

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

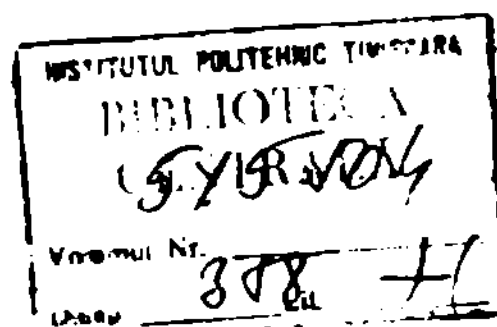
**Ing. NEŞCA VALERIAN**

**INSTALATIE RECUPERATIVA PENTRU INCERCAREA  
MOTORELOR ASINCRONE**

**Teză de doctorat**

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIŞOARA

**CONDUCATOR ŞTIINŢIFIC:  
Prof.dr.ing. NOVAC IOAN**





## INTRODUCERE

Motorul asincron are o vastă utilizare în acționări electrice, fiind cel mai răspândit motor electric. Aceasta se datorează simplității lui constructive, costului său redus, robusteții și siguranței sale în funcționare.

Înainte de a fi pus în funcțiune, într-un anumit scop, motorul asincron, ca orice mașină electrică construită în serie mare, serie mică sau unică, trebuie să fie încercat pe standul de probă al fabricii constructoare. Scopul urmărit, cu această ocazie, este de a constata dacă mașina respectivă corespunde, din punct de vedere funcțional, la parametrii prevăzuți în proiect.

De aceea se impune ca fabricile constructoare de mașini electrice rotative să posede standuri de încercare corespunzătoare, care să permită verificarea judicioasă a mașinilor, pentru a se garanta buna funcționare în exploatare. Totodată, standurile trebuie să permită efectuarea de probe standardizate cât și speciale pentru încercarea prototipurilor sau diverselor variante constructive noi.

Încercările industriale ale mașinilor electrice sînt de următoarele categorii: de tip, de lot, după reparație, speciale și de cercetare.

Încercările de tip au ca scop să stabilească direct toate caracteristicile înscrise în standarde, precum și concordanța acestora cu cele impuse de standardele respective. Deoarece necesită un volum mare de muncă, aceste încercări se fac numai pe un număr mic de mașini alese din lotul de fabricație al seriei de mașini.

Încercările de lot se execută la aproape toate mașinile fabricate. Ele cuprind numai o parte din încercările de tip și reprezintă minimumul de încercări care permit să se întrevadă dacă mașina satisface prevederile standardului general.

Încercările mașinilor reparate sînt executate după un program stabilit de întreprinderea care execută reparația, conform STAS.

Încercările de tip, de lot și după reparație constituie

**Încercările industriale normale ale mașinilor electrice.**

Încercările speciale se efectuează suplimentar față de cele de tip și lot, după un program special, cu scopul de a verifica dacă mașina satisface performanțele speciale cerute prin condiții tehnice.

Încercările de cercetare se efectuează la mașini de tip, serie și variantă dată, după un program elaborat pentru unul din scopurile de mai jos:

- obținerea unor date noi, inițiale pentru proiectarea unor noi tipuri de mașini și pentru perfecționarea celor existente;
- stabilirea posibilității de a economisi sau înlocui unele materiale;
- verificarea unui nou proces tehnologic;
- elaborarea unei noi metode de calcul;
- cercetarea unor noi scheme și combinații de mașini.

Tema de doctorat este structurată pe cinci capitole după cum urmează:

Capitolul 1 cuprinde metode de încărcare ale motoarelor asincrone în procesul de încercare, precum și scheme de încercare cu și fără recuperare de energie cunoscute în prezent. Se face o descriere a metodelor și schemelor prezentate, însoțite de schițele explicative aferente. De asemenea, se face un studiu critic al acestora, privind avantajele și dezavantajele lor, precum și propuneri concrete cu privire la utilitatea lor. S-a insistat mai mult asupra schemelor recuperative întrucât din această categorie face parte și schema propusă de autor, care de altfel, face obiectul prezentei teze de doctorat.

Acest capitol poate fi considerat și ca o monografie cu privire la schemele de încercare ale motoarelor asincrone.

Capitolul 2 tratează instalația recuperativă de încercare a motoarelor asincrone propusă de autor. Astfel, se prezintă schema instalației cu descrierea componentelor și modului de pornire și funcționare în procesul de încercare. De asemenea, se arată situațiile în care poate fi încercat un motor asincron, avându-se în vedere condițiile de lucru din procesul de producție. În funcție de natura, tensiunea de alimentare și curentul

din statorul motorului ce urmează a fi încercat, se adoptă variante optime de folosire a instalației propuse. Această constă în faptul că față de schema de bază se mai pot adăuga unul sau două transformatoare de adaptare, precum și un reostat în circuitul intermediar al motorului. Tot în acest capitol se prezintă sistemul de ecuații ce caracterizează fiecare componentă în parte, precum și funcționarea de ansamblu a instalației. S-a elaborat un program de calcul pentru calculatorul UNIVAC G-456, în vederea determinării caracteristicilor motorului încercat, precum și ale celorlalte componente ale instalației. De asemenea, se prezintă dependența dintre alunecările motorului și generatorului asincron, precum și modul de rezolvare a ecuației de dependență. În final se arată modul de dimensionare a instalației.

Capitolul 3 conține descrierea și studiul motorului și blocului de comandă necesare funcționării instalației propuse. Astfel, se deduc expresiile tensiunii redresate de la bornele redresorului, respectiv inverterului și în final la bornele motorului. Se prezintă grafic variațiile acestor tensiuni pentru diverse valori ale unghiului de comandă. Apoi, se calculează valorile medii ale tensiunii redresate a motorului pentru diferite valori ale unghiului de comandă. De asemenea, se determină expresia de calcul a curentului mediu și a puterii din circuitul intermediar al motorului și se reprezintă variația curentului respectiv în funcție de unghiul de comandă, având ca parametru tensiunea de la bornele generatorului asincron.

Tot în acest capitol este prezentat și blocul de comandă al inverterului. Ca o particularitate, se menționează faptul că diversele tensiuni necesare unor componente ale blocului de comandă sînt obținute de la un sistem de surse special construit în acest scop.

Capitolul 4 cuprinde validarea experimentală și eficiența economică a instalației recuperative propuse.

Astfel, se prezintă o serie de caracteristici funcționale experimentale în cazul a trei motoare asincrone de puteri diferite (10 kW, 160 kW și 320 kW). Se precizează de la început că aceste caracteristici au confirmat, practic, calculele efectuate. Pentru o informare mai operativă, la încercarea nominală, pe gra-

ficele respective s-au notat valorile mărimilor reprezentate.

La motorul de 10 kW s-au oscilografiat tensiunile și curenții la mersul în gol și la încălcarea maximă considerată. Sub formă tabelară se prezintă bilanțul puterilor, în cazul a trei încercări ale motorului încercat ( $U/A_M = 1; 1,25$  și  $1,5$ ).

Prin fotografii se arată variațiile unor mărimi ale componentelor electronice, inclusiv componentele respective și vederea de ansamblu a instalației realizate.

În final, se prezintă un calcul economic privind durata de amortizare a instalației, în cazul celor trei tipuri de motoare considerate.

Capitolul 5 cuprinde considerenții finale și concluzii.

Astfel, în prima parte, se prezintă principalele argumente de prioritate ale instalației propuse, față de celelalte instalații similare cunoscute. În continuare, se enumeră cele mai importante contribuții ale autorului, în ceea ce privește instalația realizată.

În final, se consemnează câteva concluzii cu privire la instalația propusă și realizată.

■

Cu această ocazie doresc să aduc sincere și călduroase mulțumiri, pentru îndrumarea competentă și permanentă, conducătorului științific prof.dr.ing.Ioan Novac, care prin talentul și metodică de care dispune în activitatea didactică și științifică pune suflet în tot ceea ce face cu multă competență, promptitudine și generozitate.

Totodată, transmit calde mulțumiri prof.dr.ing.Vlad Vladuțeanu care, prin bunăvoința ce-l caracterizează, mi-a împrumutat o serie de piese necesare realizării instalației.

De asemenea, aduc sincere mulțumiri ing. Galben Gh. și sing.Joana Ios de la standul de încercări mașini electrice din cadrul Întreprinderii Electropatere din Craiova, care împreună cu angajații de la locul respectiv de muncă, mi-au dat tot concursul în cadrul încercărilor efectuate, la fața locului, pe

maşini sincrone de mare putere.

Mulţumesc personalului tehnic de la Colectivul de Utilizări şi Maşini Electrice care m-a ajutat la montarea instalaţiei în laboratorul 2004 de la Facultatea de Electrotehnică din Timişoara, precum şi studenţilor care în cadrul orelor de Activitate de Cercetare şi Proiectare au contribuit la realizarea practică a unor componente din cadrul instalaţiei.

În încheiere, mulţumesc tuturor celor care m-au ajutat în perioada de elaborare a tezei de doctorat.

## Capitolul 1

### METODE DE INCARCARE SI SCHEME DE INCERCARE A MOTORILOR ASINCRONE UTILIZATE IN PREZENT

#### 1.1. Metode de încărcare a motoarelor asincrone

Încărcarea progresivă a motorului asincron de la mersul în gol la sarcina dorită în vederea determinării caracteristicilor de funcționare se poate realiza prin diverse procedee în funcție de împrejurări, cel mai frecvent utilizându-se metoda cu o mașină electrică rotativă care funcționează în regim de generator.

Legătura mecanică dintre motorul de încercat și generatorul de încărcare se poate face fie elastic cu transmisie prin curea, fie rigid prin cuplaj mecanic. Primul mod de legătură se pretează în cazul încărcărilor mici, deoarece la încărcări mari apare inconvenientul de patinare a curelei. Alți dezavantaje al acestui mod de legătură este faptul că are loc uzura rapidă a curelei de transmisie.

Avantajul constă în faptul că se folosește un singur generator pentru o gamă mai mare de motoare, se necesită timp puțin pentru realizarea transmisiei și este simplu de realizat. Acest mod de legătură se recomandă pentru încercarea motoarelor asincrone de puteri mici și mijlocii.

Cuplajul mecanic rigid este cel mai frecvent utilizat, prețindu-se la orice putere. Se aplică în special la mașini de puteri și turații mari [84]. Dezavantajul constă în faptul că se necesită timp mai mult pentru realizarea cuplării și nu poate fi folosit un singur generator pentru o gamă mai mare de motoare.

În afară de metodele de încărcare cu ajutorul unui generator, se mai folosesc diverse metode folosind ca sarcină diferite tipuri de frâne hidraulice, mecanice, electromagnetice, care au însă un domeniu restrâns de aplicare și nu se folosesc în mod curent, fiind depășite de metodele actuale moderne.

○ deficiență mare a acestor frâne o constituie faptul că se



obține un cuplu de frinare neuniform din cauza variației coeficientului de frecare dintre suprafețele de contact. În afară de aceasta, în cazul frinelor cu discuri de diametru mare, o mică rotire a șurubului de reglare a frinei poate determina oprirea motorului de încercat, dacă acesta este de putere mică.

În figura 1 este prezentată o metodă de încărcare a motoarelor asincrone cu ajutorul unei frâne electromagnetice cu disc și curenți turbionari.

După cum rezultă din schemă, pe arborele motorului asincron de încercat MA este fixat discul D care împreună cu electromagnetul EM realizează cuplul de frinare. În acest caz, încărcarea motorului de la mersul în gol la sarcina dorită se obține prin modificarea curentului din bobina electromagnetului prin intermediul reostatului R.

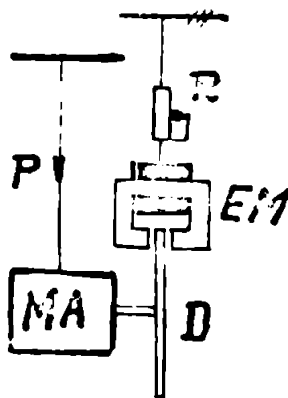


FIG.1.

Sensul de rotație al motorului trebuie astfel ales încât să corespundă funcționării normale a frinei.

Schemă cinematică a unei frâne hidraulice de tip Prony este prezentată în figura 2.

Șaiba 3 este fixată rigid de arborele motorului de încercat. Cuplul de frinare se realizează prin apăsarea sabotilor 2 pe șaiba 3 prin intermediul șuruburilor de strângere 4. Brațul cu pârghie 1 este fixat de saboti. La capătul pârghiei se află balanța 5 cu ajutorul căreia se măsoară cuplul motorului încercat.

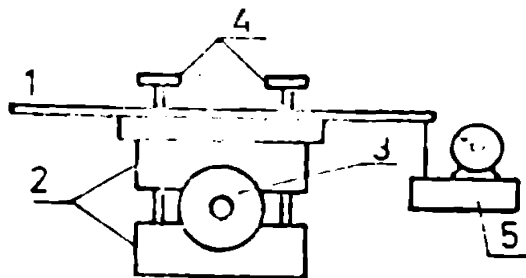


FIG.2.

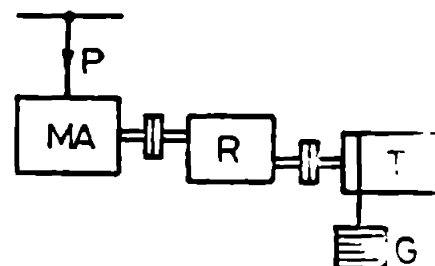


FIG.3.

O metodă de frinare pe cale mecanică este prezentată în figura 3.

Motorul asincron de încercat MA este cuplat rigid cu re-

ductorul R și toba T pe care se înfășoară un cablu de tracțiune de care atârna greutatea G. Motorul poate fi încercat la cuplu constant, în care cea greutate se menține constantă sau, obișnuit, la cuplu variabil, când greutatea se modifică.

Metoda este utilizată, în special, la întreprinderi constructoare de macarale, poduri rulante, ascensoare cum ar fi: INCERC, IPMA din Pucurești, Întreprinderea Mecanică din Timișoara, etc.

### 1.2. Scheme de încercare a motoarelor asincrone

Printr-o investigație în literatura tehnică de specialitate din țară și străinătate și examinarea la fața locului în diverse întreprinderi constructoare de mașini, doctorandul a reușit să intre în posesia unui număr mare de scheme pentru încercat motoare asincrone. În totalitatea lor aceste scheme au la bază un generator de încălzire a motorului asincron. Acest generator poate fi de curent continuu (cu excitație derivată sau independentă), sincron sau asincron. În funcție de natura generatorului și scopul urmărit a rezultat un număr mare de scheme.

Printre scopurile urmărite se gătesc: permiterea încălzirii motorului asincron în limite cât mai largi, în condiții de funcționare sigură, încălzirea să se realizeze în trepte mici sau chiar continuu, utilajul auxiliar să fie cât mai simplu, sigur și ieftin, încât să permită ca deservirea să se facă de către un personal cu o pregătire medie, iar acolo unde se impune, folosirea de surse de alimentare a motorului asincron diferite de rețeaua obișnuită. Aceste cerințe au rezultat de la locul și condițiile în care urmează să funcționeze motorul asincron. Cum aceste cerințe sînt adesea contradictorii, s-au încercat și realizat diferite scheme care să rezolve unele din aceste contradicții, fapt ce explică numărul mare de scheme de încercare a motoarelor asincrone.

În vederea utilizării corecte a unei astfel de scheme de încercare se impun următoarele condiții:

- puterea nominală a generatorului de încălzire să fie mai mare sau cel puțin egală cu cea a motorului de încercat;

- turația nominală a celor două mașini să fie egală.

Prima condiție este impusă de limitele de încălzire ale generatorului, iar a doua de solicitările mecanice ale acestuia.

În funcție de modul cum este evacuată energia electrică de la bornele generatorului de încălzire, schemele de încălzire a motoarelor asincrone se împart în două categorii:

- cu disipare totală a energiei;
- cu recuperare parțială sau totală de energie.

### 1.2.1. Scheme de încălzire a motoarelor asincrone cu disipare totală a energiei

Aceste scheme se caracterizează prin aceea că la bornele generatorului de încălzire se conectează un rezistor în care se consumă, prin efectul Joule-Lenz, energia electrică debitată de generator. Acest rezistor poate fi metalic sau lichid. Reostatele metalice se folosesc la puteri de până la 80 kW, iar pentru puteri mai mari, până la câteva sute de kW, se utilizează reostatele lichide [64] .

#### 1.2.1.1. Schemă pentru încălzirea motoarelor asincrone folosind generatorul de curent continuu (Gcc)

##### 1.2.1.1.1. Cazul folosirii Gcc cu excitație independentă [60] .

Schemă și caracteristicile corespunzătoare sînt prezentate în figura 4.

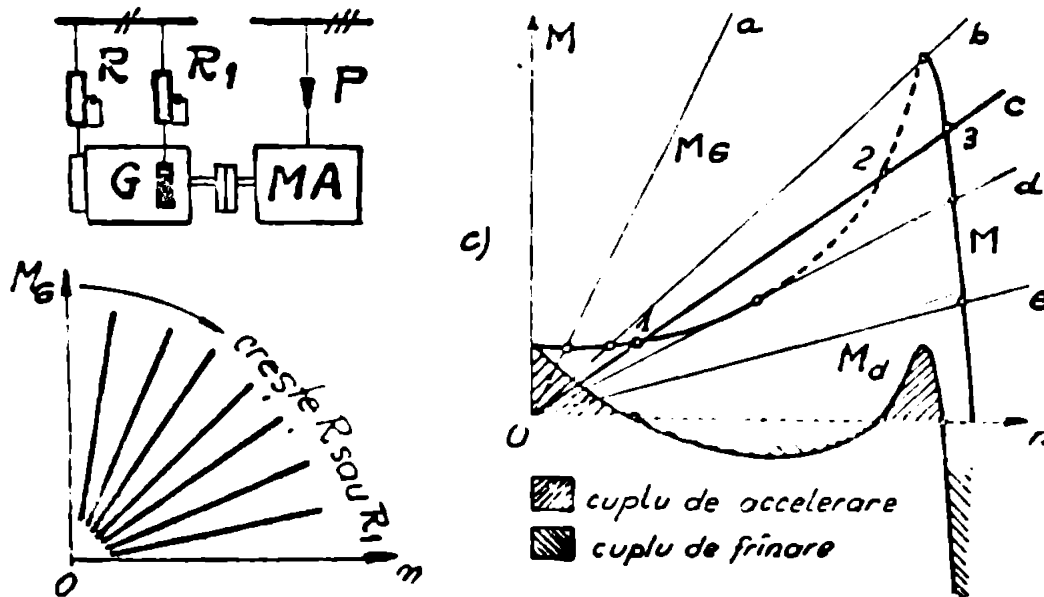


FIG.4.

Se observă (fig.4b) că variația cuplului  $M_G$  dezvoltat de generatorul G cuplat cu motorul de încercat MA se poate obține fie prin modificarea fluxului de excitație cu ajutorul reostatului  $R_1$  pentru o valoare a rezistenței reostatului de sarcină R constantă, fie prin variația rezistenței reostatului R la flux constant, fie prin combinarea ambelor metode.

Acest mod de încărcare a motorului are dezavantajul că nu se poate determina puncte de funcționare stabile pe întreaga caracteristică mecanică a motorului. Punctele stabile rezultă numai acolo unde caracteristicile motorului și generatorului se intersectează și după care la o turație crescândă cuplul M al motorului crește mai puțin decât cel de frinare  $M_G$  al generatorului. În general, acolo rezultă puncte stabile, unde caracteristicile cuplului motorului scade cu creșterea turației. Dacă determinăm pentru fiecare valoare a turației diferența  $M - M_G$  atunci rezultă curba  $M_d$  a cuplului dinamic care intersectează abscisa în punctele unde este posibilă o încărcare a motorului. Dintre aceste puncte însă sînt stabile numai acelea de unde la o creștere a turației  $n$ , cuplul  $M_d$  devine negativ.

În figura 4c s-a analizat cazul cînd se consideră caracteristicile cuplului de frinare c. Se observă că pentru cazul considerat punctele 1 și 3 sînt stabile iar 2 este instabil. Deci prin această metodă nu se poate trasa întreaga caracteristică mecanică  $M = f(n)$  a motorului asincron de încercat (cu linie întreruptă s-a trasat porțiunea respectivă).

#### 1.2.1.1.2. Cazul folosirii Ecce cu excitație derivativă [84]

Se știe că metoda electrică este prezentată în figura 5. Încărcarea progresivă, de la mersul în gol la sarcina dorită, a motorului asincron de încercat MA se realizează cu ajutorul generatorului G, prin intermediul reostatului de sarcină R. Diversele încărcări ale motorului se realizează variind, în trepte sau continuu, rezistența reostatului.

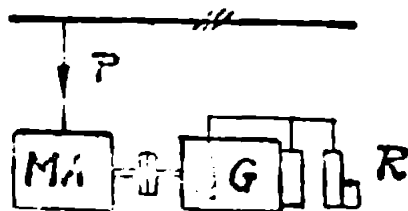


FIG.5.

Peți de schema anterioară această schemă are avantajul că nu necesită surse de curent continuu.

### 1.2.1.1.3. Cazul folosirii Coz conectat la o rețea de tensiune variabilă

Schema și caracteristicile respective sînt prezentate în figura 6.

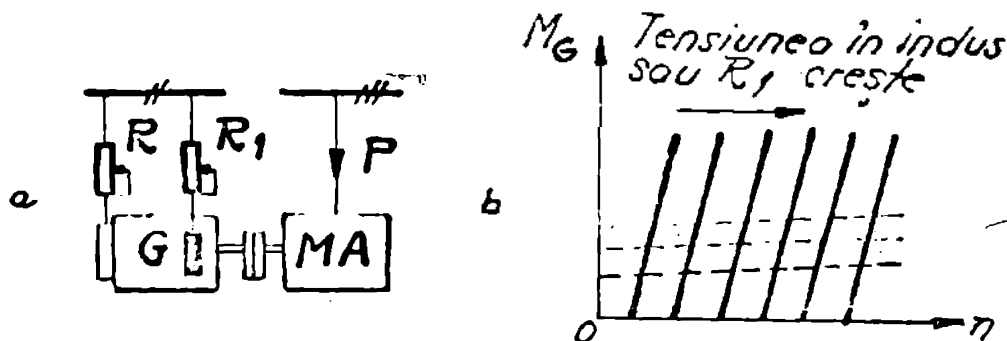


FIG.6.

Motorul asincron de încercat MA este cuplat rigid cu generatorul de încercare G (fig.6a).

Modificarea cuplului la arborele motorului poate fi realizată prin varierea fluxului de excitație a G prin intermediul reostatului R<sub>1</sub> sau a tensiunii rețelei de curent continuu.

Inclinarea caracteristicilor mecanice M<sub>G</sub>=f(η) din figura 6b de,inde de valoarea rezistenței reostatului R din circuitul rotoric al U .

Cu aceeași schemă se pot obține și caracteristici foarte moi (reprezentate cu linii întrerupte), cînd cuplul rămîne practic constant la variații în limite extreme de largi ale turajului. Aceste caracteristici mecanice se obțin la tensiunea nominală, pentru o valoare mare a rezistenței reostatului R și excitație mică.

Soluțiile prezentate în figurile 4a și 6a au dezavantajul că necesită surse de curent continuu.

