și funcționali ai motorului (pas polar, număr de poli, lățimea miezului, viteză sincronă, grosimea plăcii indus, curentul primar). Prin acest calcul se poate determina apoi, cunoscîndu-se configurația traseului, numărul necesar de

motoare liniare de propulsie, aceasta din urmă având o pondere hotărâtoare asupra stabilirii volumului de investiții aferente sistemului în studiu, a costului specific al transportului și a costului specific de energie.

Pentru evitarea relațiilor de calcul extrem de laborioase ale forței de propulsie care se deduc ținând cont de manifestarea simultană a tuturor efectelor specifice motorului liniar, în cap.4, se propune determinarea unei metode mai eficiente și direct abordabile de calcul a acestei forțe prin folosirea unei teorii tehnice de câmp. Astfel, se deduc ecuațiile câmpului magnetic din întrefierul mașinii aplicând ecuațiile lui Maxwell unui model unidimensional al motorului, se determină expresia analitică a câmpului magnetic care se deplasează față de indus cu viteza undei în țesutul de curent inducție și se deduce expresia forței de propulsie, numită forță convențională, presupunându-se absența manifestării efectelor specifice motoarelor liniare. Expresia relativ simplă a forței de propulsie convenționale permite, pe baza celor menționate mai sus, o posibilitate de evaluare analitică suficient de exactă a forței de propulsie reale a motorului liniar încă de la momentul pornirii, prin cuplare la rețeaua industrială, în situația în care lățimea indusului este suficient de mare în raport cu cea a inductorului, situație în care se poate neglija efectele specifice.

În regimuri diferite de funcționare față de cea susmenționată, de manifestarea efectelor transversale și de refluxare se ține cont prin coeficienți de corecție indicați în lucrare, care determină modificarea sensibilității a conductivității $G_{Cu(Al)}$ ce intră în expresia forței convenționale. Studiul analitic al efectului longitudinal-dinamic se face în funcție de tipul indusului: la un indus continuu tip placă, unda efectului longitudinal de capăt și efectul ei de diminuare a câmpului resultant în întrefier și a forței de propulsie se manifestă la alunecări mici. La un indus tot tip placă, dar segmentat (în situația vâgnetilor), printr-o interpretare originală a desfășurării cantitative a fenomenelor, se ajunge la concluzia că un efect similar al undelor de capăt se manifestă și la alunecări mari. Evaluarea cantitativă a influenței acestor unde se face în ambele situații, prin calcularea unui raport f_0 între forțele efectului de capăt la intrare F_{0i} și cele convenționale F_0 , expresia lui f_0 fiind menționată în lucrare.

Experimentările efectuate privind stabilirea caracteristicilor mecanice și a forței de propulsie la pornire, la 3 tipuri constructive diferite de motoare liniare, au demonstrat justetea ipotezelor admise la stabilirea modelului analitic de calcul, confirmând că expresiile analitice deduse pot constitui un mijloc de estimare relativ simplu și operativ, cu o precizie suficient de ridicată, a forței dezvoltate de motorul liniar.

În cadrul subcap. în care se tratează problema găzirii unei metode optime de calcul a unor parametrii ai motorului, care să-i asigure performanțe superioare, în special din punct de vedere energetic, s-a stabilit ca și

criteriul de optim obținerea unui raport maxim forță de propulsie - putere absorbită. Prin adoptarea unui circuit echivalent al motorului și exprimarea performanțelor în acest context, criteriul optimal de calcul menționat s-a putut exprima sintetic printr-o relație care evidențiază o dependență invers proporțională între factorul de calitate și alunecarea critică a motorului. Introducând în relația susamintită alunecarea nominală în locul celei critice a rezultat o altă formă de exprimare a criteriului de optimizare enunțat mai sus: obținerea forței maxime la alunecarea nominală. Această condiție asigură scăderea numărului de motoare pe unitatea de lungime a traseului, scade costul specific și consumul specific de energie.

Aplicând acest criteriu de optimizare, pornind de la expresia forței de propulsie convenționale, s-a dedus un procedeu de calcul a unor parametri ai motorului liniar: pasul polar τ , grosimea plăcii indus conductoare d_{Cu} , produsul pulsație - alunecarea nominală $\omega \cdot s_{nk}$, ținând cont de influența efectului transversal, a saturației și a curenților turbionari din miezul magnetic masiv al secundarului. Relațiile deduse au permis recalcularea valorilor unor parametri constructivi ai motorului liniar ML - 03, la care se cunoșteau atât forța maximă, cât și alunecarea critică; prin realizarea acestora se asigură, în cazul motorului ML - 03, forța de propulsie maximă chiar în regimul nominal de funcționare. Atât noua valoare recalculată a lui τ , cât și cea a lui d_{Cu} (aceasta din urmă cu 1,3 mm mai subțire decât valoarea inițială), confirmă ideea că un criteriu de calcul optimal judicios ales oferă, pe lângă posibilitatea realizării unor performanțe superioare ale motorului liniar studiat, cum ar fi forța de propulsie superioară la alunecarea nominală, și o îmbunătățire sensibilă a indicatorilor energetici globali, noua valoare a lui τ , cu 3 mm mai mare decât cea precedentă însemnând o creștere a factorului de calitate, deci a eficienței conversiei putere electrică - putere magnetică, iar scăderea grosimii indusului de Cu înseamnă scăderea consumului de cupru și implicit a energiei înglobate în tehnologia de obținere a acestuia.

Realizarea concretă a două sisteme de transport cu motoare liniare cu caracteristici constructive diferite, experimentate în regim dinamic la stația pilot a I.P.T.V.T., prezentate în detaliu în cap. 5 a tezei, a evidențiat o serie de aspecte specifice privind construcția și exploatarea acestor sisteme, precum și posibilități ulterioare de îmbunătățire a performanțelor, în vederea unei aplicări eficiente la nivel industrial. Prin sintetizarea concluziilor rezultate, experimentările în regim dinamic, legate de performanțele sistemelor de transport apartinent 600 și 1435 mm au dovedit:

- Propulsia cu motoare ^{liniare} poate asigura în condiții optime deplasarea unui tron de vagoaneți în situația unui traseu cu rezistențe specifice la înaintare sporite (pante cu declivități de 200 ‰, stații de descărcare cu configurații geometrice complexe, curburi cu raza foarte mică raportate la spațiul vagoanelor.)