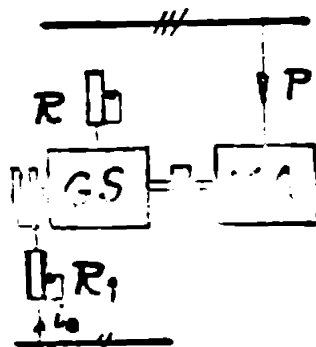
Avantajul schemelor de mai sus constă în faptul că sînt simple și nu necesită accesorii care să complice instalarea.

Aceste scheme se recomandă pentru încercarea motoarelor asincrone de putere mică, în care nu se pune atît de pregnant problema recuperării de energie.

### 1.2.1.2. Schemă de încercare a motoarelor asincrone folosind generatorul sincron

Schema și caracteristicile corespunzătoare sînt prezentate în figura 7 .

Motorul asincron de încălzit MA este cuplat rigid cu generatorul asincron de încălzire GS (fig. 7a). Modificarea în-  
cercării generatorului se realizează prin intermediul reosta-  
tului R, iar diversele valori pentru curentul de excitație  $i_e$   
se obțin cu ajutorul reostatului  $R_1$ .



a.

În funcție de mărimea rezistenței  
reostatului R se pot obține trei categorii  
de caracteristici. Astfel în figura 7b sînt  
reprezentate caracteristicile mecanice pen-  
tru diferite valori ale curentului  $i_e$ , la  
o valoare a rezistenței reostatului R foar-  
te mică (circuit scurt), în figura 7c carac-  
teristicile respective pentru o valoare a  
rezistenței R corespunzătoare tensiunii și  
curentului nominal, iar în fig. 7d același

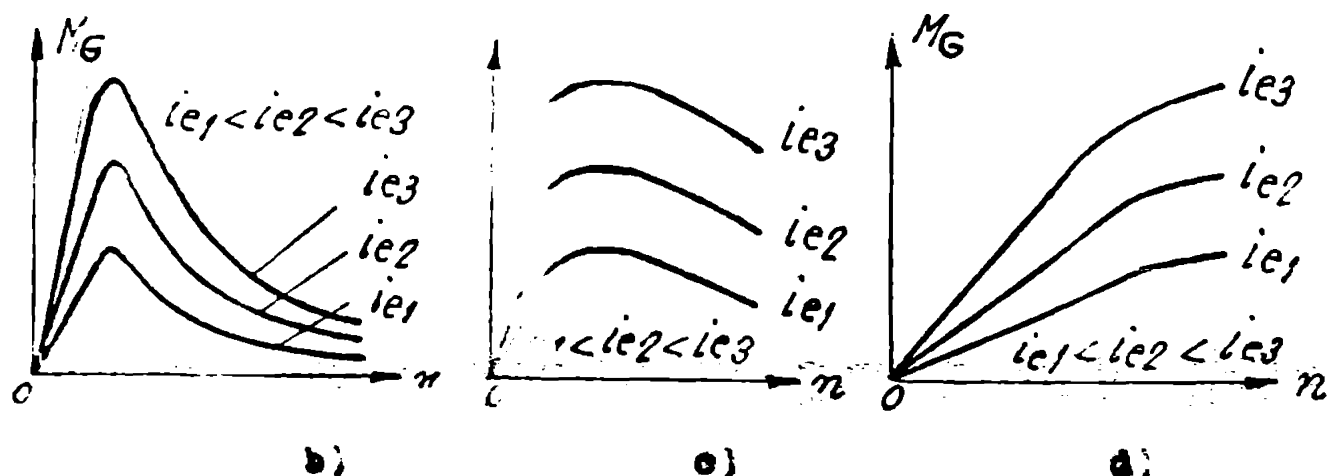


FIG. 7.

caracteristicii pentru o valoare a rezistenței reostatului R foar-  
te mare.

Așa cum se observă, la turații  $n$  mici, cuplul  $M_G$  crește  
liniar cu turația ca și la Co.

De asemenea  $i_e$  și R influențează înclinarea caracteris-  
ticilor cuplului în zona turațiilor mici, așa cum se întâmplă în  
cazul Co. Reacția curentului rotoric asupra cuplului la turații  
asincrone are ca urmare, la o turație crescândă, o slăbire tot  
mai mare a cuplului, care cu toate că curentul rotoric crește,  
produce o nouă scădere a cuplului după ce acesta a atins valo-  
rea maximă.

Asigurarea alimentării excitației generatorului sin-  
cron se poate face, fie de la o rețea de curent continuu fie de la

o excitatrice cuplată la axul generatorului.

Nici această schemă, ca și celelalte prezentate anterior, nu se recomandă a fi folosite pentru încercarea motoarelor asincrone decât în cazuri izolate și numai de putere mică.

### 1.2.1.3. Schemă de încercare a motoarelor asincrone cu generator asincron și compensator sincron [107]

Schema electrică monofilară este prezentată în figura 8.

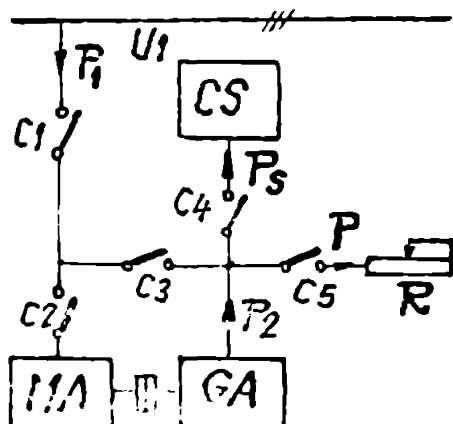


FIG.8.

Significația elementelor din schemă este următoarea:

- MA - motor asincron de încercat;
- GA - generator asincron de încărcare;
- CS - compensator sincron;
- R - rezistor de sarcină;
- $\sigma_{1-5}$  - întreruptoare tripolare.

Schema are la bază ideea folosirii unui motor sincron în regim de compensator pentru excitația generatorului asincron.

marele avantaj al schemei constă în faptul că generatorul de încărcare este identic cu motorul de încercat și deci se ia din serie de motoare asincrone ce urmează a fi verificate.

În continuare, se explică modul de funcționare al schemei. La început se pornesc în mod obișnuit toate mașinile, în pl., prin închiderea întreruptoarelor  $\sigma_{1,2,3,4}$ . În prealabil, se are în vedere ca alimentarea celor două mașini identice să fie astfel efectuată încât acestea să aibă aceeași direcție și sens de rotație. Acest fapt se realizează prin pornirea separată a celor două mașini. Pe de altă parte, compensatorul sincron se excită astfel încât să funcționeze la factorul de putere  $\cos \varphi = 1$ . În această situație toate mașinile, funcționând în regim de motor, vor absorbi de la rețea puterea necesară acoperirii pierderilor la mers în gol. După ce pornirea a avut loc în bune condiții, se deschide întreruptorul  $\sigma_3$ , deconectându-se astfel de la rețea mașina asincronă GA și compensatorul sincron CS. Prin această manevră,  $\sigma_3$ , pierzând sursa de putere activă, va tinde să se oprească. Datorită acestui fapt, frecvența tensiunii sale se micșorează. Mașina GA, la rândul său, fiind nealimentată de la rețea, devine de data aceasta excitată de mașina

sincronă și ca urmare are loc apariția unui cimp magnetic învârtitor în mașina GA. Viteza de rotație a câmpului se micșorează datorită scăderii frecvenței tensiunii de alimentare până când devine mai mică decât cea a rotorului. În acest moment mașina GA intră în regim de generator asincron, fiind antrenată la o viteză suprasincronă. Mașina sincronă CS care de la deschiderea întreruptorului  $c_3$  până în acest moment a funcționat ca generator sincron pe baza energiei cinetice immagazinate în piesele aflate în mișcare de rotație, trece în regim de compensator sincron primind puterea activă necesară pentru acoperirea pierderilor mecanice, în fier și cupru de la GA și cedându-i acestuia puterea reactivă necesară pentru magnetizare. CS continuă să se rotească cu o viteză corespunzătoare numărului său de poli și frecvenței date de GA.

Pornind de la relația cunoscută a alunecării motorului asincron se poate determina ușor frecvența tensiunii generatorului asincron. Astfel:

$$n = n_1(1-s_1) \quad (1)$$

în care:  $n$  este turația rotorului motorului asincron;

$n_1$  - turația sincronă a motorului asincron;

$s_1$  - alunecarea motorului asincron.

Pentru generatorul asincron avem:

$$n = n_2(1+s_G) \quad (2)$$

în care:  $n_2$  este turația sincronă a generatorului asincron;

$s_G$  - alunecarea generatorului asincron

Din relațiile (1) și (2) se obține:

$$n_2 = n_1 \frac{1 - s_1}{1 + s_G}$$

Cum numărul de poli al celor două mașini sincrone este egal, rezultă:

$$f_2 = f_1 \frac{1 - s_1}{1 + s_G}$$

unde:  $f_2$  este frecvența tensiunii debitată de GA;

$f_1$  - frecvența tensiunii de alimentare a HA .



Viteza de rotație a CS se poate calcula cu relația:

$$n_3 = \frac{60 f_2}{p_3} = 60 \frac{f_1}{p_3} \frac{1-s_2}{1+s_2}$$

În vederea încălzirii motorului asincron de încercat MA, se închide întreruptorul  $c_5$ , având grijă ca reostatul R să fie la valoarea maximă. Această valoare trebuie astfel aleasă încît, în momentul conectării, socul de putere să nu fie mare.

Modificarea încălzirii motorului MA, în vederea determinării caracteristicilor de funcționare, se face în limite largi prin varierea rezistenței reostatului R, iar în limite restrînse variind tensiunea generatorului GA prin modificarea excitației compensatorului CS.

Curentul de magnetizare necesar generatorului GA se determină cu relația:

$$I_{OG} = I_{NG} \sin \varphi_G$$

unde:  $I_{NG}$  este curentul nominal al GA;

$\varphi_G$  - unghiul de defazare între tensiunea și curentul generatorului asincron la sarcina nominală.

Puterea reactivă necesară magnetizării GA, deci puterea reactivă ce trebuie debitată de CS este dată de formula:

$$Q = k S_{MG} \cdot \sin \varphi_G$$

în care:  $S_{MG}$  este puterea aparentă în regim de motor a GA;

$k=1,1$  - coeficient determinat experimental pentru receptor rezistiv.

Acest coeficient intervine prin faptul că frecvența tensiunii de alimentare este mai mică decît cea nominală.

Avantajele schemei:

1. Funcționare stabilă. Astfel, în cazul în care dintr-un motiv oarecare CS tinde să se oprească, GA va ceda un surplus de putere activă, ca urmare a creșterii alunecării care va asigură accelerarea compensatorului CS pînă la viteza și frecvența corespunzătoare regimului de lucru stabil.

Dacă din anumite motive CS tinde să accelereze, schimbul de putere activă are loc de la CS la GA. Ca urmare, rotorul compensa-

torului va fi frinat pînă la viteza corespunzătoare funcționării stabile.

2. Schema prezintă o siguranță mare în funcționare. Astfel, dacă în circuitul comun al GA și CS apare un scurtcircuit, imediat are loc anularea cîmpului magnetic învîrtitor al GA și ce urmare, HA se descarcă.

3. Metoda folosește același CS indiferent de turația motorului de încercat, fapt important, în special în cazul motoarelor de 3000 rot/min pentru care nu se poate găsi ușor un generator de curent continuu sau sincron pentru încărcare.

4. Metoda oferă posibilități simple de modificare a încărcării motorului de încercat.

Această schemă a fost utilizată de Întreprinderea Electroputere din Craiova pentru încercarea motoarelor asincrone de 160 kW la 3000 rot/min, 110 kW la 1500 rot/min, precum și la Facultatea de Electrotehnică din Timisoara pentru încercarea unui motor asincron de 3,5 kW la 1500 rot/min.

Dintre toate schemele prezentate și cunoscute pînă în prezent, aceasta este cea mai avantajoasă, deoarece poate fi utilizată pentru încercarea motoarelor de orice putere și turație fără a avea probleme de găsimă a generatorului de încărcare potrivit, întrucît acesta fiind identic cu motorul, se ia din lotul de mașini ce urmează a fi încercat.

Din acest motiv, această schemă a stat la baza concepției și realizării instalației recuperative ce se va prezenta de autor și care constituie subiectul prezentei teze de doctorat.

Autorul se oprește aici cu prezentarea schemelor de încercare cu disiparea totală a energiei, deși mai puteau fi examinate o serie de scheme mai puțin clasice, specifice întreprinderilor unde au fost concepute și unde se mai face uz de ele.

În continuare, se va insista mai mult la examinarea schemelor recuperative de încercare din care categorie face parte și schema ce stă la baza instalației realizată de autor.

Cu privire la numerotarea relațiilor, se precizează că numai acelea vor fi numerotate, la care se fac referiri ulterioare în cadrul unei demonstrații sau în text.

### 1.2.2. Scheme de încercare a motoarelor asincrone cu recuperare totală sau parțială a energiei

Analiza schemelor de încercare fără recuperare de energie a scos în evidență neajunsul principal al acestora și anume lipsa de economicitate sub aspect energetic. Din acest motiv aceste scheme au un domeniu restrâns de utilizare.

Inconvenientul acestor scheme se elimină dacă energia electrică de la bornele generatorului de încărcare este recuperată parțial sau total, fiind cedată rețelei.

În cazul schemelor de încercare a motoarelor asincrone cu recuperare parțială de energie, aceasta se va menționa în cadrul prezentării schemei respective. Se va considera o recuperare parțială în cazul acelor scheme unde există cel puțin un circuit de forță în care se află unul sau mai multe rezistoare prin care se disipează în mediul ambiant o cantitate importantă de energie în raport cu energia absorbită.

#### 1.2.2.1. Scheme în care drept generator de încărcare este folosită mașina asincronă cu rotor în colivie [59]

##### 1.2.2.1.1. Cazul transmisiei prin curea între motorul de încercat și generatorul de încărcare (fig.9)

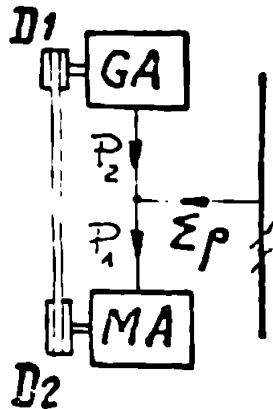


FIG. 9.

În cazul acestui procedeu este necesar ca cele două mașini: MA - motor asincron de încercat și GA - generator de încărcare, să fie de turații și puteri nominale apropiate. De asemenea, mașinile sînt cuplate între ele atât electric cât și mecanic prin transmisie cu curea.

Diameetrele șibelor  $D_1$  și  $D_2$  se aleg astfel încît mașina asincronă GA să funcționeze în domeniul turațiilor suprasinronice. La un raport existent între diameetrele șibelor se obține un singur punct de încărcare. De aceea, pentru a obține mai multe puncte, în scopul trasării caracteristicilor de funcționare, se consideră mai multe rapoarte de transmisie. În acest scop se va face un de mai multe șabe  $D_2$  și curele de transmisie, ceea ce constituie un mare dezavantaj.

515 304  
358 +1

După cum se observă din figura 9, dacă la o anumită încărcare MA absoarbe puterea  $P_1$ , iar GA debitează puterea  $P_2$ , rezultă că din rețea se va consuma diferența  $P_1 - P_2$  care reprezintă tocmai suma pierderilor  $\sum p$  a schemei. Această sumă a pierderilor se compune din pierderile din cele două mașini la care se adaugă pierderile din transmisia prin curea.

Schema se recomandă a fi folosită pentru încercarea motoarelor asincrone de putere mică și mijlocie.

#### 1.2.2.1.2. Folosirea generatorului asincron cu poli comutabili

În acest caz se realizează un cuplaj rigid între motorul de încercat MA și generatorul GA, conform figurii 10.

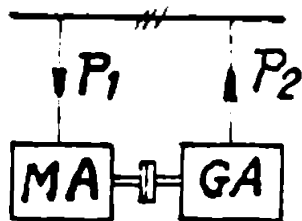


FIG.10.

Principiul de funcționare al schemei este identic cu cel al schemei anterioare, mașina GA funcționând în domeniul turațiilor suprasincrone.

Diversele încărcări ale MA se obțin prin schimbarea numărului perechilor de poli la GA. Astfel, pentru o anumită pereche de poli a GA va rezulta o anumită încărcare pentru MA.

Intrucât de obicei <sup>nu</sup> se construiesc mașini asincrone cu mai mult de trei perechi de poli, schema prezintă marele dezavantaj că nu permite să se obțină mai mult de trei încărcări ale MA. Un alt dezavantaj al schemei constă în faptul că nu se pot obține turații extreme de joase. Acest ultim dezavantaj însă se poate elimina prin inversarea rotirii cîmpului magnetic învîrtitor al GA prin inversarea a două faze la alimentare.

Prin acest procedeu se elimină numărul mare de șabe și curele de transmisie necesar procedurii anterior și totodată se elimină pierderile ce au loc în transmisie.

Schema se recomandă pentru încercarea motoarelor asincrone de orice putere, în cazul în care nu se necesită turații joase și un număr mare de încărcări diferite ale motorului.

**1.2.2.1.3. Combinarea celor două procedee**

Se utilizează în scopul obținerii unei game mai largi a încălzirii motorului asincron.

**1.2.2.2. Scheme în care drept generator de încălzire este folosită mașina asincronă cu inele**

**1.2.2.2.1. Schemă de încercare în opoziție [109]**

Schema electrică monofilară este prezentată în figura 11.

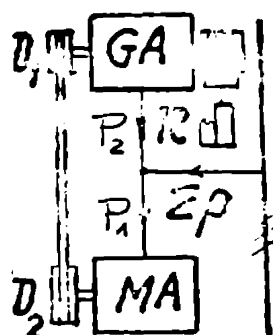


FIG.11.

Principiul de funcționare al schemei este identic cu cel prezentat la paragraful 1.2.2.1.1.

Reostatul R din circuitul rotoric al GA este folosit pentru modificarea fină a încălzirii motorului MA.

În cazul acestei scheme suma pierderilor  $\Sigma p$  se compune din pierderile din cele două mașini, pierderile din transmisia prin curea și pierderile din reostatul R.

Față de schema prezentată în figura 9, această schemă este mai puțin economică (are pierderi în R, deci este o schemă cu recuperare parțială de energie), dar prezintă avantajul că se pot obține mai multe puncte de încălzire și în trepte mai fine.

Schema se recomandă pentru încercarea motoarelor asincrone de putere mică și mijlocie.

**1.2.2.2.2. Schemă cu generator asincron cu turație sincronă inferioară celei a motorului asincron de încercat.**

Schema electrică monofilară este prezentată în figura 12.

Motorul de încercat MA este cuplat rigid cu generatorul asincron GA care funcționează în domeniul turațiilor suprasinronice.

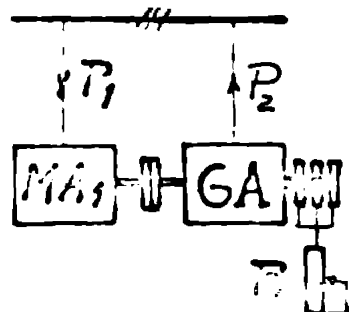


FIG.12.

Modificarea încălzirii motorului MA se obține cu ajutorul reostatului R. Puterea absorbită din rețea  $P_1$  este egală cu suma pierderilor din cele două mașini la care se adaugă pierderile din reostat.

Este o schemă de încercare cu recuperare parțială de energie.

Schema câștigă în utilitate dacă GA posedă mai multe perechi de poli, în care caz se pot obține mai multe puncte de încălzire.

Această schemă se recomandă a fi folosită pentru încercarea motoarelor asincrone de putere mică și mijlocie.

Până aici am prezentat schemele cele mai simple alcătuite din motorul asincron de încercat și generatorul de încălzire. În continuare, se vor prezenta scheme mai complexe formate din mai multe mașini.

**1.2.2.3. Scheme de încercare recuperativă a motoarelor asincrone folosind mașini de curent continuu și alternativ**

**1.2.2.3.1. Scheme în care motorul de încercat se alimentează cu tensiune constantă**

**1.2.2.3.1.1. Schema cu două mașini de curent continuu și un generator asincron [21]**

Schema electrică este prezentată în figura 13.

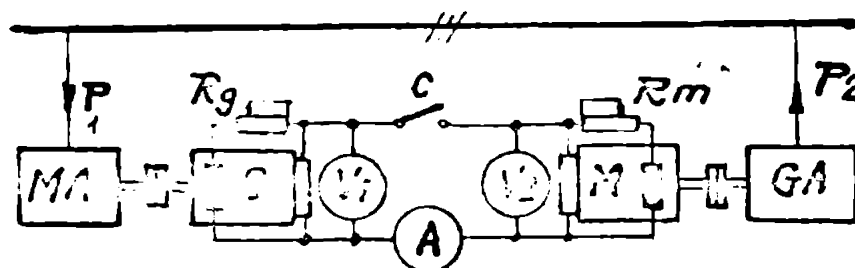


FIG.13.

Significația notațiilor este următoarea:

MA - motorul asincron;

GA - generator asincron;

G - motor c.c. derivație;

M - generator de c.c. derivație.

Pentru buna funcționare a schemei se recomandă ca magnitudinile să fie identice; cele de curent continuu între ele și cele de curent alternativ între ele.

Funcționarea schemei. La început se pornesc, pe rând, cele două grupuri (MA-G respectiv GA-M) prin alimentare de la aceeași rețea. Apoi se modifică rezistențele reostatelor de excitație  $R_g$  și  $R_m$  până când voltmetrele  $V_1$  și  $V_2$  indică aceeași tensiune. În acest moment se închide întreruptorul c, după care se micșorează curentul de excitație al motorului M (prin mărirea rezistenței reostatului  $R_m$ ) și se mărește cel al generatorului G (prin micșorarea rezistenței reostatului  $R_g$ ) până când

ampermetrul A indică curentul nominal iar voltmetrele tensiunea nominală. Astfel se obține punctul de funcționare la sarcină nominală. Celelalte puncte de funcționare corespunzătoare altor încălziri se obțin prin modificarea rezistenței reostatelor  $R_g$  și  $R_m$ . Generatorul asincron va funcționa tot timpul în domeniul turațiilor supra-sincrone.

În această schemă motorul MA absoarbe de la rețea puterea  $P_1$  și alimentează generatorul G. La rîndul său, acest generator alimentează motorul M care antrenază generatorul GA. Puterea  $P_2$  debitată de acest generator în rețea este tocmai diferența dintre  $P_1$  și suma pierderilor din întregul sistem.

Această schemă recuperativă este cea mai simplă dintre toate schemele cu recuperare totală de energie care permite încercarea unui motor asincron în bune condiții.

O variantă a acestei scheme se poate obține prin înlocuirea mașinilor cu excitație derivată cu mașini avînd excitație independentă. Dezavantajul în acest caz constă în faptul că se necesită o sursă de curent continuu pentru alimentarea excitațiilor mașinilor. Aceasta se poate obține fie de la o rețea, fie de la o excitatrice montată la axul generatorului GA.

O altă variantă a schemei se poate obține prin înlocuirea generatorului GA cu unul sincron a cărui înfășurare de excitație se alimentează fie de la o rețea de curent continuu, fie de la o excitatrice montată la axul său. Modificarea înfășurării motorului MA în acest caz se realizează prin varierea turației generatorului sincron prin intermediul celor două mașini G și M.

Această schemă cu toate variantele sale se recomandă a fi utilizată pentru încercarea motoarelor asincrone de orice putere.

Dezavantajul constă în faptul că fiind patru mașini, randamentul instalației este scăzut.

#### 1.2.2.3.1.2. Schemă de încercare folosită la I.C.M. Reșița

Schemă electrică monofilară este prezentată în figura 14.

Funcționarea schemei rezultă din cele ce urmează. Pentru început se alimentează motorul de încercat, MA. Apoi se închide întreruptorul e, se excită generatorul sincron G3 și motorul sincron M3. Astfel se pune în mișcare M3 care antrenază generatorul de curent continuu cu excitație independentă, G. Acesta alimentează

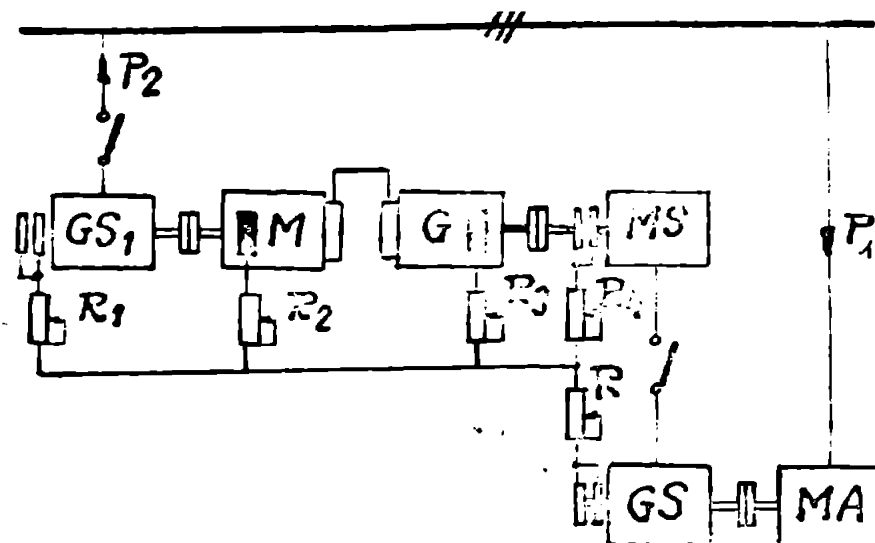


FIG.14.

motorul de curent continuu cu excitație independentă  $M$ , care la rândul său antrenează generatorul sincron  $GS_1$ . După ce se asigură, prin turată și excitație, condițiile de cuplare la rețea, se închide intreruptorul  $c_1$ .

Modificarea turatăii motorului  $M$  se poate face fie prin varierea tensiunii debitată de generatorul  $G$ , fie prin modificarea curentului său de excitație cu ajutorul reostatului de excitație  $R_2$ .

Varierea tensiunii debitată de  $G$  se poate obține fie prin modificarea curentului său de excitație cu ajutorul reostatului de excitație  $R_3$ , fie prin varierea turatăii grupului de mașini  $G-M$  care se poate realiza prin trei căi:

- prin modificarea tensiunii de alimentare a  $MS$  cu ajutorul reostatului de excitație  $R_1$
- prin varierea curentului de excitație al  $MS$  cu ajutorul reostatului de excitație  $R_4$
- combinat.

Întreaga gamă de încălzire a  $MA$ , de la mersul în gol la sarcina dorită, se realizează prin modificarea turatăii generatorului  $GS_1$ .

Funcționarea acestui generator la  $\cos \varphi = 1$  se asigură prin intermediul propriei excitații cu ajutorul reostatului de excitație  $R_1$ .

Cu această schemă se pot încerca motoare sincrone de puteri pînă la 3 MW.

Dezavantajul schemei constă în faptul că lucrează cu randament scăzut, datorită numărului mare de mașini ce o compun.



1.2.2.3.2. Schemă în care motorul de încercat se alina-  
tează cu tensiune variabilă

1.2.2.3.2.1. Schemă celor opt mașini [108]

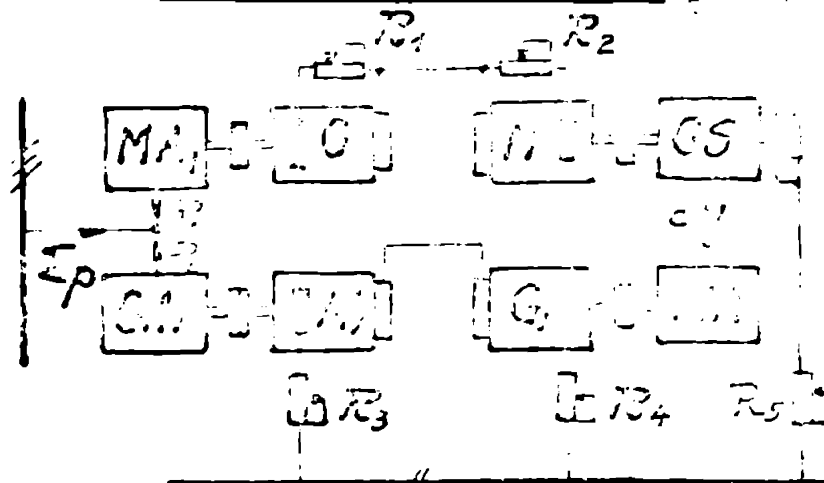


FIG.15.

Schemă electrică monofilară este prezentată în figura 15.

Instalație constă din două grupuri de mașini ( $MA_1-G_1-GS$  și  $GA_1-M_1-G_2-MA$ ) dintre care primul constituie sursa de alimentare cu tensiune variabilă pentru motorul asincron de încercat  $MA$ . Motorul asincron  $MA_1$  este conectat la rețea și cuplat mecanic cu generatorul de curent continuu cu excitație derivație  $G_1$ , care alimentează motorul de curent continuu  $M$ . Acesta, la rândul său, antrenează generatorul sincron  $GS$ . Motorul  $MA$  este alimentat de la  $GS$  și este cuplat mecanic cu generatorul de curent continuu cu excitație independentă  $G_2$ . La rândul său, acesta alimentează motorul de curent continuu cu excitație independentă  $M_1$  care este cuplat mecanic cu generatorul asincron  $GA_1$ .

Instalația se pune în stare de funcționare în felul următor: În primul rând se pornesc succesiv sau simultan cele două grupuri de mașini prin alimentarea de la rețea a mașinilor  $MA_1$  și  $GA_1$ . Bineînțeles că întreruptorul  $e$  este deschis. În această situație regimul de funcționare al mașinilor din grupul de jos este identic cu cel al mașinilor ce alcătuiesc al grupului de sus.

În continuare, în cadrul grupului de sus, se modifică astfel rezistențele reostatelor de excitație  $R_1, R_2$  și  $R_5$  încât la bornele generatorului  $GS$  să se obțină valoarea tensiunii la care se dorește încercarea motorului  $MA$ .

Stabilirea turației minime de la care se dorește începerea înfășurării motorului  $MA$  se realizează cu ajutorul reostatelor de excitație  $R_3$  și  $R_4$ . Abia în acest moment are loc închiderea lui  $e$ . La aplicarea tensiunii la bornele motorului  $MA$  de la  $GS$ ,

viteza de rotație a grupului MA-G<sub>1</sub> va crește până când cuplul dezvoltat de MA va fi echilibrat de cuplul de frinare al G<sub>1</sub>. În această situație, mașinile grupului de jos își schimbă regimurile de funcționare; alimentarea grupului făcându-se de la M iar recuperarea energiei în rețea prin GA<sub>1</sub>.

Diversele încălziri ale MA se realizează cu ajutorul rezistivelor R<sub>3</sub> și R<sub>4</sub>.

Dezavantajul schemei constă în faptul că se compune din opt mașini și deci se mărește cu randament scăzut.

Această schemă recuperativă se utilizează pentru încercarea motoarelor asincrone de orice putere, în cazul în care se necesită modificarea tensiunii de alimentare într-o gamă largă și fină.

**1.2.2.3.2.2. Schemă complexă pentru încercarea motoarelor asincrone și de curent continuu [107]**

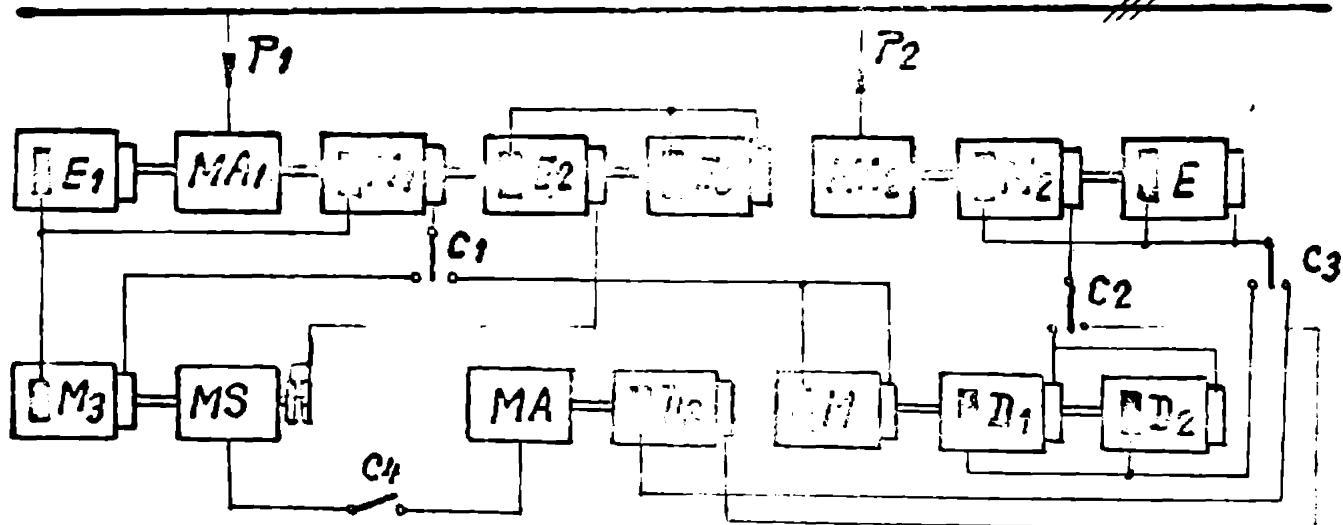


FIG.16.

Schema electrică monofilară este prezentată în fig.16.

Significația notațiilor este următoarea:

- MA<sub>1</sub>, MA<sub>2</sub> - motore asincrone;
- M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> - mașini de curent continuu;
- G<sub>1</sub> - mașină sincronă;
- D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> - dinamuri frână cu cîntar;
- E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> - excitatoare;
- M - motorul de curent continuu de încercat;
- MA - motorul asincron de încercat.

Mașinile MA<sub>1</sub> și M<sub>1</sub> constituie un grup Jard-Leonard și este cuplat mecanic cu excitatoarele E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> și E<sub>3</sub> care asigură alimentarea circuitelor de excitație la o parte din mașinile de

curent continuu cît și pentru mașina sincronă GS.

Mașinile  $M_3$  și GS alcătuiesc grupul convertitor.

Dinamurile frînă  $D_1$ ,  $D_2$  și  $D_3$  sînt cuplate mecanic cu mașinile K respectiv MA.

Mașinile  $MA_1$  și  $M_2$  constituie cel de-al doilea grup Ward-Leonard, la care este cuplată excitatoarea E care asigură alimentarea circuitelor de excitație la restul mașinilor de curent continuu.

Excitatoarele debitază pe reoatete cu ploturi, de la care sînt alimentate potențioMetric infășurările de excitație ale diverselor mașini din sistem.

În continuare, se prezintă modul de folosire al schemei în cazul încercării unui motor sincron.

În acest scop cele două grupuri Ward-Leonard se duc la turația nominală, prin conectarea motoarelor  $MA_1$  și  $MA_2$  la rețeaua comună. Excitatoarea E asigură alimentarea excitațiilor mașinilor  $M_1$  și  $M_2$ . Reoateta destinată pentru excitația mașinii  $M_3$ , care va funcționa, în acest caz, ca motor, este pusă pe poziția corespunzătoare tensiunii maxime de alimentare, pentru obținerea fluxului maxim. În continuare, pornind de la valoarea zero, se alimentează treptat excitația mașinii  $M_1$  care funcționează în regim de generator. Astfel, la bornele inductorului acestei mașini se obține o tensiune crescătoare care se aplică mașinii  $M_3$ , circuitul fiind asigurată prin întreruptorul  $c_1$ . Ca urmare, mașina  $M_3$ , în regim de motor, va începe să se rotească și odăstă cu ea și mașina GS. Grupul convertitor se va stabiliza la o turație dorită, corespunzător tensiunii cu care este alimentat. Aceasta se alege astfel ca frecvența tensiunii debitate să fie de cîtiva Hz. Alimentînd infășurarea de excitație a excitatoarei E, aceasta va debita pe infășurarea inductorului generatorului GS, la o cîrui borne va rezulta o tensiune alternativă, variabilă în trepte fine.

Astfel, prin închiderea întreruptorului  $c$  va avea loc alimentarea cu o tensiune crescătoare a motorului de încercare MA, cuplat mecanic cu dinamul frînă  $D_3$ . Prin această operație se determină sensul de rotație al MA, care trebuie să fie același cu al dinamului frînă  $D_3$ .

În continuare, se micșorează la valoarea zero tensiunea debitată de generatorul GS și se deschide întreruptorul  $c$ . Apoi, modificînd tensiunea de alimentare și fluxul mașinii  $M_3$ , se adu-

ce grupul convertește la turația corespunzătoare frecvenței nominale.

După aceste operații, se trece la pregătirea pornirii dinoului frână  $D_3$ . În acest scop, prin întreruptorul  $c_3$  se asigură alimentarea circuitului de excitație al  $D_3$  corespunzător fluxului minim de la excitațoarea  $E$ . Reostatul de la care se alimentează excitația mașinii  $M_2$  se pune pe poziția corespunzătoare curentului de excitație minim, astfel ca la bornele mașinii să se obțină o tensiune foarte mică. În acest moment se închide întreruptorul  $c_2$  asigurându-se astfel alimentarea dinoului frână  $D_3$ . În continuare, se mărește curentul de excitație al generatorului  $M_2$  și deci a tensiunii de alimentare a mașinii  $D_3$ , până se aduce la turația nominală mașina de încălzit MA. Apoi se închide întreruptorul  $c$  și se modifică fluxul la generatorul GA astfel încât să se obțină la bornele sale, respectiv la bornele mașinii MA tensiunea nominală. În acest moment schema se află în stare de funcționare, motorul MA funcționând în rol de tensiune, frecvență și turația nominală.

Pentru încălzirea motorului MA se procedează astfel: menținând tensiunea de alimentare și frecvența motorului la valoarea nominală, se mărește fluxul dinoului  $D_3$  până când t.e.m. a sa devine mai mare decât cea a mașinii  $M_2$ , când  $D_3$  trece în regim de generator, solicitând cupla de la arborele motorului MA. Același efect se obține dacă se micșorează fluxul mașinii  $M_2$ .

Menținerea constantă a tensiunii de la bornele generatorului GS se realizează prin intermediul curentului său de excitație, iar frecvența prin intermediul curentului de excitație al mașinii  $M_3$ .

Cu această instalație se pot încălzi mașini sincrone și de curent continuu, atât în regim de motor cât și în regim de generator.

Printre dezavantajele schemei amintim: randament scăzut (0,5 - 0,6) datorită numărului mare de mașini și factor de putere slab în cazul încălzirii mașinilor de putere mică. De aceea această instalație se recomandă a fi folosită numai pentru încălzirea mașinilor de putere mare și așlocie.

**1.2.2.3.3. Scheme de încercare a motoarelor asincrone de mare putere cu ajutorul mașinilor de putere mică**

**1.2.2.3.3.1. Schemă cu două mașini cuplate mecanic cu motorul de încercat**

Particularitatea acestei scheme constă în faptul că, cuplul rezistent la arborele motorului de încercat se realizează cu mai multe mașini de putere mai mici, cuplate mecanic cu mașina de încercat. În cazul de față se va prezenta o schemă cu două mașini cuplate mecanic cu motorul de încercat.

Sch\_e\_mă electrică monofilară se prezintă în figura 17.

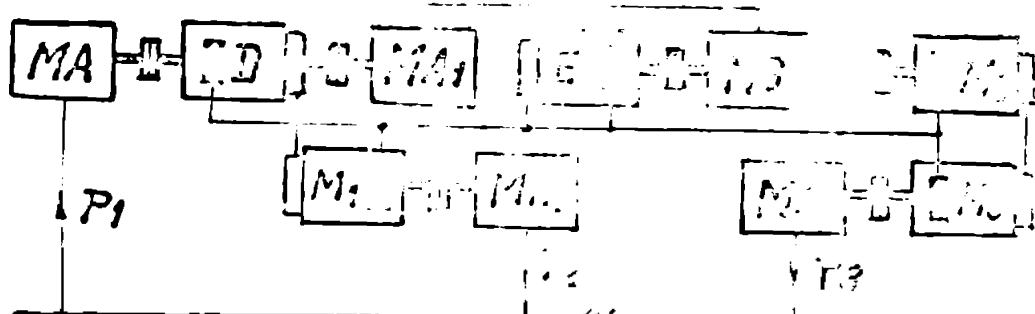


FIG.17.

După cum se observă, schema se compune din patru grupuri de mașini, însumând un număr de zece mașini. Principiul de funcționare al schemei este următorul: La început, se verifică prin porniri separate, dacă mașinile componente din primul grup, în care se află și motorul asincron de încercat MA, se rotesc în același sens.

După această verificare preliminară, grupul respectiv de mașini se accelerează pînă la turația nominală a motorului MA cu ajutorul dinamului frînă D. Prin această se ridică nivelul cuplului suportat de rețea la conectarea motorului de încercat. După recordarea motorului MA la rețea, se conectează mașina asincronă MA<sub>1</sub> la mașina sincronă M3 necesită.

Încercarea motorului MA se realizează după cum urmează: Prin mărirea fluxului dinamului frînă D, t.e.m. proprie va deveni mai mare decât cea a mașinii M<sub>1</sub> și astfel mașina D va trece în regim de funcționare ca generator, debitînd pe motorul M<sub>1</sub> care antrenază generatorul asincron MA<sub>2</sub>.

Încercarea mașinii D se face pînă la puterea sa nomina-

lă, după care creșterea, în continuare, a cuplului rezistent la arborele motorului MA se face cu ajutorul mașinii MA<sub>1</sub>. Pentru aceasta, prin creșterea fluxului mașinii sincrone MS, se mărește tensiunea de la bornele sale până la valoarea tensiunii nominale de alimentare a mașinii MA<sub>1</sub>. În continuare, se micșorează frecvența acestei tensiuni prin mărirea fluxului mașinii de curent continuu M<sub>2</sub>, sau prin micșorarea fluxului mașinii de curent continuu M<sub>3</sub>. Prin micșorarea frecvenței tensiunii de alimentare a mașinii MA<sub>1</sub>, se micșorează viteza de rotație a cuplului său învârtitor. Astfel, mașina MA<sub>1</sub> antrenată de MA și excitată de MS, intră în regim de funcționare ca generator asincron, solicitând cuplu de la arborele motorului de încercare.

Mașina E este o excitatoare care asigură alimentarea circuitelor de excitație ale mașinilor de curent continuu și mașina sincronă MS. În procesul propriu-zis de încercare, mașinile M<sub>2</sub> și M<sub>3</sub> funcționează în regim de generator asincron, prin care are loc recuperarea energiei electrice în rețea.

În perioada preliminară, cele două mașini funcționează în regim de motor asincron, când MA<sub>2</sub> antrenează mașina M<sub>1</sub>, care devine sursă de alimentare pentru mașina E, respectiv MA<sub>3</sub> antrenează mașina M<sub>3</sub> care alimentează mașina M<sub>2</sub>, care la rândul său, antrenează mașina MS, care devine sursă de alimentare pentru mașina MA<sub>1</sub>.

Această schemă se recomandă a fi folosită la încercarea motoarelor asincrone de mare putere cu ajutorul unor mașini de încercare mai mici.

Dezavantajul schemei constă în faptul că se compune din multe mașini și deci se lucrează cu randament scăzut.

#### 1.2.2.3.3.2. Schemă cu două lanțuri de mașini conectate în paralel [56]

Schemă electrică monofilară se prezintă în figura 18.

De la început se precizează că motorul de încercare MA și generatorul de încercare GA sînt, de preferință, mașini identice. Generatorul GA debitează pe două lanțuri de mașini: 1,4,5,8 (lanțul 1) și 2,3,6,7 (lanțul 2).

Pornirea instalației de face în felul următor: În primul rînd se conectează pentru puțin timp MA la rețea și se determină sensul de rotație. Apoi se alimentează oceași mașină separat

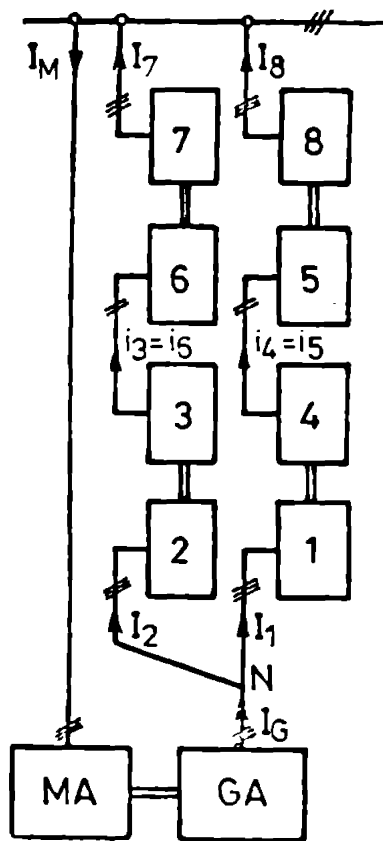


FIG.18.

Significația notațiilor este următoarea :

- MA - motor asincron de încercat ;
- GA - generator asincron;
- 1,2- motoare asincrone;
- 3,4- generatoare de curent continuu;
- 5,6- motoare de curent continuu;
- 7,8- generatoare asincrone.

\*

de la fiecare din lanțurile de mașini și se verifică dacă sensul de rotație al mașinii este același ca în primul caz. Sine-înțeleș că în această situație mașina 7 respectiv 8 funcționează în regim de motor asincron, mașina 6 respectiv 5 în regim de generator de curent continuu, mașina 3 respectiv 4 în regim de motor de curent continuu, iar mașina 2 respectiv 1 în regim de generator sincron.

După verificarea sensului de rotație se accelerează grupul MA-GA pînă la turația nominală, alimentîndu-se mașina GA prin cele două lanțuri. În continuare, se conectează mașina MA la rețea și astfel întregul sistem de mașini funcționează în gol.

Pentru încălzirea motorului MA se procedează astfel:

În primul rînd se realizează trecerea mașinii GA în regimul de funcționare ca generator. Pentru aceasta se reduce viteza cîmpului magnetic învîrtitor al ei sub cea a rotorului, prin micșorarea concomitentă a frecvenței tensiunilor de alimentare ale mașinilor 1 și 2. Apoi se procedează la trecerea în regim de generator a mașinilor 7 și 8, prin mărirea turației rotațiilor lor peste turația sincronă corespunzătoare, cu ajutorul mașinilor 5 și 6. În continuare, distribuirea puterii pe lanțuri de mașini se face în funcție de puterea mașinilor 1 și 2. În orice caz, suma puterilor mașinilor 1 și 2 trebuie să acopere puterea la care se încarcă motorul de încercat MA.