- Prin conectarea automată a motoarelor liniare numai când trenul se află deasupra lor (prin traductoare inductive de prezență), deși rezistențele de mers au valori considerabile, totuși consumurile specifice de energie au valori mici (0,66 respectiv 1,017 kWh/tkm), cu salt mai mic decât cele răspunzătoare sistemelor clasice de transport.

- Printr-o întreținere corespunzătoare a roților de rulare, a cuplajelor și a căii de rulare, sistemul de transport astfel realizat se dovedește extrem de robust și fiabil, coeficientul de utilizare în timp având valori net superioare celor clasice (aprox. 0,8).

- Printr-o tehnologie adecvată de turnare în rășină a motoarelor liniare și a traductoarelor inductive, sistemul poate funcționa fără probleme indiferent de condițiile climatice (temperaturi scăzute, zăpadă, gheață, loale, etc.), nepunându-se problema aderenței.

- Funcționarea intermitentă a motoarelor liniare produce solicitări termice puțin intense ale acestora.

- Valorile mari ale întreținerii mecanice (10 - 14 mm) determină un factor de putere scăzut al sistemului cu propulsie liniară (0,15 - 0,38) și un randament de aprox. 0,6. Pentru îmbunătățirea acestor performanțe e nevoie de realizarea unor sisteme de reglare a planității inductorilor și de deplasare pe verticală a inductorilor liniare.

- Testările efectuate la stația pilot au consacrat pentru aplicațiile ulterioare la nivel industrial, sistemele de propulsie modulare, calculele de acționare privind ridicarea diagramei de mers și amplasarea acestor module de propulsie pe tronsoane (picheți), precum și instalația electrică de forță și comandă, concepută tot în varianta modulară.

- Prin montaje experimentale de concepție originală, s-au putut realiza experimental caracteristicile mecanice a unor din motoarele liniare de propulsie, oferind date privind valoarea reală a forței dezvoltate de acestea.

- Se impune găsitrea unei tehnologii eficiente de fixare a plăcii inductoare de cupru(aluminu) de coa de fier.

- Sistemul este realizat în întregime cu componente indigene.

În capitolul 6, consacrat problematicii automatizării sistemului de transport cu motoare liniare, după prezentarea generală a problemelor complexe pe care trebuie să le rezolve automatizarea, se prezintă concret realizarea de către autor a două elemente vitale ale acestuia: traductorul de prezență de tip inductiv, având o eficiență de până la 5 cm, și traductorul liniar de viteză. Se menționează aspectele originale privind concepția, realizarea practică și sistemul de testare a acestor elemente de automatizare, arătându-se prețul de cost relativ scăzut al acestora și faptul că sînt realizate cu componente în exclusivitate indigene. În scopul realizării securității traficului, în situația în care realizarea unei capacități mari de transport ridică un număr mare de trenuri care circulă simultan pe traseu, se prezintă

o schemă realizată tot în concepție originală care asigură în mod automat păstrarea distanței de securitate între două trenuri consecutive, precum și un montaj realizat cu scopul de a decupla alimentarea întregului sistem în situația în care se constată ruperea accidentală a cuplajului dintre vagoaneți (ruperea trenului). În finalul acestei capitole se prezintă, la nivel principal, și alte soluții de automatizare ale unor procese caracteristice sistemului de transport cu motoare liniare: încărcarea secvențială, vagonet cu vagonet, a trenului, comanda pașilor succesivi fiind dată de însuși brațul excavatorului de încărcare, un sistem de estimare continuă a gradului de încărcare a silo-ului tampon pe baza unor transductoare termoelectrice sensibile la compresie și un sistem de decuplare a alimentării motorului liniar când încălzirea acestuia depășește limitele admisibile pe baza senzorului cules de pe un termistor înglobat în bobinajul motorului.

În partea finală (cap. 7) a lucrării se prezintă un calcul tehnico-economic în care se analizează două soluții de transport a unei cantități de 8400 t/h steril de urcăzică să fie evacuată de pe o treaptă de lucru a carierei de pisturi bituminose de la mână, pe un traseu cu o lungime de 1,35 km. În situația folosirii unui sistem de transport cu trenuri de vagoaneți ecartament 1435 mm, cu o lungime de 30 m pentru fiecare tren, propulsia fiind asigurată prin motoare liniare ML - 03, capacitatea de transport impune necesitatea unui număr de 47 de trenuri, deplasarea acestora fiind asigurată de un număr total de 467 motoare liniare poziționate pe traseu, dintre care sînt active 182 motoare. Rezultă o investiție totală de aprox. 194.686.000 lei, un consum specific de energie de 0,189 kWh/tkm și un cost specific al transportului de 0,731 lei /tkm/.

În situația vehiculării aceluiași cantități de material cu ajutorul camioanelor de mare tonaj, rezultă un număr total de 78 camioane, din care 39 active. În total, investiția are valoarea 546.000.000 lei, se consumă anual 29.250 kg motorină/zi (costul combustibilului este de 61.425.000 lei/an), consumul specific de energie este de 0,796 kWh/tkm iar costul specific al transportului e de 4,75 lei/tkm.

Prin compararea eficienței economice a celor două sisteme de transport, în situația sistemului cu propulsie liniară rezultă o economie de aprox. 350.000.000 lei investiții, un consum specific de energie de 4,2 ori mai mic și un cost specific al transportului de 6,5 ori mai redus.

Dacă în acestou se mai adaugă faptul că sistemul de transport cu motoare liniare nu consumă combustibil lichid, rezultă o economie de aprox. 9000 t motorină/an, necesită un număr redus de personal de întreținere și control (4 muncitori față de cei 30 necesari), nu necesită cîte două rînduri de caucuciuri /an, nu consumă energie în gol (se consumă motorină și la întoarcerea camionului gol), are un coeficient de utilizare în timp de 0,9 față de 0,5 la camioane, și poate asigura în bune condițiuni capacitatea de transport indife-

și de anotimp, chiar și iarna, pe șipaci sau șlești, rezultă alar eficiența
estai sistem de transport, care se recomandă astfel un înlocuitor potențial
sistemelor de transport clasice de mare capacitate.

./././.