Încălzirea progresivă a lanțurilor de mașini poate fi efectuată în două moduri:

- prin mărirea curentului de excitație la mașinile 3 și 4, care funcționează în regim de generator continuu;
- prin micșorarea curentului de excitație la mașinile 5 și 6 care funcționează în regim de motor de curent continuu.

Repartizarea sarcinii pe cele două lanțuri de mașini, în procesul de încălzire a motorului MA, se poate face în trei moduri:

1) se încarcă simultan, progresiv, ambele lanțuri de mașini pînă la puterea corespunzătoare încălzirii motorului de încercat, în care cea puterea reactivă necesară mașinii GA pentru magnetizare, se absoarbe de la mașinile 1 și 2; aceasta în cazul cînd lanțurile sînt identice.

2) se încarcă ambele lanțuri pînă la încălzirea nominală a lanțului de mașini mai slab (spre exemplu 1) și se continuă încălzirea pînă la puterea necesară, la celălalt lanț mai puternic (2). În acest caz mașina GA absoarbe puterea reactivă necesară, în prima fază, de la mașinile 1 și 2, iar în faza următoare numai de la mașina 2, mașina 1 funcționînd la factorul de putere maxim;

3) se încarcă ambele lanțuri de mașini pînă la limita inferioară de la care începe încălzirea motorului de încercat, după care se continuă încălzirea cu lanțul mai puternic. În acest caz, lanțul mai slab funcționează tot timpul la putere constantă, iar mașina 1 la factorul de putere maxim.

Această schemă se folosește la încercarea motoarelor asincrone de mare putere, atunci cînd nu există altă posibilitate de realizare a încălzirii recuperative, făcîndu-se uz de mașini de putere mică ce compun lanțurile de mașini.

Deoarece numărul mare de mașini din care se compune instalația, randamentul este scăzut.

#### 1.2.2.3.4. Scheme de încercare a motoarelor asincrone folosind mașini electrice speciale [3]

##### 1.2.2.3.4.1. Schemă de încercare cu mașina trifazată cu colector

Schema electrică este prezentată în figura 19.

Folosirea mașinii trifazate cu colector TD cu stator basculant se frîmă pentru încălzirea motorului asincron de încercat MA, în vederea determinării caracteristicilor sale de funcționare, reprezintă una din soluțiile cele mai moderne. Ea se impune ca metodă opti-

FIG.19.



mă, în acele cazuri unde turația motorului MA nu trebuie modificată mai mult decât în raport de 1:3 față de turația nominală.

Avantajul schemei constă în faptul că nu sînt necesare reostate, grupuri convertitoare, iar modificarea turației, respectiv a încălzirii motorului de încercare se face foarte simplu, prin deplasarea periiilor cu ajutorul unui servomotor.

Dezavantajul schemei constă în faptul că nu se pot obține limite largi de variație a turației.

Schema se recomandă a fi utilizată pentru încercarea motoarelor asincrone de orice putere în limite de variație a turației restrinse.

#### 1.2.2.3.4.2. Schema de încercare în opoziție cu grup convertitor de frecvență

Schema electrică monofilară este prezentată în figura 20 și se compune din două grupuri de mașini. Primul grup îl formează motorul asincron de încercare MA<sub>1</sub> și mașina asincronă cu inele MA<sub>2</sub>, ambele racordate la aceeași rețea de alimentare. Al doilea grup îl constituie grupul convertitor de frecvență format din generatorul de frecvență P antrenat de motorul de curent continuu cu excitație în derivație M.

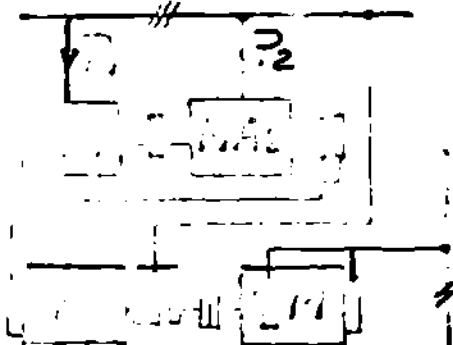


FIG. 20.

Mașina MA<sub>2</sub> se alimentează în rotor cu tensiune alternativă de frecvență variabilă și poate funcționa în regim de generator asincron sau motor sincron asincronizat, după cum mașina MA<sub>1</sub> se încercă în regim de motor sau generator.

Funcționarea schemei: În primul rând se conectează la rețea mașinile primului grup, după ce în prealabil, se verifică, prin alimentare separată, dacă cele două mașini au același sens de rotație. La stingerea turației de regim a grupului, se conectează rotorul mașinii MA<sub>2</sub> la generatorul de frecvență variabilă P, după ce în prealabil, s-a verificat ca succesiunea fazelor tensiunii de alimentare P să fie astfel realizată, încît la colectorul său să se obțină frecvențe mici. Pentru aceasta, este necesar ca sensul de rotație al cimpului magnetic învîrtitor să fie opus față de cel al rotorului, adică să fie satisfăcută relația:

$$n_p = n_r - n$$

in care:  $n_p$  este turația cimpului magnetic in virtutea ei F față de perile colectorului;  
 $n$  - turația rotorului generatorului P;  
 $n_r$  - turația sincronă a cimpului față de rotor dată de relația:

$$n_r = \frac{60 f_F}{p}$$

unde:  $f_F$  este frecvența tensiunii de alimentare la inele a generatorului P;  
 $p$  - numărul perechilor de poli ai generatorului P.

Inlocuind turațiile cu expresiile lor, rezultă:

$$\frac{60 f_F}{p} = \frac{60 f_r}{p} - \frac{60 f}{p}$$

de unde:

$$f_p = f_r - f$$

in care:  $f_p$  este frecvența tensiunii la colector;  
 $f_r$  - frecvența tensiunii la inele;  
 $f$  - frecvența corespunzătoare turației rotorului.

Intrucit rotorul generatorului de frecvență F este antrenat de o mașină de curent continuu la care turația poate fi variată continuu, rezultă că și frecvența tensiunii de la colector poate fi modificată continuu.

Deoarece la motorul sincron trebuie satisfăcută relația:

$$n_1 = n \pm n_2$$

unde:  $n_1$  este turația cimpului in virtutea din ințrefier;  
 $n$  - turația rotorului;  
 $n_2$  - turația cimpului in virtutea din rotor,  
rezultă că:

$$n = n_1 \mp n_2$$

adică turația rotorului se modifică la opritia cimpului in virtutea din rotor.

Intrucit turația acestui cimp poate fi variată continuu de la zero la o viteză oarecare, rezultă că și turația rotorului mașinii  $MA_2$  poate fi variată, într-un sens sau altul, în mod continuu față de turația de sincronism. Mașina  $MA_1$  fiind

cuplată mecanic cu mașina  $MA_2$ , rezultă că variația turației rotorului mașinii  $MA_1$  este identică cu cea a rotorului mașinii  $MA_2$ .

Motorul alunecării determinată de turația de sincronism și cea a rotorului, rezultă un transfer de energie electromagnetică prin întrefier. Astfel, în procesul de încercare a mașinii  $MA_1$ , circulația de putere activă urmează circuitul: rețea, mașina  $MA_1$ , mașina  $MA_2$  și înapoi la rețea sau invers. Sensul de circulație al puterii este determinat de sensul succesiunii sistemului de tensiuni ce alimentează bobinașul rotoric al mașinii  $MA_2$ .

Încercarea mașinii de încercat se face prin modificarea turației la arbore, prin intermediul frecvenței de la inelele mașinii  $MA_2$ .

Se precizează că înainte de creșterea alunecării, deci a încălzirii, se procedează la creșterea tensiunii la inelele mașinii  $MA_2$  prin ridicarea tensiunii de alimentare la inelele generatorului  $F$ . Această măsură este necesară, deoarece la o creștere a alunecării, crește t.e.m. indusă în rotor și ca urmare, se micșorează curentul rotoric și deci cuplul electromagnetic al mașinii  $MA_2$ . Prin aceasta se produce descărcarea mașinii  $MA_1$ , modificarea turației rotorului și apariția unor tensiuni electromotoare de frecvențe diferite în rotorul mașinii  $MA_2$ , rezultând astfel pendulări în sistem.

Intrucât mașinile  $MA_1$  și  $MA_2$  funcționează în opoziție, de la rețea se absoarbe o putere activă foarte mică, necesară numai pentru acoperirea pierderilor din mașini. Rezultă că rețeaua de alimentare poate avea o putere mult mai mică decât cea a mașinii de încercat.

Mașina  $MA_2$  fiind excitată prin rotor, în mod corespunzător, ea debitează în rețea numai componenta activă a puterii, fapt ce constituie un alt avantaj al schemei și anume că funcționează la un factor de putere ridicat.

Metoda descrisă mai sus a fost utilizată la întreprinderea Electroputere din Craiova pentru încercarea mașinilor asincrone de 1000 kW, 1250 kW și 1600 kW.

Această schemă se recomandă a fi folosită pentru încercarea mașinilor de putere mijlocie și mare.

## Capitolul 2

### INSTALAȚIE DE COMENSATIVĂ DE ÎNCERCARE A MOTORELOR ASINCRONE PROPUȘA DE AUTOR

#### 2.1. Prezentarea instalației

Instalația ce se va prezenta este concepută și realizată de autor și se încadrează în contextul preocupărilor doctorendului de mai mulți ani [42, 46, 48, 49] având drept scop reducerea consumului de energie electrică într-un domeniu mare consumator de energie, cum este cel al industriei construcției de mașini, respectiv în cadrul standardurilor pentru încercarea mașinilor electrice.

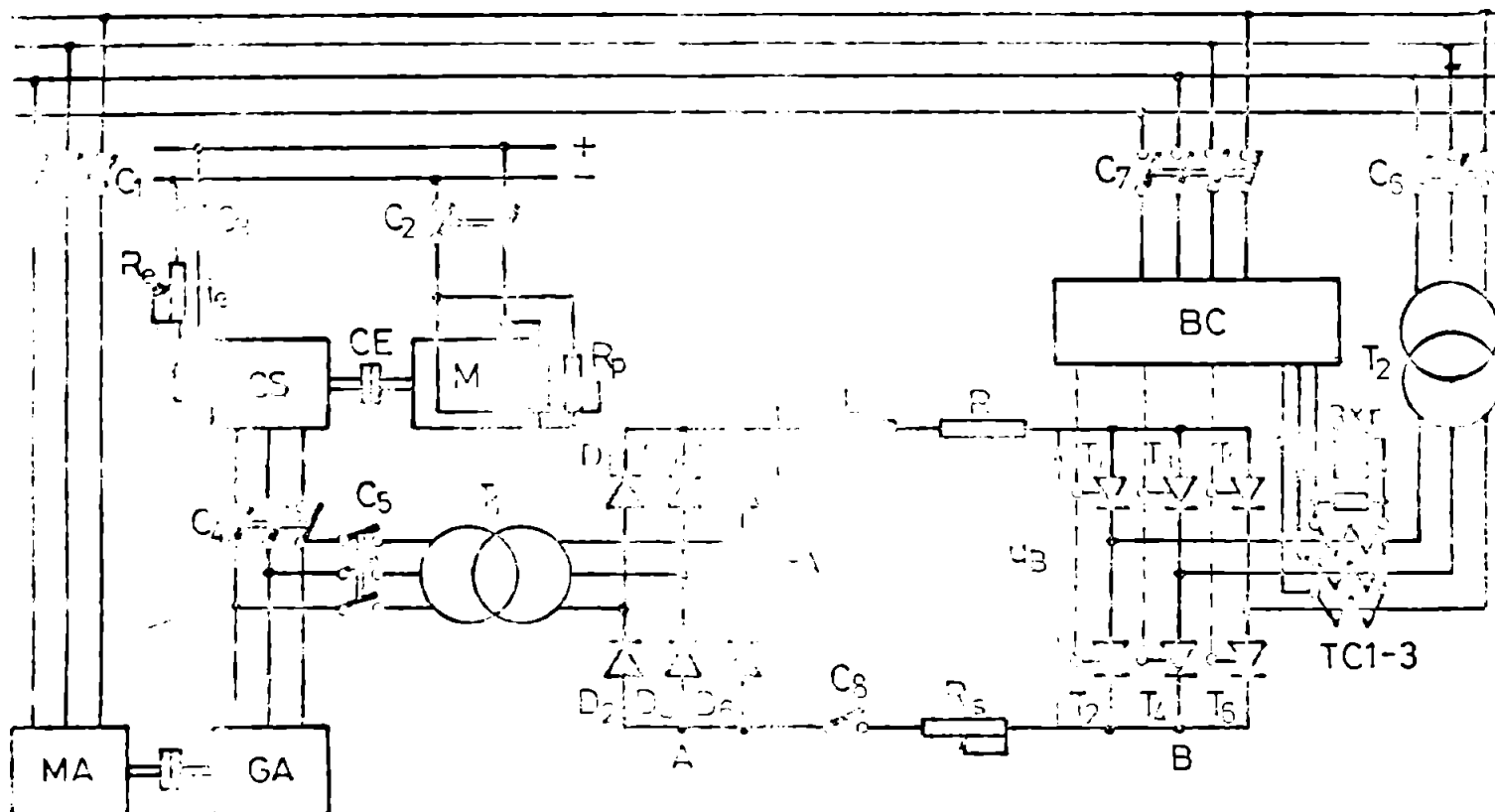
Instalația are la bază schema de încercare a motoarelor asincrone cu disipare totală a energiei prezentată în figura 6, cea mai avantajoasă schemă din categoria celor fără recuperare de energie, la care s-a adus îmbunătățirea prin care încercarea devine recuperativă.

Aceasta s-a realizat cu ajutorul unor componente electronice statice și fiabile, soluție modernă și totodată economică.

Instalația astfel rezultată prezintă o serie de avantaje și anume: poate fi utilizată pentru o gamă mare de putere, nu necesită pentru fiecare tip de motor asincron alt generator de încălzire, funcționarea instalației este stabilă, ea poate fi utilizată pentru motoare asincrone cu gamă mare de turație, prezintă o siguranță mare în funcționare, oferă posibilități simple de modificare a încălzirii motorului asincron care se încercă, nu necesită investiții mari pentru realizare.

Această instalație se recomandă a fi folosită pentru încercarea motoarelor asincrone de orice putere. Se impune în mod deosebit pentru motoare de putere mare și mijlocie deoarece în acest caz cantitatea de energie electrică recuperată este mai substanțială.

Schema electrică a instalației este prezentată în figura 21. Semnificația notațiilor din figură este următoarea:



semnificația notațiilor din figură este următoarea:

- MA - motor asincron ce urmează a fi încercat;
- GA - generator asincron;
- CS - compensator sincron; M - motor auxiliar de curent continuu cu excitație derivație;
- A - convertor în regim de redresor;
- B - convertor în regim de invertor;
- BC - bloc de comandă;  $T_{1,2}$  - transformatoare de adaptare;
- L - bobină de netezire;  $R_0$  - reostat de sarcină;
- $R_p$  - reostat de excitație;  $R_p$  - reostat de pornire și modificare a turăției; CE - cuplă electromagnetică;
- $C_{1-8}$  - întrerupătoare;  $D_{1-6}$  - diode; R - rezistența circuitului intermediar;  $T_{1-6}$  - tiristoare;
- $T_{1-3}$  - transformatoare de curent; r - rezistor.

Generatorul GA este identic cu motorul de încercat, MA și deci ambele mașini se lău din lotul ce urmează a fi încercat.

Compensatorul sincron CS asigură puterea reactivă necesară pentru crearea cimpului magnetic al generatorului GA. Nu se impun condiții speciale cu privire la turăția compensatorului, aceasta adaptându-se în mod automat la turăția cimpului inverterului al generatorului GA. Sub aspectul puterii, CS trebuie astfel ales încât să asigure puterea reactivă necesară în cazul încercării celui mai mare motor asincron din seria de mașini ce se încercă pe standul respectiv.

Se precizează că în locul CS poate fi folosită o baterie de condensatoare corespunzătoare.

Convertoarele A și B împreună cu bobina L formează mul-  
tatorul cu circuit intermediar de curent continuu.

Elementele semiconductoare (diodele și tiristoarele)  
se aleg corespunzător pentru cazul încălzirii celui mai mare  
motor. La fel se procedează și cu transformatoarele de curent  
TC1-3, transformatoarele  $T_{1,2}$  și bobina L.

Reostatul  $R_p$  și transformatoarele  $T_{1,2}$  se folosesc după  
caz, în funcție de parametrii electrici ai motorului de încal-  
cat.

Blocul de comandă EC este descris într-un capitol sepa-  
rat.

Pentru pornirea compensatorului CB poate fi folosit și  
alt tip de motor auxiliar sau alte metode cunoscute în acest  
scop, cum ar fi pornirea în sincron, sau alimentare de la o  
sursă de frecvență variabilă.

## 2.2. Pornirea instalației

Pentru început se consideră că toate intreruptoarele  
sunt deschise. Operațiile și succesiunea lor se prezintă după  
cum urmează:

1. Se pornește motorul sincron de încercat KA, prin  
închiderea intreruptorului  $e_1$ , cu care coaxis va fi antrenat  
în gol, și generatorul sincron GA. Acestea, în cazul când mo-  
torul este cu rotorul în colivie și rețeaua permite pornirea  
prin cuplare directă la rețea. În cazul când rețeaua nu permi-  
te acest lucru, sau când rotorul motorului este bobinat, porni-  
rea se va face în conformitate cu metodele cunoscute (pornire  
prin intermediul comutatorului  $\lambda/\Delta$  sau autotransformator,  
respectiv cu reostat de pornire în rotor).

2. Cu reostatul  $R_p$  la valoarea maximă se pornește mo-  
torul auxiliar K, prin închiderea intreruptorului  $e_2$ . În cazul  
când se folosește alt tip de motor auxiliar, sau alt mijloc de  
pornire a compensatorului CB, se procedează corespunzător du-  
pă caz. Se menționează că, în prealabil, se asigură cuplajul  
electromagnetic CB.

3. Cu reostatul  $R_p$  la valoarea maximă se alimentează  
circuitul de excitație al compensatorului sincron, prin închi-

deres intreruptorului  $e_3$ .

Sursa de alimentare pentru circuitul de excitație mai poate fi realizată prin intermediul unei punți redresoare cu alimentare de la rețea, sau cu ajutorul unei excitatoare cuplată mecanic cu C3.

4. Prin intermediul rezistențelor  $R_s$  și  $R_p$  se reglează valoarea și frecvența tensiunii de la bornele compensatorului, corespunzător valorii tensiunii și frecvenței nominale de alimentare a generatorului GA.

5. Simultan se trece la închiderea intreruptorului  $e_4$  și deschiderea intreruptorului  $e_2$ , precum și deconectarea alimentării bobinei cuplajului C8. Compensatorul C3 va continua să se rotească corespunzător frecvenței tensiunii la bornele generatorului GA și numărului perechilor săi de poli. Puterea activă necesară pentru antrenarea sa este asigurată de generatorul GA.

6. Prin intermediul intreruptorului  $e_5$  se realizează legătura electrică cu transformatorul de adaptare  $T_1$  și prin acesta, cu redresorul trifazat A.

7. Cu ajutorul intreruptorului  $e_6$  se racordează la rețea transformatorul de adaptare  $T_2$ .

8. Prin intreruptorul  $e_7$  se alimentează blocul de comandă BC, în situația când asigură valoarea maximă ( $150^\circ$ ) pentru unghiul de comandă  $\alpha$  a tiristoarelor invertorului.

9. Se măsoară tensiunile  $u_A$  și  $u_B$  și se modifică astfel raportul de transformare al transformatoarelor  $T_1$  și  $T_2$  încât să rezulte:  $u_A > u_B$ . Diferența  $u_A - u_B$  se alege în funcție de perechii motorului.

10. Se închide intreruptorul  $e_8$  și astfel instalația este pusă în stare de funcționare.

Modificarea înălțării motorului MA, de la mersul în gol la sarcina dorită, se poate realiza prin următoarele procedee:

a) Menținând diferența tensiunilor  $u_A$  și  $u_B$  la o anumită valoare  $\Delta u$  constantă ( $u_A - u_B = \Delta u = \text{ct.}$ ) și modificând unghiul de comandă ( $\alpha = 150^\circ - 90^\circ$ );

b) Menținând unghiul  $\alpha$  la o anumită valoare constantă și modificând valoarea diferenței tensiunilor  $\Delta u$ . Aceasta se poate realiza în trei moduri:

- menținând  $u_A = \text{ct}$  și modificând tensiunea  $u_B$  (micșo-

rare pînă la valoarea nulă);

- menținind  $u_m = \text{const}$  și modificind tensiunea  $u_A$  (creșterea pînă la valoarea maximă admisă);

- prin combinarea celor două moduri;

c) Procedeu rezultat din combinarea procedurilor a și b.

Realizarea acestor modalități de încărcare se poate obține cu ajutorul transformatoarelor de adaptare  $T_1, T_2$  și reostatului  $R_g$ .

### 2.3. Situațiile în care poate fi încercat un motor asincron

Schema electrică monofilară a instalației prezentată de autor se arată în figura 22.

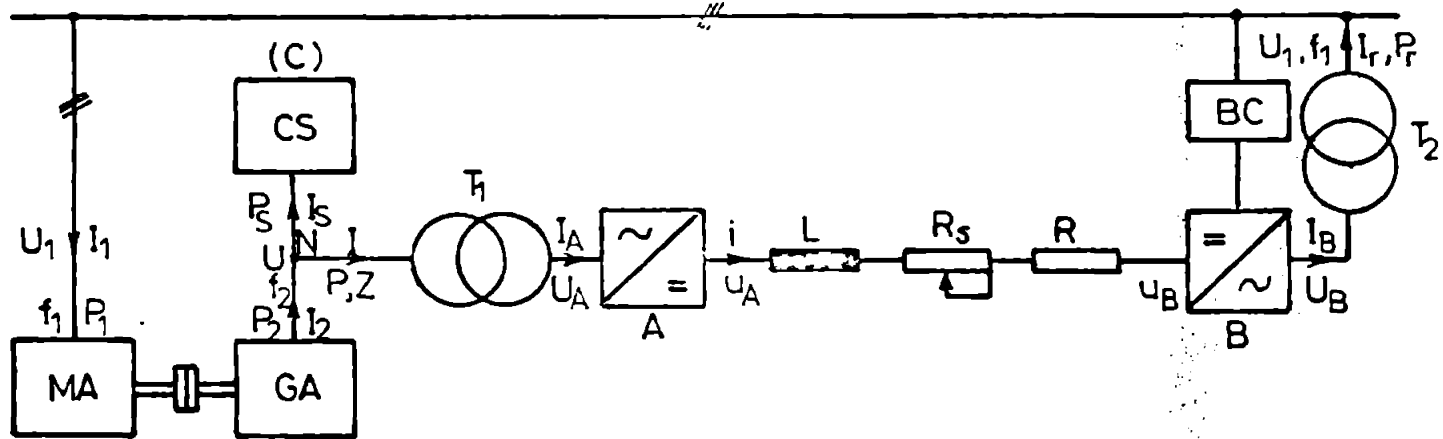


FIG.22.

Notațiile elementelor componente sînt identice cu cele arătate în figura 21. În plus, în figura 22 apar și notațiile mărimilor electrice corespunzătoare, după cum urmează:

- $U_1$  - tensiunea de alimentare a motorului MA;
- $f_1$  - frecvența tensiunii de alimentare;
- $I_1$  - curentul electric absorbit de motorul MA;
- $P_1$  - puterea absorbită de motorul MA;
- $U$  - tensiunea din nodul N;
- $f_2$  - frecvența din nodul N;
- $I_2$  - curentul electric debitat de generatorul GA;
- $P_2$  - puterea debitată de generatorul GA;
- $I_g$  - curentul electric absorbit de compensatorul CS;
- $P_g$  - puterea absorbită de compensatorul CS;
- $I$  - curentul electric de sarcină;
- $P$  - puterea circuitului de sarcină;
- $Z$  - impedanța circuitului de sarcină;



$U_A, I_A$  - tensiunea, respectiv curentul la bornele redresorului  $A_1$

$u_A$  - tensiunea medie redresată la bornele redresorului  $A_1$

$i$  - curentul media redresat din circuitul intermediar al motorului;

$u_B$  - tensiunea medie redresată la bornele inverterului  $B_1$

$U_B, I_B$  - tensiunea, respectiv curentul la bornele inverterului  $B_1$

$I_r, P_r$  - curentul, respectiv puterea de recuperare.

Încercarea motorului asincron MA, respectiv folosirea schemei, se poate face în următoarele situații:

- a)  $U \neq ct$ ,  $n \neq ct$ ,  $U_1 = ct$ ,  $f_1 = ct$ ;
- b)  $U = ct$ ,  $n \neq ct$ ,  $U_1 = ct$ ,  $f_1 = ct$ ;
- c)  $U \neq ct$ ,  $n = ct$ ,  $U_1 = ct$ ,  $f_1 \neq ct$ ;
- d)  $U = ct$ ,  $n = ct$ ,  $U_1 = ct$ ,  $f_1 \neq ct$ ;
- e)  $U/f_2 = ct$ ,  $n \neq ct$ ,  $U_1 = ct$ ,  $f_1 \neq ct$ ;

$n$  este turația la arborele motorului încercat.

Se precizează că ar mai exista situația în care  $U_1 \neq ct$ , dar de obicei, motorul MA se încercă la tensiune de alimentare constantă.

În cazul a), în procesul de încercare a motorului MA, se intervine din exterior numai la modificarea încălzirii, de la mercurul în gal la sarcina dorită. Pe măsură ce motorul se încarcă turația  $n$  scade, frecvența  $f_2$ , ca urmare, scade și deci, în final, tensiunea  $U$  scade.

În cazul b), pe lângă intervenția de modificare a încălzirii motorului MA, trebuie să se intervină pentru menținerea la o anumită valoare constantă a tensiunii  $U$ . Aceasta se realizează prin mărirea curentului de excitație la compensatorul C3.

Este evident că, din punct de vedere economic, cazul a) se preferă față de cazul b), deoarece în acest caz nu se necesită o energie din exterior, în plus, pentru menținerea  $U=ct$ .

În cazul c) menținerea turației  $n$  la o anumită valoare constantă se realizează prin modificarea corespunzătoare a frecvenței  $f_1$ .

În cazul d), menținerea  $U=ct$  se realizează prin mărirea curentului de excitație la compensatorul C3, iar  $n=ct$  se reali-

această prin modificarea corespunzătoare a frecvenței  $f_1$ .

În cazul e), modificarea turației  $n$  se realizează prin modificarea frecvenței  $f_1$ , iar menținerea la o anumită valoare a cuplului motorului MA ( $M/f_2=ct$ ) se obține prin intermediul excitației compensatorului CB și una din metodele de modificare a încălzirii motorului MA.

În figura 23 se prezintă modul necesar de variație a frecvenței  $f_1$  pentru cazurile c) și d), iar în figura 24, aceeași variație pentru cazul e).

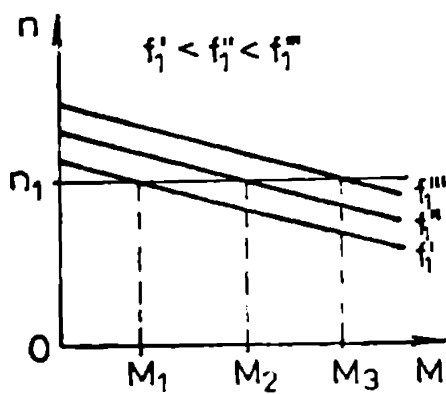


FIG. 23.

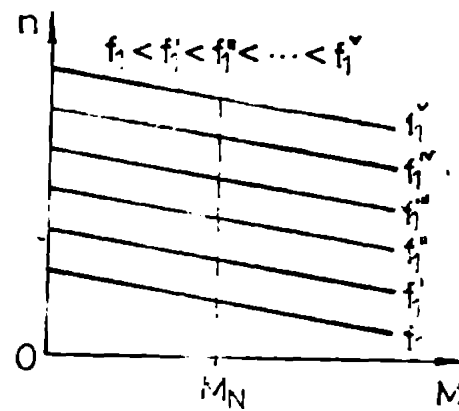


FIG. 24.

De remarcat este faptul că în ultimele trei cazuri este necesar să existe posibilitatea modificării frecvenței sursei de alimentare. Aceasta se realizează prin varierea turației generatorului ce constituie sursa de alimentare.

Menținerea  $U_1=ct$  în ultimele trei cazuri se obține prin modificarea excitației sursei de alimentare.

În cazurile c) și d) când frecvența  $f_1$  trebuie să crească pe măsură ce motorul MA se încălzește, pentru menținerea  $U_1=ct$  trebuie ca excitația sursei de alimentare să scadă.

Alegerea situației în care urmează a fi încercat un motor asincron este impusă de condițiile specifice (legate de turație și cuplu) în care urmează să funcționeze acesta în exploatare.

Astfel, un motor asincron necesar acționării mecanismului de ridicare-coborâre în cadrul unui pod rulant sau necara va fi desigur încercat în situația e).

Un motor asincron destinat tracțiunii electrice, unor mașini unelte sau agregate complexe, când trebuie să funcționeze în unele situații la diferite încălziri cu turație constantă, se

va încerca în una din situațiile c sau d.

Pentru uzul general al motoarelor asincrone, încercarea lor se face în una din situațiile a sau b.

#### 2.4. Variante de folosire a instalației propuse de autor

În funcție de parametrii electrici (putere, tensiuni, curenți) ai motorului asincron se încercat, se adoptă variante cea mai corespunzătoare de folosire a schemei. Acestea se referă, așa cum se specifică la pagina 36, la utilizarea în totalitate sau parțial a componentelor  $T_1, T_2$  și  $R_g$  din schema propusă (fig. 21).

În acest sens se vor prezenta cinci variante de folosire a schemei.

Cea mai simplă variantă (fără  $T_1, T_2, R_g$ ) de folosire a schemei este prezentată în figura 25.

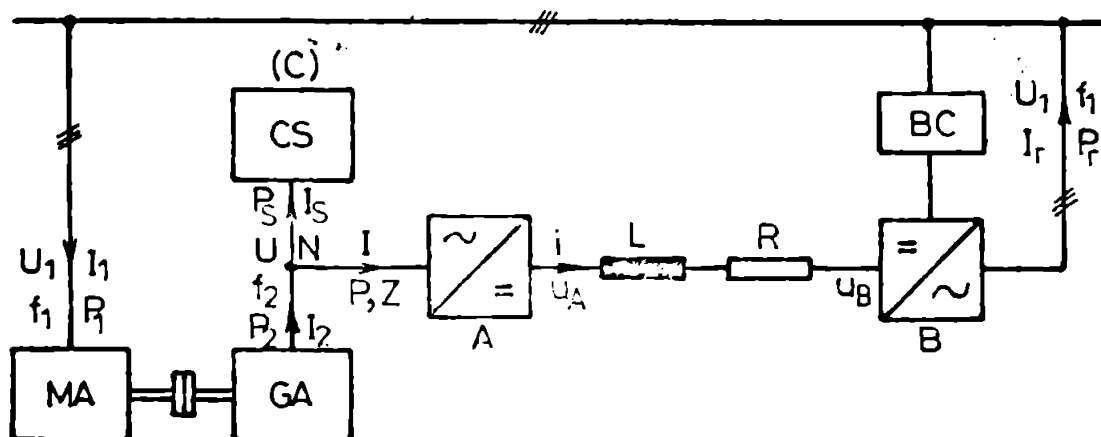


FIG. 25.

În continuare, se prezintă modul de calcul al unor mărimi din cadrul schemei propuse, în regim permanent de funcționare (rezistența  $R$ ) precum și în perioade pornirii (tensiuni și curenți), funcție de care se adoptă variante cea mai adecvată de folosire a schemei.

Între tensiunea efectivă de fază  $U$  de la intrarea în redresor (A) și tensiunea medie redresată  $u_A$  există următoarea relație [36]:

$$u_A = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U = 2,34 U$$

Pe de altă parte, între tensiunea de fază  $U_1$  de la ieșirea din inverter (B) și tensiunea medie redresată  $u_B$  există relația:

$$u_B = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_1 \cos \alpha = 2,34 U_1 \cos \alpha$$

Cunoscând limitele de variație ale unghiului de comandă  $\alpha$  pentru regimul de inverter, se poate calcula:

$$u_{\text{min}} = 2,34 \cdot U_1 \cos 90^\circ = 0$$

$$u_{\text{max}} = 2,34 \cdot U_1 \cos 150^\circ = 2,02 U_1 .$$

Pentru o analiză concretă se consideră una din situațiile în care se poate încerca un motor asincron. Alegem situația b) în care:  $U = \text{ot}$ ,  $U_1 = \text{ot}$ ,  $f_1 = \text{ot}$  și  $n \neq \text{ot}$ .

Presupunem cazul usual și scame:  $U = U_1 = 220 \text{ V}$ , pentru care rezultă:

$$u_A = 2,34 \cdot 220 = 514,8 \text{ V}$$

$$u_{\text{max}} = 2,34 \cdot 220 \cdot 0,866 = 445,8 \text{ V}$$

Curentul minim din circuitul intermediar de curent continuu al motorului poate fi calculat astfel:

$$i_{\text{min}} = \frac{u_A - u_{\text{max}}}{R} = \frac{514,8 - 445,8}{1,3} = \frac{69}{1,3} = 53,07 \text{ A}$$

unde  $R$  este rezistența circuitului intermediar și se determină experimental la o instalație dată în felul următor: se realizează o valoare pentru tensiunea  $u_A$  și una pentru  $u_B$  în așa fel încât diferența  $u_A - u_B$  să nu depășească 5-10 V după care se închide întreruptorul  $Q_3$  (fig.21). Curentul rezultat astfel în circuitul intermediar poate fi măsurat cu ajutorul unui ampermetru.

Avind datele necesare, rezistența  $R$  se calculează după cum urmează:

$$R = \frac{u_A - u_B}{I}$$

În cazul instalației realizate  $R = 1,3 \Omega$ .

Curentul de 53,07 A care e rezultat mai sus are valoare prea mare pentru prima încercare la care se supune motorul de încerc.

În scopul reducerii acestui curent se poate proceda în două moduri: fie prin mărirea tensiunii  $u_B$ , prin intercalarea unui transformator de adaptare corespunzător  $T_2$  așa cum rezultă din figura 26, fie prin introducerea unui rezistor  $R_0$  în circuitul intermediar, așa cum se poate observa în figura 27.

În primul caz, în scopul calculării tensiunii de față din secundarul transformatorului  $T_2$ , se pornește de la  $u_A - u_B =$

=4,8 V impusă pentru cea mai mică încălzire a motorului încercat.

Cunoscând că tensiunea  $u_A = 514,8$  V, rezultă:

$$u_B = u_A - 4,8 = 514,8 - 4,8 = 510 \text{ V}$$

Tensiunea de fază a secundarului  $U_B$  se poate calcula din relația:

$$u_B = 2,34 \cdot U_B \cdot \cos \alpha \quad , \text{ astfel:}$$

$$U_B = \frac{u_B}{2,34 \cdot |\cos \alpha|} = \frac{510}{2,34 \cdot 0,666} = 251,6 \text{ V} .$$

Se precizează că în procesul de încercare al unui motor se pornește cu  $\alpha = 150^\circ$  pentru care corespunde  $u_{B \max}$ , respectiv curentul minim din circuitul intermediar:

$$i_{\min} = \frac{u_A - u_{B \max}}{R}$$

și se scade pînă la  $\alpha = 90^\circ$  pentru care corespunde  $u_{B \min} = 0$ , respectiv curentul maxim:

$$i_{\max} = \frac{u_A - u_{B \min}}{R} = \frac{u_A}{R}$$

și astfel se asigură o încălzire progresivă a motorului încercat.

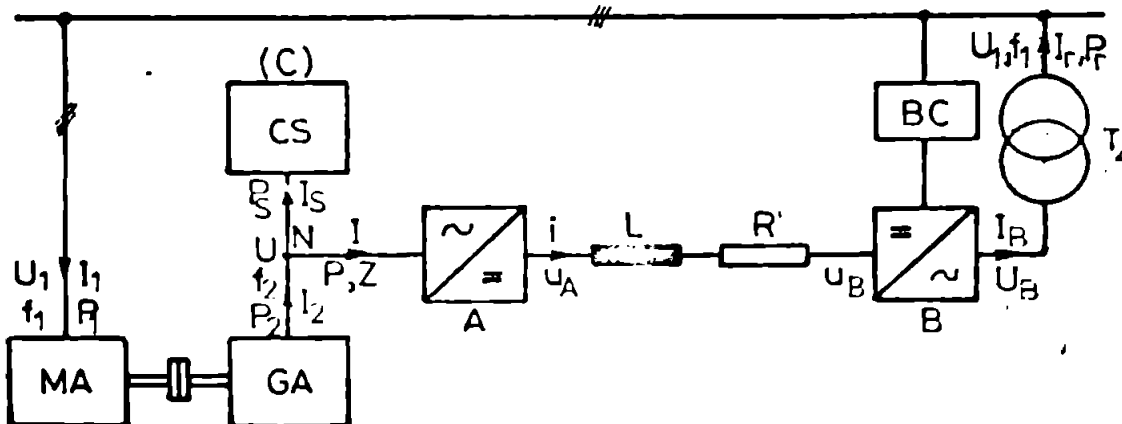


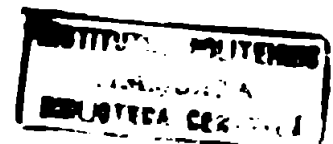
FIG.26.

Curentul la pornire, corespunzător primei încălziri a motorului încercat va fi :

$$i_p = \frac{u_A - u_B}{R} = \frac{514,8 - 510}{1,3} = \frac{4,8}{1,3} = 3,69 \text{ A} \quad , \text{ iar valoarea maximă:}$$

cea maximă:

$$i_{\max} = \frac{u_A}{R} = \frac{514,8}{1,3} = 396 \text{ A} .$$



Intre curentul din circuitul intermediar  $i$  și curentul de fază de la intrarea în redresor  $I$  există relația 62 :

$$I = \sqrt{\frac{2}{3}} i = 0,815 \cdot i$$

Corespunzător curenților de mai sus  $i_p$  și  $i_{max}$  ve rezultă:

$$I_p = 0,815 \cdot i_p = 0,815 \cdot 3,69 = 3 \text{ A.}$$

$$I_{max} = 0,815 \cdot i_{max} = 0,815 \cdot 396 = 322,74 \text{ A.}$$

ceea ce arată că se poate încerca un motor de o putere corespunzătoare curentului de la intrarea în redresor  $I_{max} = 322,74 \text{ A}$ .

Există posibilitatea de a nu se menține transformatorul  $T_2$  tot timpul procesului de încercare a motorului, ci pînă la atingerea valorii  $U_p = 220 \text{ V}$ , prin modificarea raportului de transformare.

Acosta înseamnă că în acest caz se pornește cu  $\alpha = 150^\circ$  corespunzător  $u_{Bmax}$  iar încălzirea progresivă făcîndu-se prin modificarea raportului de transformare pînă se ajunge la  $U_B = 220 \text{ V}$ , cît este în cazul legării directe la rețea, pentru care corespunde  $i_{min} = 53,07 \text{ A}$ , moment în care se puntează printr-un întrerupător transformatorul  $T_2$ , încălzirea în continuare realizîndu-se prin reducerea unghiului  $\alpha$  de la  $150^\circ$  la  $90^\circ$  pentru care corespunde  $i_{max} = 396 \text{ A}$ .

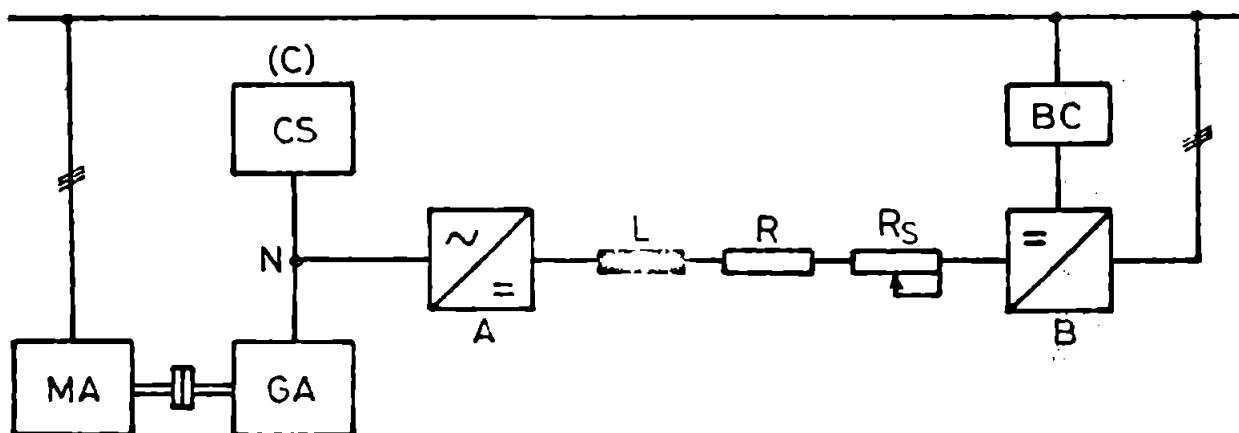


FIG.27.

În al doilea caz, cînd se apelează la reostatul  $R_0$ , valoarea rezistenței sale electrice se calculează astfel ca la pornire curentul  $i_p$  să nu depășească 4 A.

Astfel se obține:

$$R_0 + R_s = \frac{U_A - U_{Bmax}}{I_p} = \frac{514,8 - 445,8}{4} = \frac{69}{4} = 17,25 \Omega.$$

$$R_g = 17,25 - 1,3 = 17,25 - 1,3 \approx 16 \Omega .$$

În acest caz procesul de încălzire al motorului încercat se realizează prin scăderea valorii rezistenței reostatului  $R_g$  pe măsură ce dorim să creștem încălzirea. Aceasta are loc pînă la scurtcircuitarea reostatului, pentru care corespunde  $i_{\min} = 52,07$  A. În continuare, încălzirea motorului se realizează prin scăderea unghiului  $\alpha$  pînă la valoarea de  $90^\circ$  pentru care corespunde curentul  $i_{\max} = 396$  A, respectiv  $I_{\max} = 322,74$  A.

În afară de cele două soluții prezentate mai sus, mai există o soluție foarte economică cînd nu se face uz nici de transformatorul  $T_2$  și nici de reostatul  $R_g$ .

În acest caz însă schema trebuie să funcționeze la tensiunea  $U < 220$  V, ceea ce nu constituie o problemă deoarece această tensiune poate fi micșorată foarte simplu prin reducerea curentului de excitație al compensatorului sincron. Aceasta înseamnă că, în plus, se realizează și o economie de energie electrică la sursa de curent continuu.

Valoarea necesară pentru tensiunea  $U$ , în acest caz, rezultă din condiția ca la pornire să se obțină  $u_A = u_{R\max} = 4,8$  V, fiindcă  $u_{R\max} = 445,8$  V.

Valoarea corectă necesară pentru tensiunea  $u_A$  va fi:

$$u_A = 4,8 + 445,8 = 450,6 \text{ V}$$

Relația dintre tensiunile  $u_A$  și  $U$  fiind:

$$u_A = 2,34 U \quad , \text{ rezultă:}$$

$$U = \frac{u_A}{2,34} = \frac{450,6}{2,34} = 192,5 \text{ V} < 220 \text{ V} .$$

Ca urmare, în acest caz, se micșorează curentul de excitație  $i_p$  (fig.21) al compensatorului sincron CS pînă cînd în nodul B (fig.22) se ajunge la tensiunea  $U = 192,5$  V.

Curentul  $i_p$  din circuitul intermediar, în acest caz, va avea valoarea:

$$i_p = \frac{u_A - u_{R\max}}{R} = \frac{450,6 - 445,8}{1,3} = 3,7 \text{ A}$$

ier valoarea maximă:

$$i_{\max} = \frac{u_A}{R} = \frac{450,6}{1,3} = 346,6 \text{ A} .$$

Pentru a ajunge la capacitatea maximă de încărcare a schemei, în continuare, se trece la mărirea curentului de excitație până se ajunge la  $U=220$  V, pentru care corespunde curentul  $i_{max} = 396$  A.

În scopul utilizării schemei pentru încărcări mai mari ( $i_{max} > 396$  A), trebuie mărită tensiunea  $U$  peste 220 V. Pentru aceasta se face uz de un transformator de adaptare  $T_1$  (fig.28) ridicător de tensiune, intercalat între nodul N și redresorul A.

În acest caz se pot încerca motoare asincrone de puteri nelimitate, cu condiția ca motorul să fie dimensionat corespunzător.

În concluzie, schema prezentată poate fi utilizată în condiții din cele mai economice pentru încercarea motoarelor asincrone de orice putere și turație. În funcție de puterea motorului ce urmează a fi încercat, se alege varianta de folosire a schemei prezentate.

În figura 29 se prezintă schema monofilară completă a instalației cu care se pot face uz de toate posibilitățile de utilizare a schemei prezentate.

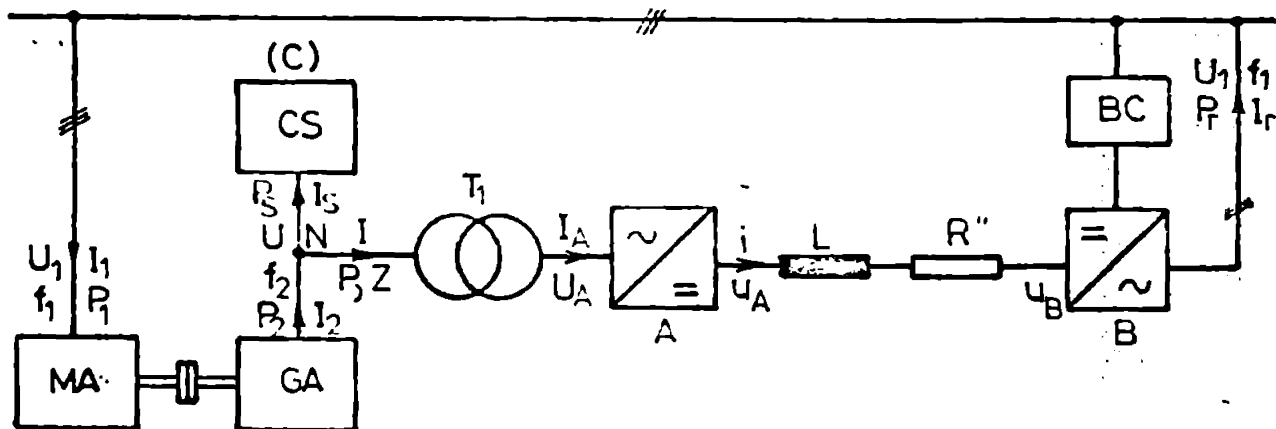


FIG.28.