BIBLIOGRAFIE

1. Atanasiu, Gh., Mașini electrice speciale, Vol. 2, curs litografiat I.P. Timisoara, 1976
2. Andrei, R., Determinarea distribuției câmpului magnetic în întreaga
rul motorului liniar, Electrotehnica, 18, 11, S417-S425, 1970
3. Antruffe, N., Le moteur linéaire, Rev. Gen. de Chemin de Fer, Nr.4 (a-
vril), p. 180 - 186, 1961.
4. Babescu, M., Determinarea repartiției câmpului electromagnetic, a para-
metrilor inducției și calcularea forței de propulsie la un
motor liniar unilateral, Rev. Rom. ICR - București, nr.30,
p.21 - 30, 1975.
5. Babescu, M., Andea, P., Asupra motorului electric liniar asincron unilateral
cu indus feromagnetic, Electrotehnica, (24) august, p.191 -
194, 1976.
6. Barna, A., Amplificatoare operaționale, Editura Tehnică, București, 1975
7. Boldea, I., Babescu, M., A multilayer approach to the analysis of single
sided linear induction motors, Proc. IEE, 125, 4, p.745-748, 1978
8. Boldea, I., Babescu, M., Miriescu, M., asupra efectului de refulare și trans-
versal la motoarele liniare unilaterale cu indus feromagne-
tic, Bul. St. și Tehn. al IPTVT, seria Electrotehnica, 18,
Fascicula 1, 1973.
9. Boldea, I., Babescu, M., Studiul la borne și la mișcarea motorului liniar unilate-
ral cu indus din aliaj de aluminiu pe șip, Bul. St. și Tehn.
al IPTVT, seria Electrotehnica, fascicula 2, p.173-181, 1976.
10. Boldea, I., Metodă de calcul și de compensare a efectului longitudinal
la motoarele liniare, Bul. St. și Tehn. al IPTVT, seria Electro-
tehnica, 18, Fascicula 1, 1973.
11. Boldea, I., Teoria și calculul caracteristicilor motorului liniar uni-
lateral cu inducția asimetrică pe șip, Electrotehnica, 9, 1973
12. Boldea, I., Studiul efectului transversal și de refulare la motoarele
liniare bilaterale cu indus plan și cu șip lateral asimetric,
Electrotehnica, 9, p. 69 - 70, 1974.
13. Boldea, I., Nasar, S.A., The optimum design criterion for linear induction
motor design, Proc. IEE, 125, 1, p.89 - 92, 1978.
14. Boldea, I., Nasar, S.A., Improvement of linear motor design for high speed single sided

- linear induction motor: a theoretical study, *Int. quart. electric machines and electromechanics*, 2, p. 155 -166, 1978.
15. Boldea, I., Nasar, S.A., Some baseline specification for an optical design of a high - speed linear induction motor, *International Symposium on Linear Electrical Motors*, 15 - 17 May, Lyon - Grenoble, 1974.
 16. Boldea, I., Contribuții privind fenomenele specifice și calculul electromagnetic al motoarelor asincrona plane liniare, *Teză de doctorat*, 1972.
 17. Boldea, I., *Vehicule pe pernă magnetică-propulsie, levitație și ghidaj*, Editura Academiei R.S.R., București, 1981.
 18. Bolton, H., Transverse edge effect in sheet rotor induction motors, *Proc. IEE*, p. 725 -739, 1969.
 19. Bland, T.G., Freeman, E.H., Circle diagram for d.c. dynamic braking of linear induction motors, *Proc. IEE*, Vol.126, No.8, aug. 1979.
 20. Bulucea, C., s.a., *Circuite integrate liniare*, Editura Tehnică, București 1976.
 21. Cartianu, Gh., s.a., *Semnale, circuite și sisteme*, Editura Tehnică, București, 1981.
 22. Centea, O., Bianchi, C., *Instalații electrice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1973.
 23. Chalmers, B.J., Tuncay, R.K., Pennan, J., Nasar, A., Studies of a linear induction motor with unlaminated secondary, *Int. Conf. on Electr. Mach.*, Brussels, paper IM 212, 1978.
 24. Chirgvin, K.M., Low-speed operation of the linear induction motor test vehicle, *Joint ASME - ASSE Transp. Engineering Meeting*, July 26 - 30, Seattle, 1971.
 25. Coma, D., Darie, S., Kaier, V., Chindriș, M., *Proiectarea instalațiilor electrice industriale*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.
 26. Creangă, E., Buznac, A., Barnu, E., *Electronica Industrială*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981.
 27. Dascălu, D., Turic, L., Hoffman, J., *Circuite electronice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981.
 28. Davey, A.V., Poate fi ignorat potențialul motoarelor liniare?, traducere în limba română din "Mechanical Handling", Anglia, 59, nr. 9, sept., p. 72 - 74, 1971.
 29. Del Cid, L., Jr., *Methods of analysis of linear induction motors*, P.H.D. Dissertation, University of Kentucky, U.S.A., 1973.
 30. Dordea, T., *Kasini electrice*, Editura Didactică și Pedagogică, București 1970.
 31. Easton, J.P., Laithwaite, E.H., Linear-motor topology, *Proc. IEE*, vol.

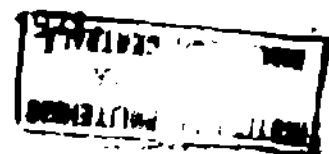
120, No. 3, March 1973.

32. Fournel, Z., Transport par couloirs roulants a moteurs lineaires, extrait de l'Industrie Minérale, vol.55, Juin, nr. 6, 1973.
33. Gălăţeanu, S.B., Amplificatoare de bandă largă, Ed. Tehnică, Bucuresti, 1961.
34. Ghiur, I., Rădoi, A., Sistem de transport cu trenuri de vagoneti acţionaţi cu motoare liniare, Seciunea de comunicări tehnico-stiintifice, Casa de Stiinţă si Tehnică, Braşov, oct. 1979.
35. Ghiur, I., Morariu, P., Le trajectoire de proximité du type inductif SPI-60, Bul. Tehn. si St. al IPTV, tom 29 (42), Fascicola 1-2, p. 29 - 32, 1983.
36. Ghiur, I., Optimizarea procesului de pornire a motorului liniar ML-02, protocol contract 160/20.05.1980 incheiat cu ICITPML Craiova, 1980.
37. Ghiur, I., Cercetări privind automatizarea sistemului de transport cu trenuri de vagoneti acţionaţi cu motoare liniare, protocol contract 160/20.05.1980, incheiat cu ICITPML - Craiova, 1981.
38. Ghiur, I., Studiu comparativ între sistemul de transport cu bandă de cauciuc si sistemul cu trenuri de vagoneti acţionaţi cu motoare liniare, protocol la contract 58/20.05.1979, 1980.
39. Ghiur, I., Rădoi, A., Experimentări privind performanţele in regim dinamic a sistemului de transport cu tren de vagoneti, ecartament 1435 mm, acţionat cu motoare liniare ML - 03 A la staţia etalon a IPTV, protocol la contract 134/1982, incheiat cu ICITPML - Craiova.
40. Ghiur, I., Procedeu si instalaţie de încărcare a unui sistem de transport minier, dosar OSIM - 120943 din 26.11.1985.
41. Ghiur, I., Rădoi, A., A high - capacity linear electric motor drive mining cars transport system, The Fifth National Conference On Electrical Drives, Iasi, May 16 - 17, 1986, B-151 ÷ B-157.
42. Ghiur, I., Automation elements of the linear motor drive mining cars transport system, The Fifth National Conference On Electrical Drives, Iasi, May 16 - 17, 1986, B - 159 ÷ B - 166.
43. Gheorghiu, I.S., Fransua, A.S., Tratat de masini electrice, vol.III, Editura Academiei R.S.R., 1971.
44. Jakubaschke, O., Noi transportoare pentru minieri in vrac, traducere in limba română din "Deutsche Haba Und Fordertechnik", R.F.G., nr. 5 bis, p. 136 - 137, mai 1970.
45. Jufer, M., Determination des caracteristiques spécifiques des moteurs lineaires, RSE, vol. 10, no.2, p. 109 - 113, 1971.
46. Jufer, M., Mattatia, S., Le moteur lineaire à un inducteur caracteristique et application, tirage à part. du Bulletin AS7/UCS, t.65,

- nr. 12, p. 830 - 851, 1974.
47. Kliman, G.B., Elliot, D.G., Linear induction motor experiments in comparison with Mesh - Matrix analysis, Proc. IAE Trans., PAS - 93, p. 1624 - 1632, 1974.
48. Laithwaite, E.R., Linear Induction Motors, Proc. Inst. Electr. Eng., Ed. 104 A, p. 461 - 470, 1957.
49. Laithwaite, E.R., Nasar, S.A., Linear - motion electrical machines, Proc. IEE, 59, 4, p. 531 - 542, 1970.
50. Laithwaite, E.R., Le développement du moteur linéaire, Machine Outil, Tome 298, p. 87 - 90, 1970.
51. Laithwaite, E.R., Eastham, J.P., Linear motor topology, Proc. IEE, vol. 120, No. 3, march, p. 337 - 343, 1973.
52. Lee, C.H., Chin, C.Y., A theoretical analysis of linear induction motors, IEE - PES Summer Meeting, Los Angeles, CA, July, 16-21, 1978.
53. Machefert, Y., Application du moteur linéaire dans les transports, R.G.E. Tom 80, No. 2, p. 121-130, 1971.
54. Mattatia, S., Application des moteurs linéaires à induction à la maintenance, étude comparative de structures possibles, Symposium International sur les Moteurs Electriques Linéaires, Lyon, 15 mai 1974.
55. Matsumura, T., Tagaki, K., End effect and equivalent circuit of linear induction machines, Electrical Engineering in Japan, Vol. 91, No.1, p. 117 - 127, 1971.
56. Mitrofan, Gh.I., Generatoare de impulsuri și de tensiune liniar variabilă, Editura Tehnică, București, 1981.
57. Mosebach, H., Mühs, T., Pierson, E.S., Herman, D., Finite length effects in linear induction machines with different iron contours, IEE- IAS Annual Meeting, p. 935 - 942, 1975.
58. Nasar, S.A., Boldon, I., Linear motions electric machines, John Wiley and Sons, U.S.A., 1975.
59. Nasar, S.A., Electromagnetic fields and forces in a linear induction motor, taking into account edge effects, Proc. IEE, vol.116, No.4, April, p. 605 - 609, 1969.
60. Nicolau, Ed., Manualul inginerului electronist. Măsurî electronice, Editura Tehnică, București, 1972.
61. Nonaka, S., Matsuzaki, M., Analysis of Performances of Various Primary Windings of High - Speed Linear Induction Motors, Electrical Engineering in Japan, Vol. 99, No. 3, 1979.
62. Nonaka, S., Yoshida, K., Characteristics of linear motors with sandwich compound conducting plates, Electrical Engineering in Japan, vol. 91, No. 1, p. 183-193, 1971.
63. Oberman, h.M.M., Fundamentele electronice, Ed. Tehnică, București, 1978.
64. Oberretl, K. Dreidimensionale Berechnung des Linear motore mit Berücksicht-

- tigung der Endeffekte und der Wicklungverteilung, Archiv für Elektrotechnik 55, 8.4, p. 181-190, 1973.
65. Oberretl, K., Einseitiger Linearmotor mit Käfig im Sekundärteil, Archiv für Elektrotechnik 56, p.309-319, 1974.
66. Owa, E.R., Linearmotoren und ihre Anwendung, Elektrotechnik und Maschinenbau, Sonderdruck aus 89, Jahrgang, Heft 2, Wien, 1972.
67. Pillai, P.P., Fundamental - frequency eddy - current loss due to rotating magnetic field, part. 1 and 2, Proc. IEE, 116, nr.3, march, p. 407 - 414, 1959.
68. Pierson, L.S., Manitzsch, R., Kühns, T., Rosebach, H., Predicted and measured finite - width effects in linear induction machines, IEE - IAS annual Meeting, p. 943 - 948, 1975.
69. Poloujadoff, M., Theory of linear induction machines, Clarendon Press, England, 1966.
70. Poloujadoff, M., Sabonnadière, J.C., Étude de déséquilibre des courants d'alimentation dans un moteur linéaire poliphasé à induction, Séminaire de cardiologie Stintifică, Bucuresti, 1971.
71. Poloujadoff, M., Sabonnadière, J.C., Étude des courants induits dans le secondaire d'un moteur linéaire à inducteur court, alimenté par un système de courants équilibrés, C.R. Acad. Sci. 29 Janvier t. 266, p. 272-275, 1966.
72. Poloujadoff, M., Le moteur linéaire: développements récents, Mem.Soc.Sc. Phys. Nat. Bordeaux, vol. spécial - Congrès A.F.A.S., 1963.
73. Poloujadoff, M., Perfectionnement à la théorie des moteurs d'induction linéaires destinés à la traction, C.R.Acad.Sc.Paris, t.263, p. 605 - 607, 29 août, 1966.
74. Poloujadoff, M., Royx, P., Étude théorique et expérimentale de l'influence des sections de retour sur le fonctionnement de moteurs d'induction linéaires à inducteur court, C.R. Acad.Sc. Paris, t.263, p. 700-702, 3 oct. 1966.
75. Poloujadoff, M., Sabonnadière, J.C., Les hypothèses de calcul des moteurs linéaires à induction, P.C.F., vol.80, No.1, p.29-35, 1971.
76. Pietrărcanu, E., Tablouri electrice de distribuție de joasă tensiune, Ed. Tehnică, Bucuresti, 1975.
77. Pop, E., Stoica, V., Principii și metode de măsurare numerică, Editura Facultății, Timișoara, 1977.
78. Pop, V., Popovici, V., Circuite de calculare aplicate la calculatoare electronice, Ed. Facultății, Timișoara, 1976.
79. Powell, R.B., Linear induction motor research vehicle, Reaction rail edge effect investigation, U.S. Department of Transportation, Contract DOT.FR - 40016, Final Report, Washington DC, 20590, april 1976.