În această schemă au fost introduse următoarele notații în plus față de celelalte scheme prezentate anterior:

$T_1$  - transformator de adaptare, necesar pentru ridicarea tensiunii  $U$  la peste valoarea de 220 V;

$T_2$  - transformator de adaptare, necesar pentru mărirea tensiunii  $u_B$ ;

$c_1$  - întreruptor pentru șutarea transformatorului  $T_1$ ;

$c_2$  - întreruptor pentru șutarea transformatorului  $T_2$ .



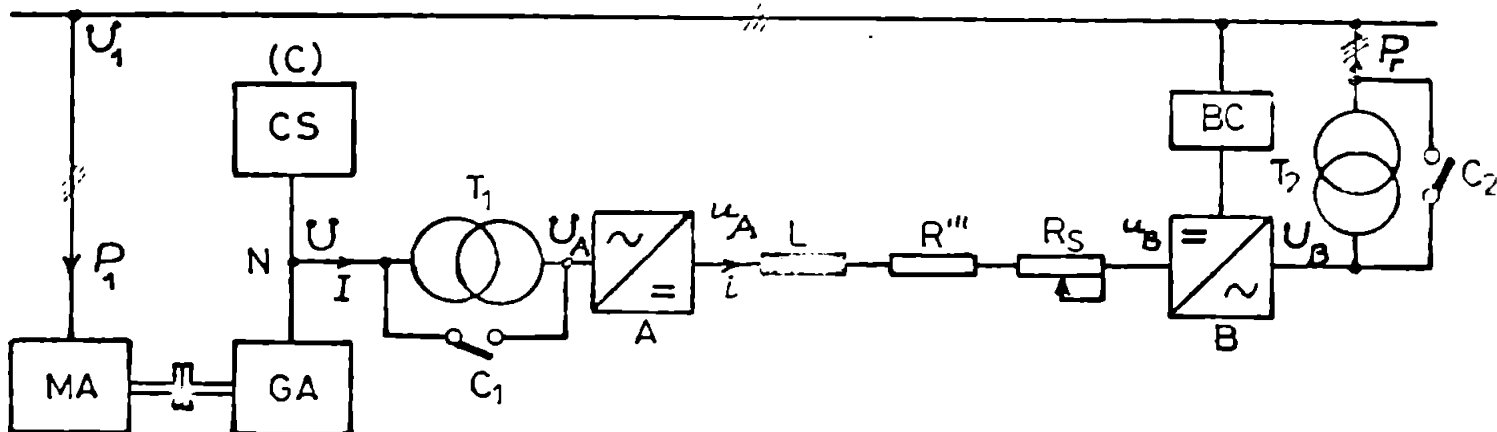


FIG. 29.

**2.5. Studiul teoretic al variantelor de folosire a instalației propuse de autor**

În acest scop se vor scrie ecuațiile ce caracterizează fiecare element component al schemei, precum și ecuațiile de interdependență dintre componente în timpul funcționării.

Se precizează că se vor analiza toate variantele de folosire a schemei.

**2.5.1. Varianta cea mai simplă și economică (fără  $T_1, T_2$  și  $R_g$ )**

Schema electrică monofilară este prezentată în figura 25.

a) Pentru motorul asincron de încercat MA se pot scrie ecuațiile [29]:

$$\begin{aligned} U_1 &= Z_1 I_1 - U_{e1} & 0 &= -Z_2' I_2' + U_{e1} \\ U_{e1} &= -Z_{1m} I_{e1} & I_{e1} &= I_1 + I_2' \end{aligned} \quad (3)$$

În care:

$$\begin{aligned} Z_1 &= R_1 + jX_1 \\ Z_{1m} &= R_{1m} + jX_{1m} \\ Z_2' &= \frac{R_2'}{s} + jX_2' \end{aligned}$$

Respectiv:

- $R_1$  este rezistența fazei statorice;
- $X_1$  - reactanța fazei statorice;
- $R_{1m}$  - rezistența corespunzătoare circuitului de magnetizare ;
- $X_{1m}$  - reactanța corespunzătoare circuitului de magnetizare ;

$R_2'$  - rezistența fazei rotorice redusă la stator;

$X_2'$  - reactanța fazei rotorice redusă la stator;

$s_M$  - alunecarea ( $0 < s_M < 1$ ).

b) Pentru generatorul sincron GA ecuațiile sînt asemănătoare cu cele de la punctul a) cu deosebirea că  $U_1$  devine  $U$ ,  $I_1$  devine  $I_2$  și alunecarea  $s_M$  devine  $s_G < 0$ . Notățiile rămîn identice.

c) În cazul compensatorului sincron CB se poate scrie ecuația:

$$\underline{U} = \underline{Z}_s \underline{I}_s - \underline{U}_e R \quad (4)$$

În care:  $\underline{Z}_s = R_s + jX_s$  este impedanța sincronă;

$R_s$  - rezistența sincronă;

$X_s$  - reactanța sincronă;

$\underline{U}_e R$  - tensiunea electromotoare polară.

d) Pentru circuitul de recuperare rezultă:

$$\underline{U} = \underline{Z} \underline{I} \quad (5)$$

În care  $\underline{Z} = R + jX$  este impedanța echivalentă a circuitului de recuperare.

e) În nodul N, în conformitate cu prima lege a lui Kirchhoff, se poate scrie:

$$0 = \underline{I}_2 + \underline{I}_s + \underline{I} \quad (6)$$

f) Relația între turația  $n_M$ , alunecarea  $s_1$  și turația sincronă  $n_1$  a motorului MA:

$$n_M = n_1(1 - s_M)$$

g) Idem pentru generatorul GA:

$$n_G = n_2(1 + s_G)$$

h) Mașinile MA și GA fiind cuplate rigid mecanic rezultă:

$$n_1(1 - s_M) = n_2(1 + s_G)$$

$$n_2 = n_1 \frac{1 - s_M}{1 + s_G}$$

Pentru cazul în care cele două mașini sînt identice, de asemenea rezultă:

$$s_2 = s_1 \frac{1 - s_M}{1 + s_G}$$

în care  $f_1$  este frecvența tensiunii  $U_1$  de alimentare a motorului MA;

$f_2$  - frecvența tensiunii  $U$  din nodul N.

i) Durata Compensatorului sincron CS este dată de relația:

$$n_s = \frac{60f_2}{p_s} = 60 \frac{f_1}{p_s} \frac{1-s_M}{1+s_G}$$

în care  $p_s$  reprezintă numărul perechilor de poli ai compensatorului.

j) Relația între tensiunea efectivă de fază  $U$  de la intrarea în convertorul A și tensiunea medie redresată  $u_A$  [5] :

$$u_A = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U = 2,34 U \quad (7)$$

k) Relația între tensiunea efectivă de fază  $U_1$  de la ieșirea din convertorul B și tensiunea medie redresată  $u_B$  :

$$u_B = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_1 \cos \alpha = 2,34 \cdot U_1 \cos \alpha \quad (8)$$

l) Curentul medie redresat  $i$  din circuitul intermediar de curent continuu al motorului M este dat de relația:

$$i = \frac{u_A - u_B}{R} \quad (9)$$

în care  $R$  este rezistența circuitului intermediar:

m) Relația între curenții  $I$  și  $i$  [62] :

$$I = \sqrt{\frac{2}{3}} i = 0,815 \cdot i \quad (10)$$

n) Relația între curentul  $i$  și curentul recurepat  $I_r$  :

$$I_r = 0,815 \cdot i$$

o) Tînînd seama de relațiile (7), (8) și (9), relația (10) devine:

$$U = \frac{R}{1,907} I + U_1 \cos \alpha$$

și exprimă o legătură de interdependență între tensiunea și curentul de intrare în motor și unghiul de comandă al tiristoarelor invertorului B, prin intermediul rezistenței  $R$  și tensiunii rețelei  $U_1$ .

p) Bilanțul puterilor

Dacă ne referim la cele două mașini cuplate mecanic, putem scrie:

$$P_1 = P_2 + 2 \cdot \sum p$$

In care:  $P_1$  reprezintă puterea absorbită de motorul de încercare MA;

$2 \sum p$  - suma pierderilor din mașinile MA și GA

La rândul său:

$$P_2 = P + P_g$$

In care:  $P$  reprezintă puterea ce intră în motor;

$P_g$  - puterea absorbită de compensator

Puterea recuperată  $P_r$  rezultă ca fiind:

$$P_r = P_1 - (2 \sum p + \sum P_M + P_{BC} + P_g + P_{\bullet})$$

In care:  $P_M$  reprezintă pierderile din motor;

$P_{BC}$  - pierderile din blocul de comandă;

$P_{\bullet}$  - puterea corespunzătoare circuitului de excitație al compensatorului.

Pierderile din motor se calculează astfel:

$$\sum P_M = P_L + 2(p_D + P_{T1})$$

In care:  $p_L$  reprezintă pierderile din bobina de netezire;

$p_D$  - pierderile dintr-o diodă;

$P_{T1}$  - pierderile dintr-un tiristor.

Cifra 2 reprezintă faptul că simultan conduc două diode și două tiristoare.

Analiza situației în care compensatorul CS se falșifică cu baterie de condensatoare C

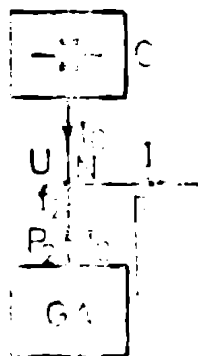


FIG. 30.

Porțiunea schemei monofilare corespunzătoare se modifică ca în figura 30.

Tranzițiile a) → p) în acest caz se modifică după cum urmează:

a) Pentru baterie de condensatoare C se poate scrie ecuația:

$$U = X_0 I_0 \quad (11)$$

In care:  $I_0$  este curentul capacitiv pe fază;

$X_0$  - reactanța capacitivă

$$X_0 = \frac{1}{\omega_2 C} = \frac{1}{2\pi f_2 C}$$

in care C este capacitatea echivalentă pe fază.

e) In nodul N, in conformitate cu prima lege a lui Kirchhoff se poate scrie:

$$0 = I_2 + I_0 + I \quad (12)$$

1) Se suprime

p) In acest caz :  $P_2 = P$  ,  $P_3 = 0$  ,  $P_0 = 0$  și ca urmare:

$$P_T = P_1 - (2 \sum p + \sum p_M + P_{RC})$$

Se observă că in acest caz rezultă o economie de energie electrică corespunzătoare puterilor  $P_0$  și  $P_3$ .

Această variantă a schemei este cea mai rentabilă din punct de vedere economic, deoarece se obține maximum de energie recuperată. In plus, costul investițiilor pentru realizarea schemei , in acest caz, este cel mai redus, nefiind nevoie de compensator sincron, motor aferent pentru antrenarea compensatorului, surse de alimentare pentru excitație, reostate și intreruptoare corespunzătoare.

### 2.5.2. Variantă schemei cu transformatorul de adaptare $T_2$ intercalat între rețea și inverter (3)

Schema monofilară corespunzătoare este prezentată in figura 26.

Ecuațiile a) → p) in acest caz se modifică astfel:

k) Relația între tensiunea  $u_B$  de la intrarea in inverter (B) și tensiunea  $U_B$  de la ieșire, care totodată este și tensiunea de fază din secundarul transformatorului  $T_2$  este:

$$u_B = \frac{1\sqrt{6}}{\pi} U_B \cos \alpha = 2,34 \cdot U_B \cos \alpha$$

Relația între curentul din circuitul intermediar i și curentul de la ieșirea din inverter  $I_B$  este:

$$I_B = 0,815 \cdot i$$

Sistemul de ecuații corespunzător transformatorului  $T_2$  este:

$$U_1 = -I_1 I_T - U_{e1}$$

$$U_{e1} = -I_{12} I_{o1} \quad ; \quad k_2 = \frac{U_{e1}}{U_{e2}}$$

$$I_{o1} = I_T + I_T'$$

$$U_2 = -I_2 I_T' + U_{e1}$$

in care:  $U_A = k_2 U_B$  ;  $I_B = \frac{1}{k_2} I_A$

$Z_2' = k^2 Z_2$  - impedanța fazei secundarului redusă la primar;

$Z_2 = R_2 + jX_2$  - impedanța fazei secundarului;

$Z_1 = R_1 + jX_1$  - impedanța fazei primarului;

$Z_{1m} = R_{1m} + jX_{1m}$  - impedanța corespunzătoare circuitului magnetic.

e) In acest caz relația de interdependență între mărimile  $U$ ,  $U_B$ ,  $I$ ,  $R$  și  $\cos \alpha$  este următoarea :

$$U = \frac{R}{1,907} I + U_B \cos \alpha .$$

p) In cadrul bilanțului puterilor, la totalul pierderilor se vor mai adăuga pierderile din transformatorul de adptare  $T_2$ .

Astfel, in cazul folosirii compensatorului sincron, expresia puterii recuperate va fi:

$$P_R = P_1 - (2 \sum p + \sum P_M + P_{BC} + P_e + P_s + P_{T_2})$$

in care  $p_{T_2}$  reprezintă pierderile din transformatorul  $T_2$ .

In cazul folosirii bateriei de condensatoare obținem:

$$P_R = P_1 - (2 \sum p + \sum P_M + P_{BC} + P_{T_2}) .$$

### 2.5.2. Variante schemei rezultată prin folosirea reostatului $R_g$ in circuitul intermediar al motorului

Scheme monofilară este prezentată in figura 27.

Conștiile a)  $\rightarrow$  p) in acest caz se modifică după cum urmează:

1) Expresia de calcul a curentului din circuitul intermediar

$$I = \frac{U_A - U_B}{R + R_g}$$

o) Relația de interdependență:

$$U = \frac{R + R_g}{1,907} I + U_1 \cos \alpha$$

p) In cazul folosirii compensatorului sincron:

$$P_F = P_1 - (2 \sum p + \sum P_M + P_{BC} + P_{\theta} + P_{\alpha} + P_{R_g})$$

in care  $P_{R_g} = i^2 \cdot R_g$  reprezintă pierderile din rezistorul  $R_g$ .

In cazul folosirii bateriei de condensatoare:

$$P_F = P_1 - (2 \sum p + \sum P_M + P_{BC} + P_{R_g}) .$$

#### 2.5.4. Varianta schemei rezultată prin intercalarea transformatorului de adaptare $T_1$ între nodul N și convertorul A

Schema electrică monofilară este prezentată în figura 28.

Ecuațiile a)  $\rightarrow$  p) în acest caz se modifică astfel:

d) De data aceasta în ramura de recuperare se intercalează transformatorul de adaptare  $T_1$  al cărui primar are legătură galvanică în nodul N.

Sistemul de ecuații corespunzător acestui transformator este:

$$\begin{aligned} \underline{U} &= \underline{Z} \underline{I} - \underline{U}'_{01} & ; & & \underline{U}_A &= -\underline{Z}_A \underline{I}_A + \underline{U}_{02} \\ \underline{U}'_{01} &= -\underline{Z}'_{12} \underline{I}'_{01} & & & \underline{I}'_{01} &= \underline{I} + \frac{\underline{I}_A}{k_1} \end{aligned}$$

In care:  $Z = R + jX$

$$\underline{Z}'_{12} = R'_{12} + jX'_{12}$$

$$\underline{Z}_A = R_A + jX_A$$

$$k_1 = \frac{N_{01}}{N_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Respectiv:

R este rezistența unei faze primare;

X - impedanța unei faze primare;

$R'_{12}$  - rezistența corespunzătoare circuitului magnetic;

$X'_{12}$  - reactanța corespunzătoare circuitului magnetic;

$R_A$  - rezistența unei faze secundare;

$X_A$  - reactanța unei faze secundare .

j) Relația între tensiunea efectivă de fază  $U_A$  și tensiunea medie redusă  $u_A$  :

$$u_A = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_A = 2,34 \cdot U_A .$$

m) Relația între curentul  $i$  din circuitul intermediar al matatorului și curentul  $I_A$  din secundarul transformatorului:

$$I_A = 0,815 \cdot I$$

e) Relația de interdependență:

$$U_A = \frac{R^*}{1,907} I_A + U_1 \cos \alpha$$

p) Bilanțul puterilor:

În cazul folosirii compensatorului sincron CS:

$$P_F = P_1 - (2 \sum p + \sum P_{M1} + P_{BC} + P_e + P_A + P_{T1})$$

în care  $p_{T1}$  sînt pierderile din transformatorul  $T_1$ .

În cazul folosirii bateriei de condensatoare C:

$$P_F = P_1 - (2 \sum p + \sum P_{M1} + P_{BC} + P_{T1})$$

### 2.5.5. Variante cu transformatoarele de adaptare

#### $T_1$ , $T_2$ și rezistorul $R$ din circuitul intermediar al autoturului

Schema monofilară este prezentată în figura 29.

Acest caz este o sumă a cazurilor analizate anterior.

Ecuațiile e)  $\rightarrow$  p) în acest caz se modifică după cum urmează:

j) Relație între tensiunea de fază  $U_A$  și tensiunea medie redresată  $u_A$ :

$$u_A = \frac{2\sqrt{6}}{\pi} U_A = 2,34 \cdot U_A$$

k) Relație între tensiunea  $u_B$  de la intrarea în inverter (R) și tensiunea  $U_B$  de la ieșire, care este totodată și tensiunea de fază din secundarul transformatorului  $T_2$  este:

$$u_B = \frac{2\sqrt{6}}{\pi} U_B \cos \alpha = 2,34 U_B \cos \alpha$$

l) Expresie de calcul a curentului din circuitul intermediar al autoturului:

$$I = \frac{u_A - u_B}{R^{**} + R_B}$$

în care  $R^{**}$  este valoarea rezistenței circuitului intermediar, în acest caz.

o) Relația de interdependență:

$$U_A = \frac{R^{**} + R_B}{1,907} I_A + U_B \cos \alpha$$



p) In cazul folosirii compensatorului sincron:

$$P_T = P_1 - (2 \sum p + \sum P_M + P_{BC} + P_e + P_s + P_{R_g} + P_{T_1} + P_{T_2})$$

In cazul folosirii bateriei de condensatoare :

$$P_T = P_1 - (2 \sum p + \sum P_M + P_{BC} + P_{R_g} + P_{T_1} + P_{T_2})$$

### 2.5.6. Convertirea ecuațiilor

In scopul facilitării rezolvării sistemului de ecuații folosind ordinatorul electronic, autorul a convertit ecuațiile fenomenale in ecuații algebrice liniare. Pentru aceasta, mărimile fenomenale au fost scrise in funcție de componentele lor reale și imaginare in planul complex.

e) Astfel dacă ne referim la ecuațiile scrise pentru motorul sincron de încercat MA obținem:

$$I_1 = x_1 + jx_2 \quad ; \quad I_{o1} = x_5 + jx_6$$

$$I_2 = x_3 + jx_4 \quad ; \quad U_{o1} = x_7 + jx_8$$

In acest caz sistemul de ecuații (3) devine:

$$U_1 = (R_1 + jX_1)(x_1 + jx_2) - (x_7 + jx_8)$$

$$x_7 + jx_8 = -(R_{1m} + jX_{1m})(x_5 + jx_6)$$

$$0 = -\left(\frac{R_2}{s_M} + jX_2^s\right)(x_3 + jx_4) + (x_7 + jx_8)$$

$$x_5 + jx_6 = (x_1 + jx_2) + (x_3 + jx_4)$$

In final rezultă sistemul:

$$U_1 = R_1 x_1 - X_1 x_2 - x_7$$

$$0 = X_1 x_1 + R_1 x_2 - x_8$$

$$x_7 = -R_{1m} x_5 + X_{1m} x_6$$

$$x_8 = -X_{1m} x_5 - R_{1m} x_6$$

$$0 = -\frac{R_2}{s_M} x_3 + X_2^s x_4 + x_7$$

$$0 = -X_2' X_3 - \frac{r_2'}{s_M} X_4 + X_8$$

$$X_5 = X_1 + X_3$$

$$X_6 = X_2 + X_4$$

Cunoscând tensiunea  $U_1$  și parametrii mașinii, pentru diverse valori atribuite alunecării  $s_M$ , corespunzător regimului de funcționare considerat, cu acest sistem de ecuații se pot determina variațiile curenților:  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_{01}$  și tensiunii electromotoare  $U_{e1}$  în intervalul de alunecare considerat.

În scopul rezolvării rapide a sistemului de ecuații pentru un număr mare de valori atribuite alunecării  $s_M$ , autorul a întocmit un program de calcul pe calculatorul electronic de tip PELIX C-256.

În figura 31 se prezintă ordinarograma de calcul.

Astfel, cu acest program, mașina poate fi studiată în toate regimurile de funcționare (motor, generator, frână) prin atribuire de valori corespunzătoare alunecării  $s_M$ .

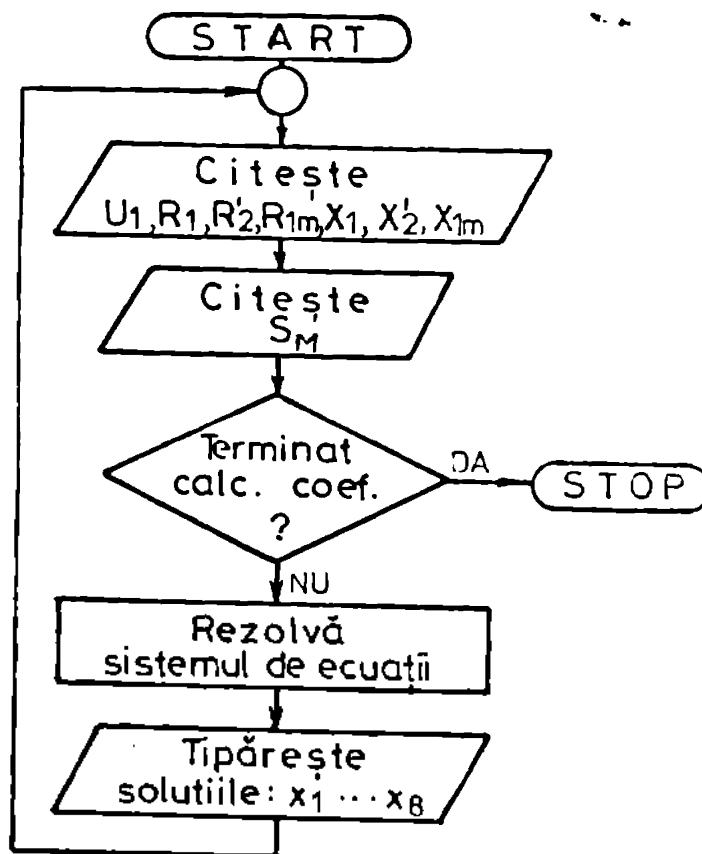


FIG.31.