80. Preston, T., Fosco, A.B.J., Transverse edge effects in linear induction motors, Proc, IEE, 116, p. 973-979, 1979.
81. Rădoi, A., Proiectarea instalațiilor electrice industriale, curs litografiat, IPTVT, 1981.
82. Rădoi, A., Ghiur, I., Sistem de transport minier acționat cu motoare liniare pentru cariera de sisturi bituminose de la Anina, Document de comunicații tehnico - științifice, ICITPML - Craiova, 12-13.XII. 1980.
83. Rădoi, A., Ghiur, I., Sisteme de transport cu jghiaburi rulante acționante cu motoare liniare, Bul. Tehn. și St. al IPTVT, tom 25(39), Fascicola 2, p. 59-61, 1980.
84. Rădoi, A., Ghiur, I., Demontarea de pe vechiul amplasament și montarea pe noul amplasament (în incinta IPTVT) a stației etalon, raport de etapă, contract 160/28.05.1980, încheiat cu ICITPML - Craiova, 1980.
85. Rummich, R., État de développement et possibilités d'application de moteurs linéaires, Bal.REE, Tom. 63, p.1093-1098, sept. 1972.
86. Sacl, C., Topa, I., Frăsescu, Al., Micu, E., Acționări electrice și automatizări, Ed. Didact. și Pedag., București, 1980.
87. Sandu, D., Probleme moderne de tehnica impuleurilor, Editura Academiei, București 1975.
88. Sakabe, S., Iwanoto, M., Shinryo, Y., Experimental Study of High-Speed Linear Induction Motor, Electrical Engineering in Japan, vol. 95, No.1, p. 87-92, 1975.
89. Sakabe, S., Iwanoto, M., Characteristics of single sided linear induction motors, Electrical Engineering in Japan, vol.95, No.6, 1975.
90. Bankaran, R., Pillai, K.P.P., Muralidharan, K.A., Voltage fed operation of linear induction motors under conditions of supply unbalance, Proc.IEE, vol.126, No.4, April 1979.
91. Seracin, E., Popovici, D., Tehnica acționărilor electrice, Editura Tehnică, București 1985.
92. Szalaki, C.A., Application of a general analysis for single-sided linear induction motors, Technical Report, Conference on Linear Electric Machines, May, London, England, 1974.
93. Stickler, J.J., Evaluation of linear induction motor characteristics: the Yamamura model, U.S. Department of Transportation, Contract DOT-EBC-FRA-75-1, Int. report, Washington DC 20590, april 1975.
94. Turrinelli, E., Aplicații ale motoarelor liniare la instalațiile de ridicat și transportat materiale, traducere în limba română din "Transporti Industriali", Italia, 16, nr.133, mar. 1970.
95. Văzărescu, A., s.a., Circuite cu semiconductoare în industrie. Amplificatoare și oscilatoare, Ed. Tehn., București,



96. Vățărescu, A., s.n., Dispozitive semiconductor. Ed. Tehn., Bucuresti, 1975.
97. Victorri, M., Lineare induktionsmotoren, Sonderdruck aus, "Elektrotechnische Zeitschrift", Ausgabe E, Heft 23, Seiten 535 bis 540, 1969.
98. Venkataratnam, K., Ramachandra Raju D., Analysis of eddy-current brakes with nonmagnetic rotors, Proc. IEE, Vol. 124, No. 1, p. 67-71, Jan. 1977.
99. Wenzel, J.M., Söthe, H., Das azbz-System, Weserhütte, Bad Deynhause, Germany, 1972.
100. Wiart, A., Groupe propulseur à moteur linéaire et convertisseur électronique, R.G.E., No. 84, No. 2, Janvier, 1975.
101. Wiart, A., Séparation des variables dans l'étude des courants de moteurs linéaires ou rotatifs à courants de Foucault, R.G.E., Tome 80, nr. 1, Janvier, 1971.
102. Yamamura, S., Ito, H., Ishikawa, Y., Theories of the linear induction motor and compensated linear induction motor, IEE, Winter Meeting, New York, 1972.
103. Yamamura, S., Theory of Linear Induction Motors, John Wiley, 1972.
104. Yoshida, K., Nonaka, S., Levitation forces in single-sided linear induction motors for high-speed ground transport, IEE Transactions on magnetics, Vol. Mag. 11, No. 6, nov. 1975.
105. ■■■■■ Circulara normativă nr. 1, adoptată de Conferința Mondială a Energiei, cu ocazia celui de-al XII-lea Congres al Conferinței Mondiale a Energiei, New Delhi, India.
106. ■■■■■ Colectiv de elaborare ICCR, - Circuite integrate digitale, IPRS, Bucuresti, 1978 - 79.
107. ■■■■■ Condensatoare (catalog), IPRS, Bucuresti, 1978 - 79.
108. ■■■■■ IECRNC, Normativ privind proiectarea și executarea instalațiilor electrice la consumator, cu tensiuni până la 1.000 V, Bucuresti 1975.
109. ■■■■■ MEE, Instrucțiuni pentru proiectarea stațiilor de conexiuni și transformare.
110. ■■■■■ MEE, Instrucțiuni privind compensarea puterii reactive la consumatori industriali și similari.
111. ■■■■■ MEE, Instrucțiuni privind compensarea puterii reactive în rețelele de distribuție exploatare de IRR.
112. ■■■■■ MEE, Normativ privind proiectarea instalațiilor de protecție prin relee și automatizări.