În figurile 32, 33 și 34 sînt reprezentate variațiile mărimilor  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $U_{e1}$  în planul complex, în funcție de alunecarea  $s_M$  în regim de motor, precum și diagramele fasoriale corespun-

sitoare funcționării la sarcină nominală pentru motoarele asin-  
crome de putere nominală  $P_N = 10 \text{ kW}$ , (fig.32),  $160 \text{ kW}$  (fig.33),  
respectiv  $320 \text{ kW}$  (fig.34).

b) Pentru generatorul asincron CA se folosește sistemul  
de ecuații rezultat în mod analog, cu notațiile corespunzătoare  
pentru acest caz (tensiunea la borne  $\underline{U}$ , curentul debitat  $\underline{I}_2 =$   
 $x_1 + jx_2$  și alunecarea  $s_G$ ).

În acest caz rezultă sistemul de ecuații:

$$U = R_1 x_1 - X_1 x_2 - x_7$$

$$0 = X_1 x_1 + R_1 x_2 - x_8$$

$$x_7 = -R_{1m} x_5 + X_{1m} x_6$$

$$x_8 = -X_{1m} x_5 - R_{1m} x_6$$

$$0 = -\frac{R_2}{s_G} x_3 + X_2 x_4 + x_7$$

$$0 = -X_2 x_3 - \frac{R_2}{s_G} x_4 + x_8$$

$$x_5 = x_1 + x_3$$

$$x_6 = x_2 + x_4$$

c) Pentru compensatorul asincron C3 rezultă:

$$\underline{I}_3 = x_9 + jx_{10}$$

$$\underline{U}_{cH} = x_{11} + jx_{12}$$

Ecuația (4) devine:

$$U = (R_c + jX_c)(x_9 + jx_{10}) - (x_{11} + jx_{12})$$

și în final rezultă sistemul de ecuații:

$$U = R_c x_9 - X_c x_{10} - x_{11}$$

$$0 = X_c x_9 + R_c x_{10} - x_{12}$$

d) Pentru circuitul de recuperare:

Ecuația (5) devine:

$$U = (x_{13} + jx_{14})(\lambda + j\lambda)$$

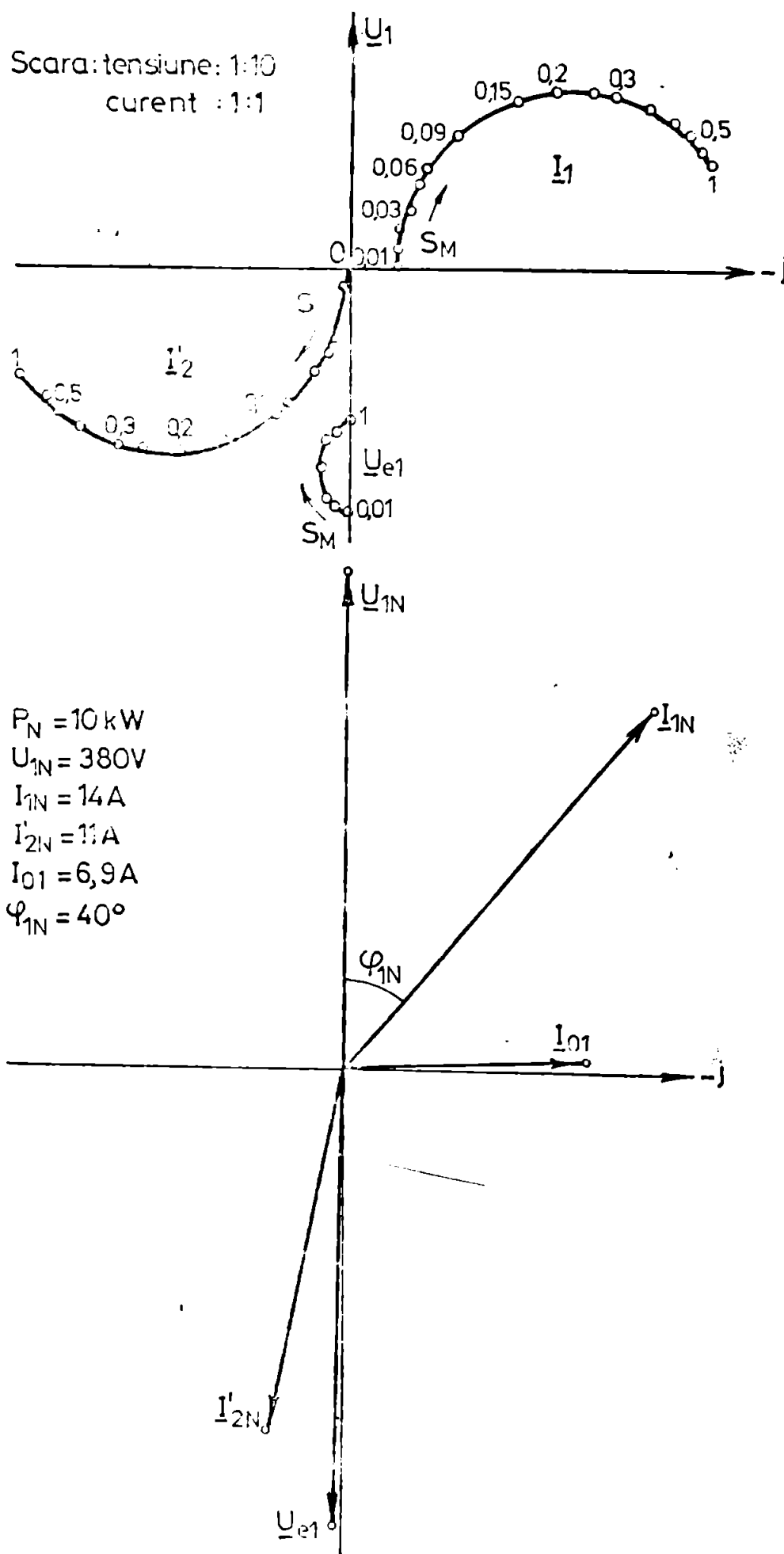


Fig. 32

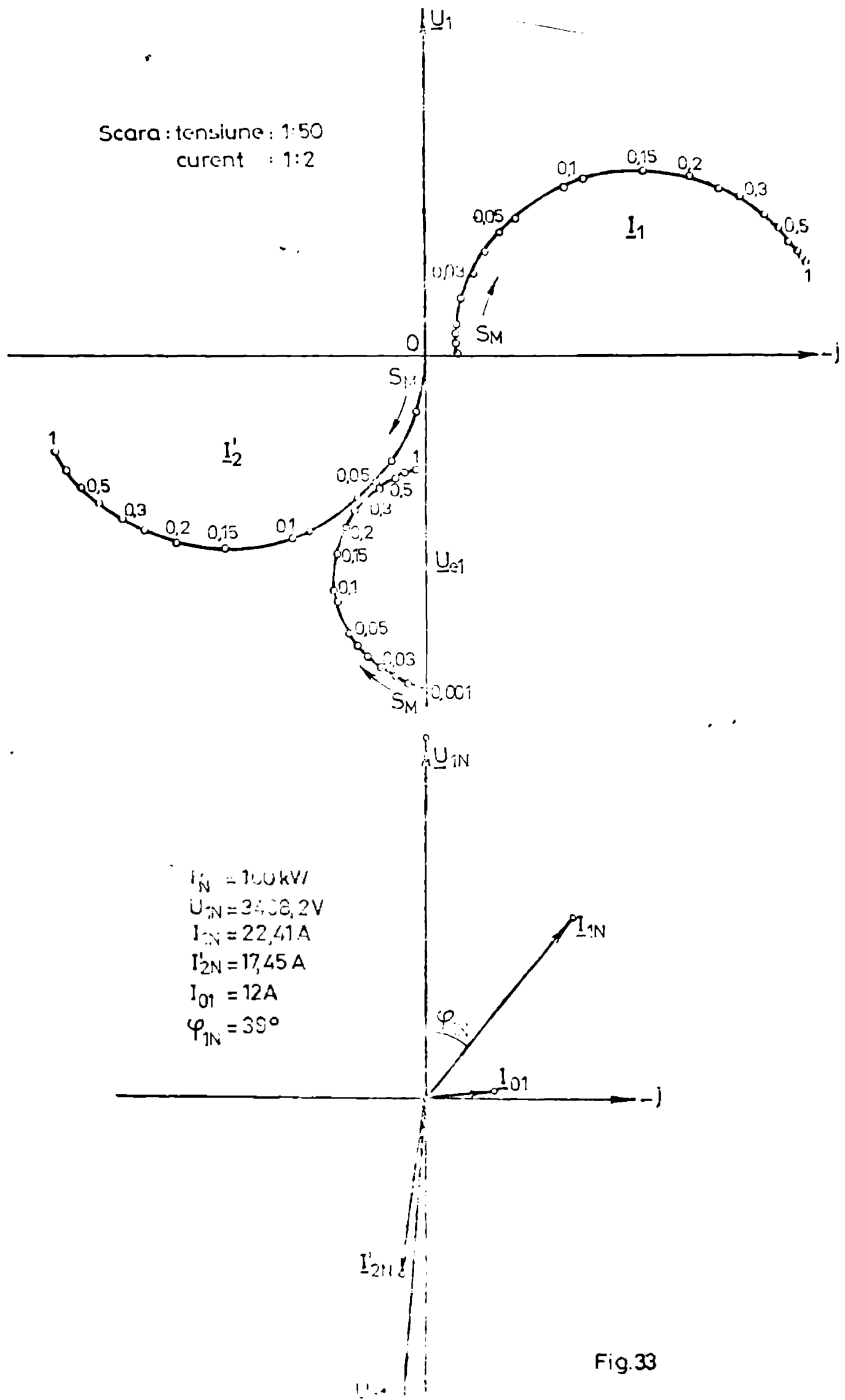
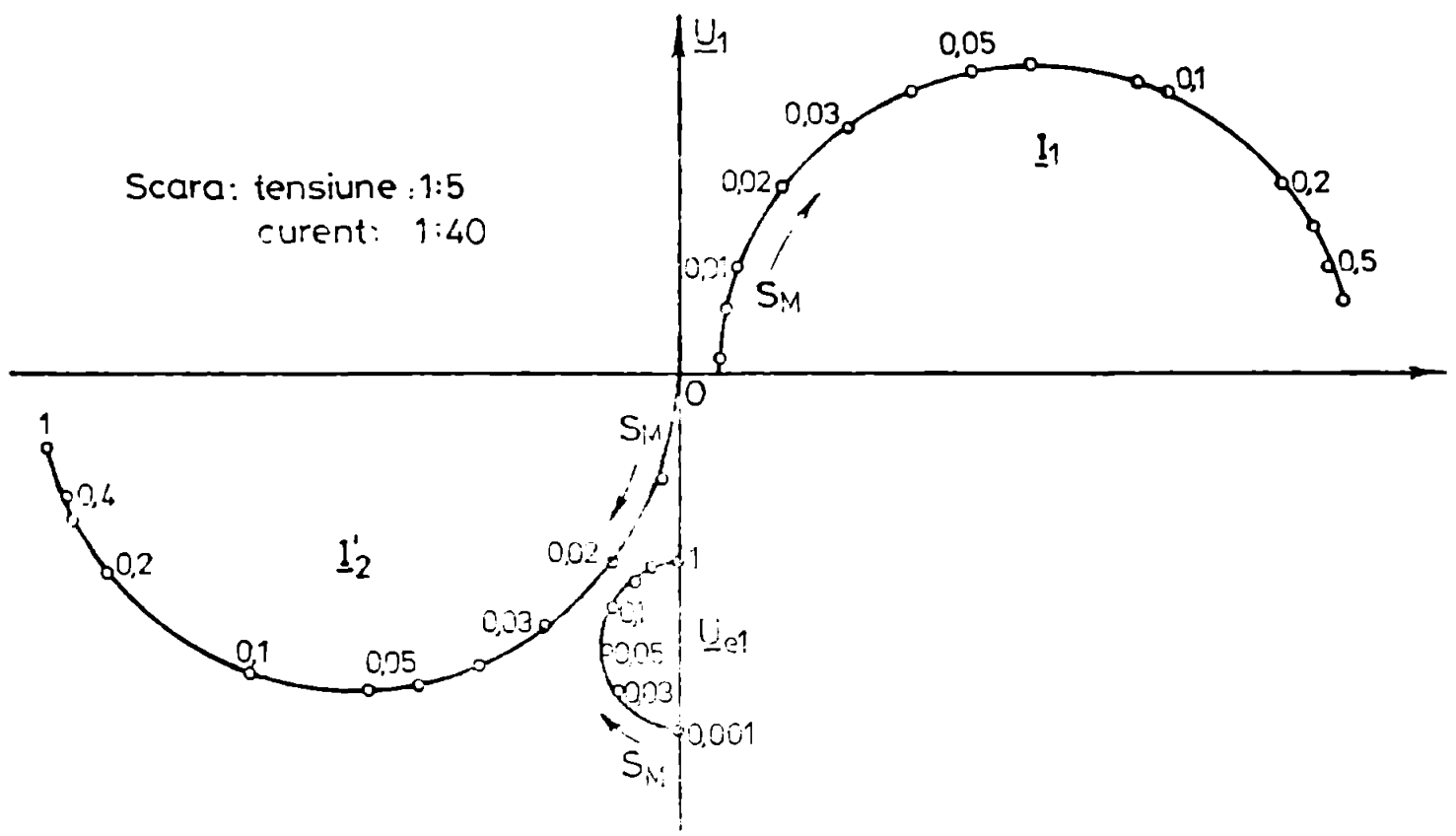


Fig.33



$P_N = 320 \text{ kW}$   
 $U_{1N} = 220 \text{ V}$   
 $I_{1N} = 579,64 \text{ A}$   
 $I'_{2N} = 514,63 \text{ A}$   
 $I_{01} = 188 \text{ A}$   
 $\varphi_{1N} = 29^\circ$

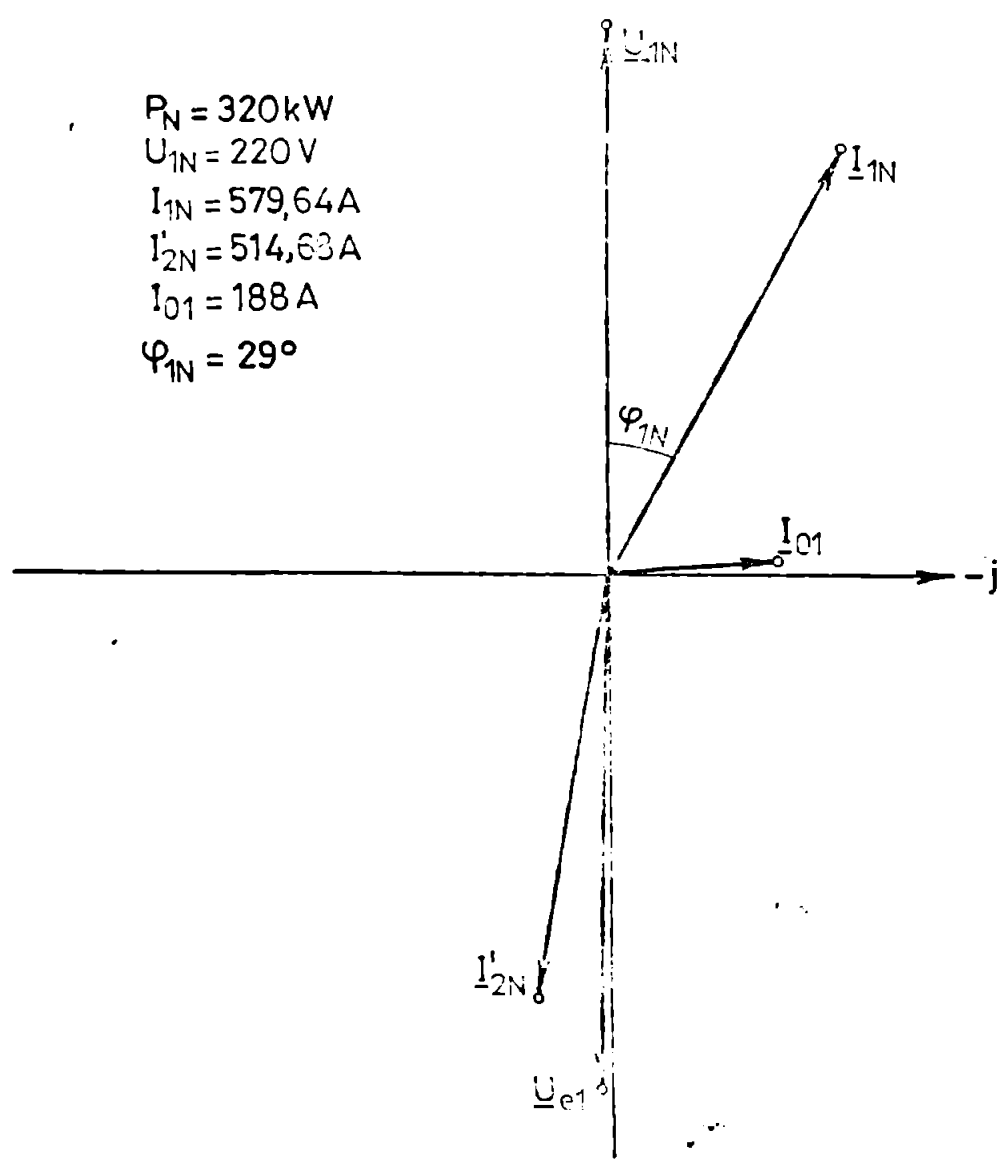


Fig. 34

și în final sistemul de ecuații:

$$\begin{aligned} U &= R \cdot x_{13} - X \cdot x_{14} \\ 0 &= R \cdot x_{14} + X \cdot x_{13} \end{aligned}$$

e) Pentru nodul N:

$$\underline{I}_2 = x_1 + jx_2 ; \underline{I}_9 = x_9 + jx_{10} ; \underline{I} = x_{13} + jx_{14}$$

Ecuația (6) devine:

$$0 = (x_1 + jx_2) + (x_9 + jx_{10}) + (x_{13} + jx_{14})$$

și în final sistemul de ecuații:

$$\begin{aligned} 0 &= x_1 + x_9 + x_{13} \\ 0 &= x_2 + x_{10} + x_{14} \end{aligned}$$

Diagrama fasorială corespunzătoare se prezintă în figura 35.

În cazul folosirii bateriei de condensatoare C în locul compensatorului sinoră C3 (pagina 50) obținem:

$$\underline{I}_0 = 0 + jx_{10}$$

și ecuația (11) devine:

$$U = X_C \cdot x_{10}$$

Pentru nodul N ecuația (12) devine:

$$0 = (x_1 + jx_2) + jx_{10} + (x_{13} + jx_{14})$$

și în final sistemul de ecuații:

$$\begin{aligned} 0 &= x_1 + x_{13} \\ 0 &= x_2 + x_{10} + x_{14} \end{aligned}$$

Diagrama fasorială corespunzătoare se prezintă în figura 36.

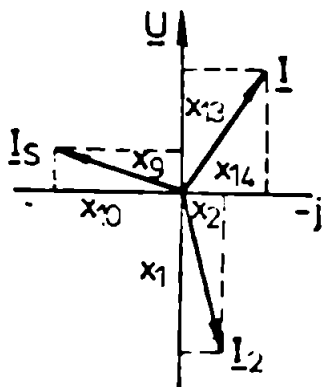


FIG. 35.

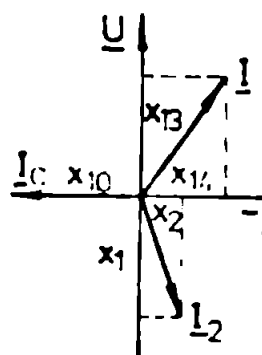


FIG. 36.

## 2.6. Studiul concret cu precizări și exemplificări

Indiferent de varianta considerată a schemei, studiul se poate face pe etape după cum urmează:

1. Se scriu ecuațiile corespunzătoare motorului asincron de încercat, care sînt aceleași indiferent de condițiile de încercare și variante schemei.

Aceste ecuații se prezintă la pagina 55, unde se indică și alte detalii, inclusiv ordinograma de calcul.

În vederea rezolvării sistemului de ecuații se consideră ca parametru variabil alunecarea  $s_M$  a motorului, cărui  $i$  se atribuie valori cuprinse în intervalul (0-1).

2. Se scriu ecuațiile corespunzătoare pentru componentele ce au legătura galvanică în nodul N, adică generatorul asincron GA, compensatorul asincron CS (sau bateria de condensatoare C) și convertorul A sau transformatorul  $T_1$  (în cazul în care se intercalează acesta între nodul N și convertorul A), precum și ecuațiile de interdependență dintre elementele din ramura de recuperare. Componentele ce au legătura galvanică comună în nodul N au ca mărimi comune: tensiunea U și frecvența  $f_2$ . În funcție de condițiile de încercare, tensiunea U poate fi menținută la o anumită valoare constantă sau să varieze în funcție de încărcarea motorului. În ambele cazuri însă, frecvența  $f_2$  scade.

În ansamblul acestor ecuații, cele corespunzătoare mașinilor GA și CS (C) rămân identice pentru orice variantă de folosire a schemei și se modifică numai ecuațiile corespunzătoare ramurei de recuperare.

În vederea rezolvării sistemului de ecuații se consideră ca parametru variabil unghiul de comandă  $\alpha$ , cărui  $i$  se atribuie valori cuprinse în intervalul ( $150^\circ$ - $90^\circ$ ).

3. În funcție de parametrii mașinilor MA și GA se deduce și se rezolvă ecuația de dependență dintre alunecările celor două mașini:  $s_G = f(s_M)$ . Modul de deducere și rezolvare se indică la pag. 71.

Pentru a cunoaște valoarea oricărei mărimi cuprinse în ecuațiile enumerate mai sus, la o anumită încălzire a motorului încercat, respectiv pentru o anumită valoare a alunecării  $s_M$ , se procedează astfel:

- se reprezintă toate mărimile ce caracterizează func-



ționarea motorului încercat în funcție de alunecarea  $s_0$ , pe întregul domeniu considerat;

- se reprezintă toate mărimile ce caracterizează elementele ce au legătură galvanică în nodul N precum și a celor din ramura de recuperare, în funcție de alunecarea  $s_0$ .

Având la dispoziție reprezentările precizate mai sus, cu mare ușurință se poate determina pe cale grafică orice valoare a mărimii ce interesează una din componentele schemei sau întreaga schemă, pentru orice încărcare a motorului încercat, respectiv pentru orice valoare a alunecării  $s_M$  astfel:

- dacă este vorba de o mărime din primul sistem de ecuații ce caracterizează motorul asincron, atunci valoarea mărimii se poate citi direct pe graficul de reprezentare a mărimilor în funcție de alunecarea  $s_M$ ;

- dacă interesează valoarea unei mărimi din al doilea sistem de ecuații, atunci în primul rând se caută în graficul  $s_0=f(s_M)$  citit este valoarea alunecării  $s_0$  corespunzătoare alunecării  $s_M$  pentru care se caută valoarea mărimii respective și apoi din graficul în care sînt reprezentate mărimile în funcție de  $s_0$  se determină direct valoarea mărimii căutate.

Pe baza celor trei grafice se poate construi un singur grafic reprezentînd toate mărimile în funcție de alunecarea  $s_M$ .