././././.

A N E X A 1

ELEMENTE DE CALCUL ALI DIAGRAFEI DE MERȘ SI A CONSUMULUI DE ENERGIE LA SISTEMUL DE TRANSPORT CU TRENURI DE VAGO- NETI ACȚIONATI CU MOTOARE ELECTRICE LINIARE

Un rol determinant în calcularea indicilor de eficiență economică a sistemelor de transport material cu trenuri de vago^{ne}ți acționați cu motoare liniare îl are stabilirea diagramei de mers a sistemului de transport, calculată pentru traseul concret stabilit din exploatare.

Prin calcularea diagramei de mers, se pot stabili cu precizie următoarele date referitoare la sistemul de transport analizat:

- 1). Numărul de motoare liniare care asigură propulsia trenului pe fiecare unitate de lungime a traseului, cu implicații determinante privind consumul specific de energie și costul specific al transportului.
- 2). Durata totală a unui ciclu complet de transport (încărcare - descărcare - revenire la punctul de încărcare).
- 3). Numărul total de trenuri, care să asigure capacitatea de transport impusă, având, de asemenea, un rol important la determinarea costului specific al transportului.
- 4). Consumul de energie al sistemului de transport pe parcursul unui ciclu complet de transport, determină^{nt} la stabilirea cheltuielilor de exploatare ale sistemului analizat.

Referitor la calculul diagramei de mers caracteristic sistemelor de transport cu motoare liniare, înainte de prezentarea sintetică a algoritmului concret de calcul, se fac următoarele precizări:

- La capacități de transport mici, sub 500 t/h și distanțe de transport scurte, sub 500 m, se recomandă folosirea căilor de rulare simple. Caracteristic căii simple este faptul că trenul gol se întoarce pe aceeași cale de rulare pe care a circulat încărcat, propulsia fiind asigurată cu o parte din motoarele care au asigurat deplasarea trenului încărcat, prin reversarea sensului cimpului magnetic alunecător al motoarelor liniare. Soluția căii simple se adoptă în situația unui număr^{de} maxim 2 trenuri în timp ce un tren încărcat parcurge traseul spre stația de descărcare, celălalt se află în stația de încărcare situată pe o ramificație a traseului, accesul său pe magistrală comandându-se automat printr-un macaz.

- La capacități de transport mari (până la 10.000 t/h), asigurarea vehiculării acestor volume mari de material se face prin folosirea unui număr

mare de trenuri pe traseul căii. În această situație, întoarcerea trenurilor goale trebuie să se facă pe o ramură distinctă a traseului, impunându-se folosit sinea în această situație a căilor duble. La acest tip de cale, trenul gol se întoarce pe o cale distinctă, paralelă cu cea corespunzătoare vehiculării sale în stare încărcată, cu motoare liniare de propulsie, destinate, poziționate pe această ramură.

- Pentru stabilirea lungimii trenului, se ține cont de următorii factori: granulația materialului transportat, lungimea și profilul longitudinal al traseului, caracteristicile motorului liniar de propulsie, precum și de lungimea și configurația stației de descărcare, impusă de consistența geologică a terenului, forma și capacitatea de umplere a haldei. În situația unor capacități mari de transport și distanțe de transport de 1 - 2 km, numărul mare de trenuri care se deplasează simultan pe traseul cu lungimea menționată implică o distanță de securitate relativ mică între trenuri, aceasta având ca rezultat necesitatea alegerii unor trenuri scurte.

- În scopul deplasării pe traseu, modulele de propulsie, formate dintr-un anumit număr de motoare liniare, se vor plasa astfel încât un modul să asigure propulsia trenului până când primul vagonet al acestuia este "prins" de modulul următor, adică distanța dintre două module consecutive (așa numita distanță dintre picheti) trebuie să fie ceva mai mică decât lungimea trenului.

- Acolo unde profilul traseului o permite, se va folosi, pe distanțe cât mai lungi, accelerația gravitațională a trenului (respectiv sistemul hibrid motor liniar - gravitație). Dacă pe traseu există zone lungi cu declivități negative, pentru a preîntâmpina accelerația trenului la viteze ce depășesc limitele prescrise, se instalează în aceste porțiuni ale traseului motoare liniare ML - 02 sau ML - 03 ce vor funcționa în regim de frinare suprasincronă. Pentru a preîntâmpina posibilitatea de accelerare a trenului pe pante pronunțate în situația căderii rețelei de alimentare, fenomen care anulează motiunea de propulsie sau frinare a motoarelor liniare poziționate în aceste zone, se vor prevedea în aceste porțiuni ale traseului frâne mecanice de siguranță cu sașeti.

În scopul ridicării diagramei de mers, atât la deplasarea trenului plin, cât și a celui gol, trebuie ținut cont de următoarele date necesare:

- profilul longitudinal al traseului, cu menționarea declivităților, punctelor de încărcare, a diferitelor lungimi;
- lungimea trenului L [m]; aceasta decide, după cum s-a menționat, distanța dintre picheti și numărul acestora;
- masa specifică a trenului gol, q_0 [kg/m];
- masa specifică a trenului încărcat, q [kg/m];
- tipul și caracteristicile mecanice a motorului liniar folosit în propulsie;
- accelerațiile impuse la pornirea trenului, a_p [m/s²];

- limitele de viteză admise la încărcare, descărcare, pe magistrală;

[m/s];

- lungimea stației de locomotivă l_{sp} [m];

- tehnologia de încărcare (continuu, vagonet cu vagonet, etc);

- rezistențele specifice de înaintare ale trenului (w), [N/k]. La

stabilirea acestuia, trebuie ținut cont de funcționarea sistemului de transport, tot timpul anului, inclusiv iarna, considerând variația viscozității agentului de ungere a lagărelor roților de rulare cu temperatura mediului. În general, pentru suprafețe drepte și orizontale, se poate considera $w_{med} = 15$ N/k determinat experimental.

Pe baza acestor date inițiale, se vor da în continuare relațiile de calcul necesare determinării dimensiunilor de serie pentru trenul de vagonați.

Calculul se face pe tronșoane, respectiv pe picheti, pentru fiecare tronșon aplicându-se ecuația mișcării:

$$F - F_r = M \cdot a \quad (A.1)$$

unde:

F = forța motoare, care este produsul dintre numărul de motoare liniare N_{ML} ce acționează asupra trenului pe tronșonul respectiv și forța de propulsie F dezvoltată de un motor, rezultată din caracteristica mecanică $F = f(v)$ a motorului.

F_r = forța rezistenței întâmpinate la înaintarea trenului, care depinde de declivitatea i a fiecărui tronșon j după relația:

$$F_{rj} = \sum_{j=1}^n (w \pm i_j) q \cdot L_j = Q \sum_{j=1}^n (w \pm i_j) \frac{L_j}{L} \quad [N] \quad (A.2)$$

când i se modifică pe porțiuni L_j (cu $\sum_{j=1}^n L_j = L$), sau:

$$F_{rj} = (w \pm i) q \cdot L = (w \pm i) Q \quad [N], \quad (A.3)$$

când $i_j = i = \text{ct.}$ pe toată lungimea trenului. Se consideră i negativ când trenul coboară pe partea descendentă. În relațiile (A.1), (A.2) și (A.3) se mai notă: M = masa trenului; $k = q \cdot L$ [N]; a = accelerația imprimată trenului pe tronșon; $Q = qLg$ = greutatea trenului [N], g = accelerația gravitațională.

Pentru a putea porți trenul încercat din orice punct al traseului, în situația în care, prin chiderea rețelei de alimentare, trenul se oprește undeva pe traseu, numărul de motoare liniare instalate pe fiecare tronșon (în fiecare pichet) trebuie să satisfacă relația:

$$N_{MLp} > \frac{(w \pm i) \cdot Q}{F_p} \quad (A.4)$$

unde F_p [N] reprezintă valoarea forței dezvoltată la pornire de un motor liniar, valoarea luată din caracteristica sa mecanică. Condiția " $>$ " impusă lui N_{MLp}

(rel. A.4) asigură, prin luarea unui număr de motoare liniare de propulsie mai

pare decât cel care ar rezulta pentru învingerea rezistențelor de mers întâmpinate, o rezervă de forță activă, necesară pentru pornirea trenului în situații deosebite, cum ar fi: scăderea accidentală a tensiunii de alimentare, creșterea sensibilă a întrefierului, etc.

Efectuând (A.4) și alegând prima valoare întreagă pentru $N_{p,0}$, notată N_p , se recalculează a_p :

$$a_p = \frac{N_p \cdot F_p - (w \pm 1)Q}{M} \quad [m/s^2] \quad (A.5)$$

Motoarele liniare calculate după rel. (A.4) constituie așa numitele motoare instalate pe traseu. Dintre acestea, numărul de motoare care va funcționa efectiv în regimul normal al desfășurării transportului va rezulta astfel:

Numărul de motoare active de la începutul unui tronson carecare k (din pachetul k) va fi:

$$N_{a,k} = \frac{(w \pm i_k)Q + a_k \cdot M}{F_k}, \quad (A.6)$$

unde i_k este declivitatea tronsonului k , iar F_k o valoare a forței de propulsie dezvoltate de un motor liniar la o viteză concretă a trenului pe tronsonul respectiv (se ia din $F = f(v)$).

Se efectuează (A.6) și se alege valoarea întreagă imediat superioară, rezultă astfel $N_{a,k}$. Apoi se recalculează a_k :

$$a_k = \frac{N_{a,k} \cdot F_k - (w \pm 1)Q}{M} \quad [m/s^2] \quad (A.7)$$

După cum se constată, acționarea cu grupul de propulsie de pornire se face doar în primul tronson al traseului. Acesta se consideră cel din stația de încălzire din care trenul pleacă pe magistrală. Odată trenul pornit, modulele vor avea active întotdeauna un număr mai mic de motoare decât cele instalate pentru pornirea din orice punct a trenului, datorită valorii mai mari a forței dezvoltate de motor la o viteză crescătoare (evident, până la F_k) decât valoarea corespunzătoare pornirii (F_p) (vezi caracteristica $F = f(v)$ a motorului liniar ML 03).

În continuare, se pot calcula:

- viteza la sfârșitul tronsonului k :

$$v_k = \sqrt{v_{k-1}^2 + 2a_k l_k} \quad (A.8)$$

unde v_{k-1} este viteza trenului la sfârșitul tronsonului $k-1$ [m/s], iar l_k este lungimea unui tronson [m]

- timpul de parcurgere a tronsonului k :

$$\Delta t_k = \frac{v_k - v_{k-1}}{a_k} = \frac{v_{k-1}}{a_k} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2a_k l_k}{v_{k-1}^2}} \right) \quad (A.9)$$

Punctul de plecare al calculului îl constituie stația de încălzire

a trenului: se presupune că trenul încărcat pornește din repaus ($V_0 = 0$), de pe o suprafață orizontală ($i_0 = 0$) iar $a_1 = a_p$ (primul tronson parcurs va avea $k = 1$). Calculele se fac apoi din pichet în pichet, până la stația de descărcare SD, stație care o de tip torsional. Aici, în urma descărcării, datele trenului se modifică: q devine q_0 , $Q \rightarrow Q_0$, $M \rightarrow M_0$. Rezistența specifică la înaintare a trenului în SD, dată fiind configurația sa spațială complicată, precum și procesul de torsionare însoțit de creșterea frecărilor la contracția, va avea o valoare $w_{SD} \approx 40 - 50$ N/kN. În continuare, trenul gol străbate calea de întoarcere (la calea dublă). Calculele se fac similar, dar se ține cont că, această porțiune fiind de obicei paralelă cu calea de dus, declivitățile i_x își schimbă semnul.

Proiectarea se face astfel încât vitezele rezultate pe tronsoanele k să rezulte apropiate de valoarea la care forța de propulsie este maximă (din caracteristica mecanică a motorului).

Particularizând algoritmul de calcul și observațiile făcute pentru profilul dat la cap.7, fig. 66, s-au calculat diagramele de mers pentru trenul plin, respectiv gol, ținând cont de următoarele date concrete: $q_0 = 600$ kg/m; $q = 2600$ kg/m; lungimea traseului: 1350 m; lungimea trenului: 30 m; distanța dintre picheti: 25 m; $k = 54$ picheti; caracteristica mecanică a motorului liniar o dată în fig. 29; $a_p = 0,1$ m/s²; $l_{SD} = 25$ m; încărcarea vagoanelor se face secvențial, vagonet cu vagonet, în mod automat, după principiul redat în subcap. 6.5; s-au luat $w_{mod} = 15$ N/kN pe suprafața dreaptă și orizontală, iar $w_{SD} = 50$ N/kN.

Ținând cont de cele precizate, se prezintă în continuare situația amplasării motoarelor liniare rezultată prin calcul pe diferitele porțiuni ale traseului:

1). Magistrala de transport tren încărcat:

- numărul de motoare liniare poziționate pe traseu, asigurând pornirea trenului din orice punct al acestuia: $N_p = 406$ motoare.
- numărul de motoare liniare active, funcționând în situația cînd transportul se desfășoară în condiții normale: $N_a = 126$ motoare.

2). În stația de descărcare, pentru a asigura propulsarea și scuturarea trenului din stație, s-au montat, în zonele orizontale, un număr $N_{SD} = 10$ motoare.

3). Magistrala de transport tren gol:

- poziționate pentru pornirea din orice punct: $N_p = 44$ motoare;
- numărul motoarelor liniare active: $N_a = 39$, din care 21 în regim de frinare suprasincronă, în sens cu declivitatea - 80 ‰.

4). Numărul de motoare care asigură deplasarea vagonet cu vagonet a trenului în stația de încărcare: $N = 7$ motoare.

Rezultă numărul total de motoare liniare montate pe calea dublă:

$$N_{TL} = 406 + 10 + 44 + 7 = 467 \text{ motoare, din care active sînt } N_{La} =$$

182. Acestea din urmă vor fi luate în considerare la calculul consumului specific de energie al sistemului.

Pe baza diagramei de mers calculate, cunoscându-se, aplicând relațiile de formă (A.9), timpul de parcurgere al fiecărui tronson k al traseului, atât pentru trenul încărcat, cât și descărcat, se poate calcula timpul de străbătere al întregului traseu de către tren:

$$T = \sum_{k=1}^{k_{\max}} \Delta t_k \quad [\text{s}] \quad (\text{A.10})$$

Luând în considerare și durata încălzirii trenului, t_1 , rezultă durata unui ciclu complet de transport realizat de un tren:

$$T_{\text{ciclu}} = T + t_1 \quad [\text{s}] \quad (\text{A.11})$$

Cunoscându-se numărul de cicluri (curse) complete de transport efectuate de un tren într-o oră:

$$n_{ct} = \frac{3600 [\text{s}]}{T_{\text{ciclu}}} \quad [\text{curse/oră}] \quad (\text{A.12})$$

rezultă numărul de trenuri N_t necesar asigurării unei capacități de transport orare impuse, Q_h [t/h]:

$$N_t = \frac{Q_h}{n_{ct} \cdot Q_{ht}} \quad (\text{A.13})$$

unde cu Q_{ht} s-a notat capacitatea de transport a unui tren la o cursă completă [t/ciclu].

Așa cum s-a menționat la începutul acestor considerații, cunoscându-se diagramele de mers, se poate calcula pe baza ei și consumul de energie (inclusiv consumul specific de energie) al sistemului de transport cu motoare liniare,

Astfel, în conformitate cu diagramele de mers, fiecare grup de motoare liniare e conectat la rețea o anumită perioadă de timp, care diferă de la un tronson la altul. Un calcul exact privind consumul de energie s-ar putea face prin însumarea energiilor consumate de fiecare modul de propulsie în timpul unui ciclu de transport, cunoscându-se puterea dezvoltată de un motor liniar din modul, numărul acestor motoare/modul, precum și timpul de parcurgere al tronsonului k de către trenul propulsat de modulul k (rol. A.9). Acest calcul fiind destul de laborios, se va prezenta în continuare, de asemenea, o relație de calcul aproximativă, dar acoperitoare, mai simplă, care ia în considerare viteza medie a trenului și un timp mediu de conectare a motoarelor liniare.

Conform relației de calcul exacte, energia electrică consumată pe oră W_h va fi:

$$W_h = n_c \sum_{k=1}^{k_{\max}} (N_{ak} \cdot \Delta t_k) \cdot P_{gl} \cdot \frac{1}{3600} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{A.14})$$

Într-o relație de calcul aproximativă, pe care aceeași scriere, este:

$$W_h \text{ aprox} = N_{ML \text{ conectate}} \cdot P_{HL} \cdot \frac{N_t \cdot n_{c1} \cdot t_f}{3600} \quad [\text{kWh}] \quad (\text{A.15})$$

În relațiile (A.14) și (A.15) s-au mai notat: P_{HL} = puterea activă absorbită de un motor liniar [kW]; $P_{HL} = 0,5 = 30 \text{ kW}$; $t_f = L/v_{\text{med}}$ [s] este timpul mediu de conectare a unui motor liniar.

$$N_{ML \text{ conectate}} = \sum_{k=1}^{k_{\text{max}}} N_{a_k} \quad \text{În relația (A.15), acest factor se ia cu}$$

semnul (-) în situația frînării suprasincrone recuperative (situația trenului pe traseu cu declivități negative), N_{ML} real fiind înmulțit cu 0,5 (randamentul de recuperare estimat).

Consumul specific de energie pe oră va fi:

$$C_{SV} = \frac{W_h}{Q_h \cdot l_t} \quad [\text{kWh/tkm}] \quad (\text{A.16})$$

unde l_t [km] reprezintă distanța dintre stațiile de încărcare și descărcare (distanța pe care se vehiculează marciha utilă Q_h).

Consumul anual de energie va fi:

$$W_a = N_a \cdot 300 \text{ zile/an} \cdot 12 \text{ ore/zi} = 3600 W_h \quad [\text{kWh/an}], \quad (\text{A.17})$$

unde s-a considerat că sistemul de transport analizat funcționează 12 h/zi și un număr de 300 zile/an.

...//...//...