Intruseit operatorul de serviciu de la standul de încercat motoare asincrone acționessă asupra unghiului de comandă a tiristoarelor inverterului, în vederea obținerii diverselor încărcări la motorul încercat, este util a fi reprezentat și acest unghi  $\alpha$  în graficul mărimilor de mai sus.

Astfel, operatorul poate vedea ușor cit trebuie să fie valoarea unghiului  $\alpha$  pentru a realiza încărcarea dorită a motorului încercat.

Acest grafic al mărimilor poate fi determinat experimental pentru fiecare tip de motor asincron ce se încercă.

În continuare, se trece la analiza variantelor de folosire a schemei.

### 2.6.1. Variante prezentată în figura 25

1. Ecuațiile pentru motorul asincron de încercat sînt scrise la pagina 55 și sînt aceleași pentru oricare variantă de folosire a schemei. Sînt opt ecuații cu nouă necunoscute.

Printre necunoscute este și alunecarea  $s_M$  ce constituie pentru acest sistem de ecuații parametrul variabil căruia i se atribuie valori în intervalul (0-1) corespunzător regimului de motor în care se studiază mașina ce se încercă.

Modul de rezolvare precum și ordinea de calcul sînt prezentate la pagina specificată mai sus.

2. Componentele ce sînt legate galvanic în nodul N în cazul acestei scheme sînt: generatorul asincron GA, compensatorul asincron CS(C) și redresorul A.

Ecuațiile corespunzătoare în acest caz sînt:

$U = R_1 I_1 - X_1 I_2 - I_7$	}	Generatorul asincron (GA)
$0 = X_1 I_1 + R_1 I_2 - I_8$		
$U = R_{1m} I_5 - X_{1m} I_6 + I_7$		
$U = X_{1m} I_5 + R_{1m} I_6 + I_8$		
$0 = -\frac{R_2}{s_G} I_3 + X_2 I_4 + I_7$		
$0 = I_2 I_3 + \frac{R_2}{s_G} I_4 - I_8$		
$0 = I_1 + I_3 - I_5$		
$0 = I_2 + I_4 - I_6$		
$U = R_s I_9 - X_s I_{10} - I_{11}$	}	Compensatorul asincron (CS)
$0 = X_s I_9 + R_s I_{10} - I_{12}$		
$0 = I_1 + I_9 + I_{13}$	}	Legea I Kirchhoff (nodul N)
$0 = I_2 + I_{10}$		
$U = \frac{R}{1,907} I_{13} + U_1 \cos \alpha$		
		Ramura de recuperare

Pentru lămuriri suplimentare în legătură cu deducerea acestor ecuații se recomandă să se consulte [45].

Pentru rezolvarea acestui sistem de ecuații în care parametrul variabil este  $\cos \alpha$  autorul a conceput un program de calcul pentru calculatorul electronic FELIX-C 256.

După cum se poate observa, coeficienții necunoscuților din sistemul de ecuații prezentat sînt parametrii mașinilor GS și CS. De aceea cînd se trece la studiul concret, sînt necesare

aceste date pentru scrierea sistemului de ecuații.

Spre exemplificare se consideră cazul încălzirii motorului asincron de 320 kW fabricat la Întreprinderea "Electroputer" din Craiova, în care cas G3 și C3 au următorii parametri

$$R_1=0,00425 \Omega; X_1=0,033 \Omega; R_{1m}=0,102 \Omega; X_{1m}=1,106 \Omega,$$

$$R_2=0,00405 \Omega; X_2=0,038 \Omega; R_g=0,604 \Omega; X_g=0,0586 \Omega.$$

În acest caz rezultă următorul sistem de ecuații:

$$0,00425x_1 - 0,033x_2 - x_7 = U$$

$$0,033 x_1 + 0,00425x_2 - x_8 = 0$$

$$0,102x_5 - 1,106x_6 + x_7 = 0$$

$$1,106x_5 + 0,102x_6 + x_8 = 0$$

$$\frac{2,02405}{s_6} x_3 - 0,038x_4 - x_7 = 0$$

$$0,038x_3 + \frac{2,00405}{s_6} x_4 - x_8 = 0$$

$$x_1 + x_3 - x_9 = 0$$

$$x_2 + x_4 - x_6 = 0$$

$$0,0586x_9 - 0,604x_{10} - x_{11} = 0$$

$$0,604x_9 + 0,0586x_{10} - x_{12} = 0$$

$$x_1 + x_9 + x_{11} = 0$$

$$x_2 + x_{10} = 0$$

$$\frac{R}{1,907} x_{11} + U_1 \cos \alpha = U$$

Pentru rezolvarea sistemului este necesar să se atribuie valorile pentru mărimile  $x_9, R, U, U_1$  precum și gama de valori pentru parametrul variabil  $\cos \alpha$ . Precizia că mărimile  $R$  și  $U_1$  în cazul acestei variante de folosire a schemei rămân constante în decursul încălzirii motorului asincron, iar  $U$  poate fi menținută la o anumită valoare sau să varieze cu încălzirea motorului încercat. În ultimul caz se cunoaște legea după care se calculează valoarea tensiunii  $U$  în funcție de încălzirea motorului încercat ( $a_x$ ).

Gama de valori ce se atribuie parametrului variabil  $\cos \alpha$  este cea corespunzătoare unghiului  $\alpha$  în intervalul ( $150^\circ - 90^\circ$ ).

Breviarul de calcul și calculatorului în acest caz este ur-

mătorul:

$$x_{13} = \frac{1.927}{N} (U - U_1 \cos \alpha) ; \quad x_1 = -x_9 - x_{13}$$

$$B = 4,297583.U - 4,81015.x_1$$

$$C = 3,73476.U - 0,0244.x_1$$

$$D = 0,0012977.U - 0,0160665.x_1$$

$$e_0 = \frac{-C + \sqrt{C^2 - 4BD}}{2B}$$

$$x_3 = \frac{68,61.x_1 - 6,9124.U}{\frac{0,00405}{S_6} - 66,50149}$$

$$x_4 = 979,519.x_1 + 949,446.x_3 - 79,116.U$$

$$x_2 = \frac{0,10625.x_1 + 0,102.x_3 - 1,108.x_4 - U}{1,141}$$

$$x_5 = x_1 + x_3 ; \quad x_6 = x_2 + x_4$$

$$x_7 = 0,00425.x_1 - 0,033.x_2 - U$$

$$x_8 = 0,033.x_1 + 0,00425.x_2 ; \quad x_{10} = -x_2$$

$$x_{11} = 0,0586.x_9 - U - 0,604.x_{10}$$

$$x_{12} = 0,604.x_9 + 0,0586.x_{10}$$

$$I_2 = \sqrt{x_1^2 + x_2^2} ; \quad I_3 = \sqrt{x_3^2 + x_4^2} ; \quad I_{01} = \sqrt{x_5^2 + x_6^2} ;$$

$$U_{01} = \sqrt{x_7^2 + x_8^2} ; \quad I_8 = \sqrt{x_9^2 + x_{10}^2} ; \quad U_{02} = \sqrt{x_{11}^2 + x_{12}^2}$$

Ordinograma de calcul corespunzătoare este prezentată în figure 37.

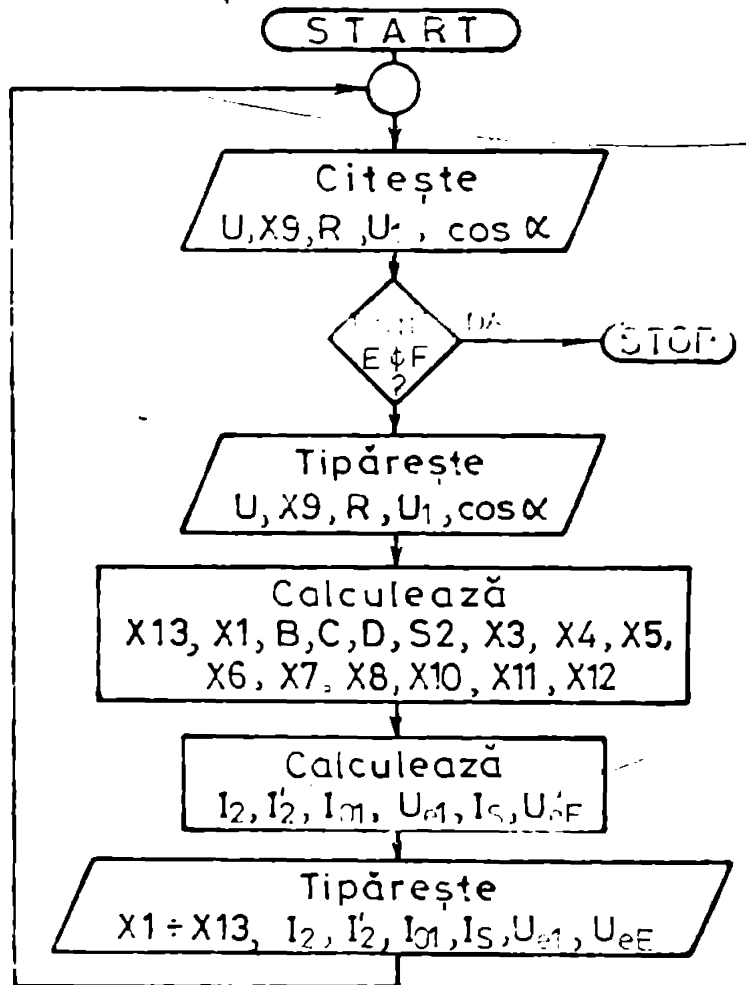


FIG.37.

**2.6.2. Varianta prezentată în figura 26**

1. Ecuațiile corespunzătoare motorului asincron MA de încercat sînt scrise la pagina 55, unde se prezintă și modul de rezolvare împreună cu ordinea de calcul.

2. Sistemul de ecuații corespunzător nodului N în acest caz se deosebește de cel prezentat la schema din figura 25 prin ultima ecuație, cea corespunzătoare ramurei de recuperare, care de date aceasta va avea expresia:

$$U = \frac{3^0}{1,907} X_{13} + U_B \cdot \cos \alpha$$

Modul de rezolvare al sistemului de ecuații astfel obținut este identic cu cel prezentat în cazul schemei din figura 25, avîndu-se grijă a se indica în cadrul programului de rezolvare valoarea corespunzătoare pentru noua rezistență R' a circuitului intermediar de curent continuu al motorului, respectiv pentru tensiunea  $U_B > U_1$ .

Rezistența  $R' > R$  va fi determinată experimental corespunzător valorii tensiunii  $U_B$  din secundarul transformatorului T2.

**2.6.3. Variante prezentată în figura 27**

1. Ecuațiile corespunzătoare motorului asincron, în acest caz, rămân neschimbate.

2. Sistemul de ecuații corespunzător nodului N în acest caz suferă o modificare în sensul că ultima ecuație obține forma:

$$U = \frac{R+R_1}{1,507} x_{13} + U_1 \cdot \cos \alpha$$

Deosebirea constă în faptul că la rezistența R a circuitului intermediar se adaugă valoarea rezistenței reactanței  $R_1$ .

Pentru rezolvarea sistemului de ecuații se recurge la același program de calcul, avându-se grijă să se indice valoarea corespunzătoare pentru rezistența totală din circuitul intermediar al motorului.

**2.6.4. Variante prezentată în figura 28**

1. Ecuațiile corespunzătoare motorului asincron, în acest caz rămân neschimbate.

2. Ecuațiile corespunzătoare generatorului asincron SA și compensatorului sincron CS(C) rămân, de asemenea, neschimbate. La acestea se adaugă ecuațiile corespunzătoare în urma aplicării legii I a lui Kirchhoff în nodul N, precum și ecuația din ramura de recuperare.

Sistemul de ecuații fazoriale corespunzător transformatorului  $T_1$  este scris la pagina 53.

În vederea facilitării rezolvării sistemului respectiv de ecuații se face convertirea ecuațiilor fazoriale în ecuații algebrice liniare, scriind mirimile în funcție de componentele reală și imaginare din planul complex.

Astfel dacă se notează:

$$\begin{aligned} I &= x_{13} + jx_{14} & I_A &= x_{19} + jx_{20} \\ U_{01} &= x_{15} + jx_{16} & U_A &= x_{21} + jx_{22} \\ I_{01} &= x_{17} + jx_{18} \end{aligned}$$

și se face înlocuirea în sistemul de ecuații fazoriale ale transformatorului  $T_1$ , se obține:

$$U = (R + jX)(x_{13} + jx_{14}) - (x_{15} + jx_{16})$$

$$jx_{16} = -(R_{1m} + jX_{1m})(x_{17} + jx_{18})$$

$$x_{22} = -(R_A + jX_A)(x_{19} + jx_{20}) + \frac{1}{K_1} (x_{15} + jx_{16})$$

$$x_{18} = (x_{13} + jx_{14}) + \frac{1}{K_1} (x_{19} + jx_{20})$$

În final rezultă sistemul de ecuații:

$$U = R \cdot x_{13} - X \cdot x_{14} - x_{15}$$

$$0 = X \cdot x_{13} + R \cdot x_{14} - x_{16}$$

$$x_{15} = -R_{1m} x_{17} + X_{1m} x_{18}$$

$$x_{16} = -X_{1m} x_{17} - R_{1m} x_{18}$$

$$x_{21} = -R_A \cdot x_{19} + X_A \cdot x_{20} + \frac{x_{15}}{K_1}$$

$$x_{22} = -X_A \cdot x_{19} - R_A \cdot x_{20} + \frac{x_{16}}{K_1}$$

$$x_{17} = x_{13} + \frac{x_{19}}{K_1}$$

$$x_{18} = x_{14} + \frac{x_{22}}{K_1}$$

$$U_A = \sqrt{x_{21}^2 + x_{22}^2}$$

$$I_A = \sqrt{x_{19}^2 + x_{20}^2}$$

$$0 = x_1 + x_9 + x_{13}$$

$$0 = x_2 + x_{10} + x_{14}$$

$$U_A = \frac{R^*}{1,007} I_A + U_1 \cos \alpha$$

Transformatorul  $T_1$

Legea I (Kirchhoff)  
(nodul N)

Relație de recuperare

unde  $R^*$  este noua valoare a rezistenței circuitului intermediar al transformatorului.

În final, sistemul de ecuații corespunzător nodului N în configurația prezentată în figura 28 constă din cele 13 ecuații scrie-  
se mai sus la care se adaugă cele corespunzătoare mașinilor TA și TM,

in număr de 10 de la pagina 64 .

Modul de rezolvare al acestui sistem de 23 ecuații este asemănător cu cel prezentat în cazul variantei din figura 25.

Ordinograma logică de calcul corespunzătoare se prezintă în figura 38.

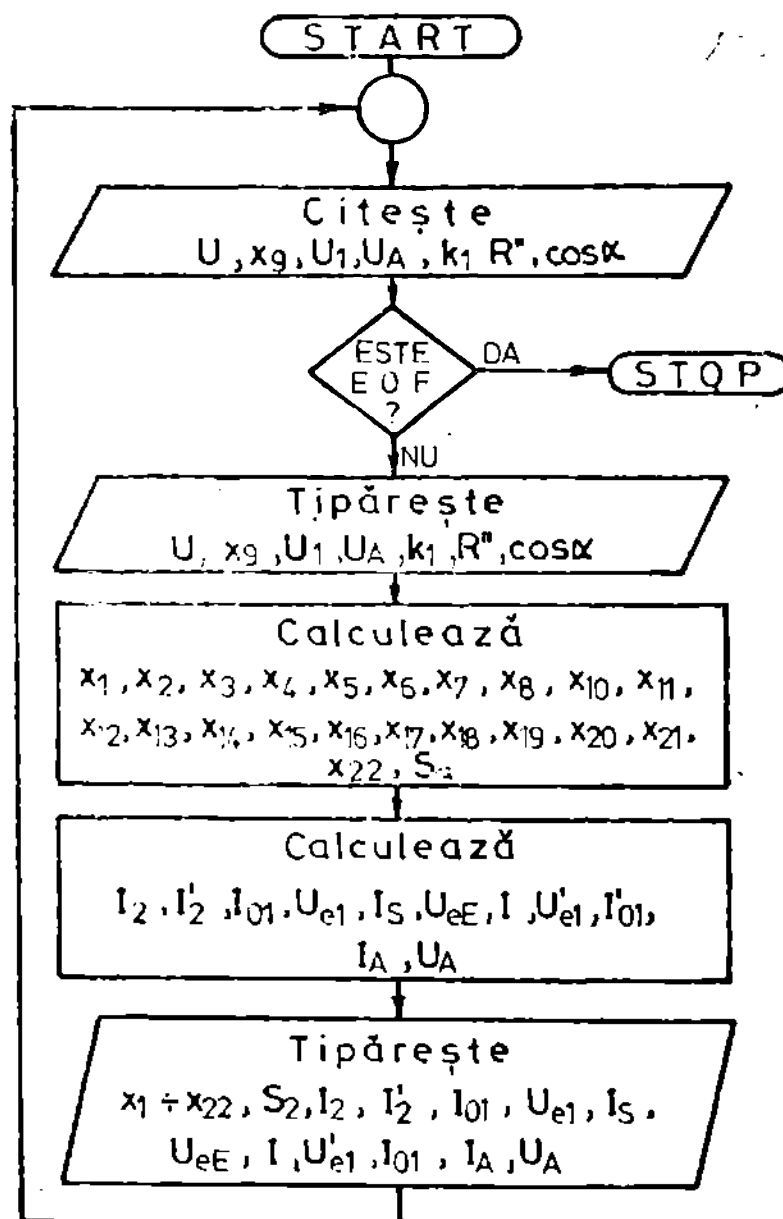


FIG. 38.

**2.6.5. Varianta prezentată în figura 29**

1. Ecuațiile corespunzătoare motorului asincron de încercat rămân neschimbate.

2. Sistemul de ecuații corespunzător modului N și ramurei de recuperare, în acest caz, se modifică față de varianta din figura 28 în sensul că ultima ecuație va avea expresia:



$$U_A = \frac{R'' + R}{1,907} I_A + U_B \cdot \cos \alpha$$

unde  $R''$  este noua valoare a rezistenței circuitului intermediar, măsurată în această variantă a schemei,

### 2.7. Dependența dintre alupecțiile mașinilor MA și GA [47]

Porțiunea din schemă de încercare recuperativă propusă de autor (fig.22) ce cuprinde cele două mașini MA și GA se prezintă separat în figura 39. Se precizează că mașinile sînt de construcție identică.

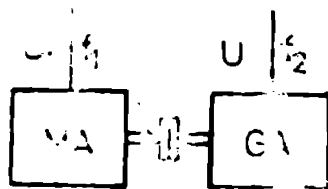


FIG.39.

#### 2.7.1. Reducerea ecuației de dependență

Se precizează că, în afară de parametrii mașinilor (rezistențe, reactanțe, inductivități), toate mărimile notate cu indicele 1 și 2 se vor referi la motorul asincron MA, iar cele notate cu indicele G și 2 la generatorul asincron GA.

Cuplul electromagnetic dezvoltat de MA se calculează cu expresia [29] :

$$M_1 = \frac{mpU_1^2}{\omega_1} \cdot \frac{\frac{R_2}{s_M}}{(R_1 + \frac{R_2}{s_M})^2 + (X_1 + X_2)^2} \quad (13)$$

În mod analog pentru GA :

$$M_2 = \frac{mpU^2}{\omega_2} \cdot \frac{\frac{R_2}{s_G}}{(R_1 + \frac{R_2}{s_G})^2 + (X_1 + X_2)^2} \quad (14)$$

Relația dintre cupluri este următoarea:

$$M_1 = M_2 + 2M_0 \quad (15)$$

in care  $M_0$  este cuplul corespunzător pierderilor dintr-o mașină.

Turația la arborele motorului asincron:

$$n_M = n_1(1-s_M)$$

in care:  $n_1$  este turația sincronă a motorului ;

$s_M$  - alunecarea motorului

Turația la arborele generatorului asincron:

$$n_G = n_2(1+s_G)$$

in care:  $n_2$  este turația sincronă a generatorului;

$s_G$  - alunecarea generatorului.

Intrucât mașinile sînt cuplate rigid, rezultă:  $n_M = n_G$   
și de urmare rezultă:

$$n_2 = n_1 \frac{1-s_M}{1+s_G}$$

Analog se pot scrie relațiile dintre pulsațiile tensiunilor și frecvențe:

$$\omega_2 = \omega_1 \cdot \frac{1-s_M}{1+s_G} \quad ; \quad f_2 = f_1 \frac{1-s_M}{1+s_G}$$

Expresiile reactanțelor motorului MA:

$$X_1 = \omega_1 L_1 \quad ; \quad X_2' = \omega_1 L_2'$$

Analog pentru generatorul GA:

$$X_1 = \omega_2 L_1 \quad ; \quad X_2'' = \omega_2 L_2''$$

Calculul expresiei  $(X_1 + X_2')^2$  pentru cele două mașini:  
Pentru motorul asincron:

$$(X_1 + X_2')_M^2 = (\omega_1 L_1 + \omega_1 L_2')^2 = \omega_1^2 (L_1 + L_2')^2 \quad (16)$$

Pentru generatorul asincron:

$$(X_1 + X_2'')_G^2 = \omega_2^2 (L_1 + L_2'')^2 = \omega_1^2 \left( \frac{1-s_M}{1+s_G} \right)^2 (L_1 + L_2'')^2 \quad (17)$$

Ținînd seama de expresia (16), relația (17) devine:

$$(X_1 + X_2'')_G^2 = (X_1 + X_2')_M^2 \left( \frac{1-s_M}{1+s_G} \right)^2$$

În acest caz expresia (14) devine:

$$M_2 = \frac{\frac{\mu U^2}{\omega_1} \frac{1-s_M}{1+s_G}}{\left(R_1 + \frac{R_2}{s_G}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2} \frac{\frac{R_2}{s_G}}{\left(\frac{1-s_M}{1+s_G}\right)^2} \quad (18)$$

din expresia (15) rezultă:

$$M_2 = M_1 - 2M_0 \quad (19)$$

Ținând seama de expresia (18) relația (19) devine:

$$\frac{\frac{\mu U^2}{\omega_1} \frac{1-s_M}{1+s_G}}{\left(R_1 + \frac{R_2}{s_G}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2} \frac{\frac{R_2}{s_G}}{\left(\frac{1-s_M}{1+s_G}\right)^2} = M_1 - 2M_0$$

efectuând calculele și adoptând următoarele notații:

$$A = \frac{\mu U^2}{\omega_1} U^2 \quad ; \quad B = AR_2^2$$

$$C = (1-s_M)(M_1 - 2M_0) \quad ; \quad D = (1-s_M)^2 (X_1 + X_2)^2$$

rezultă:

$$\begin{aligned} & s_G^4 (B - CR_1^2) + s_G^3 [3B - 2CR_1(R_1 + R_2^2)] + s_G^2 [3B - C(R_1^2 + 4R_1R_2^2 + R_2^2 + D)] \\ & + s_G [B - 2CR_2^2 (R_1 + R_2^2)] - CR_2^2 = 0 \end{aligned}$$

Notând:

$$T_4 = B - CR_1^2$$

$$T_3 = 3B - 2CR_1 (R_1 + R_2^2)$$

$$T_2 = 3B - C(R_1^2 + 4R_1R_2^2 + R_2^2 + D)$$

$$T_1 = B - 2CR_2^2 (R_1 + R_2^2)$$

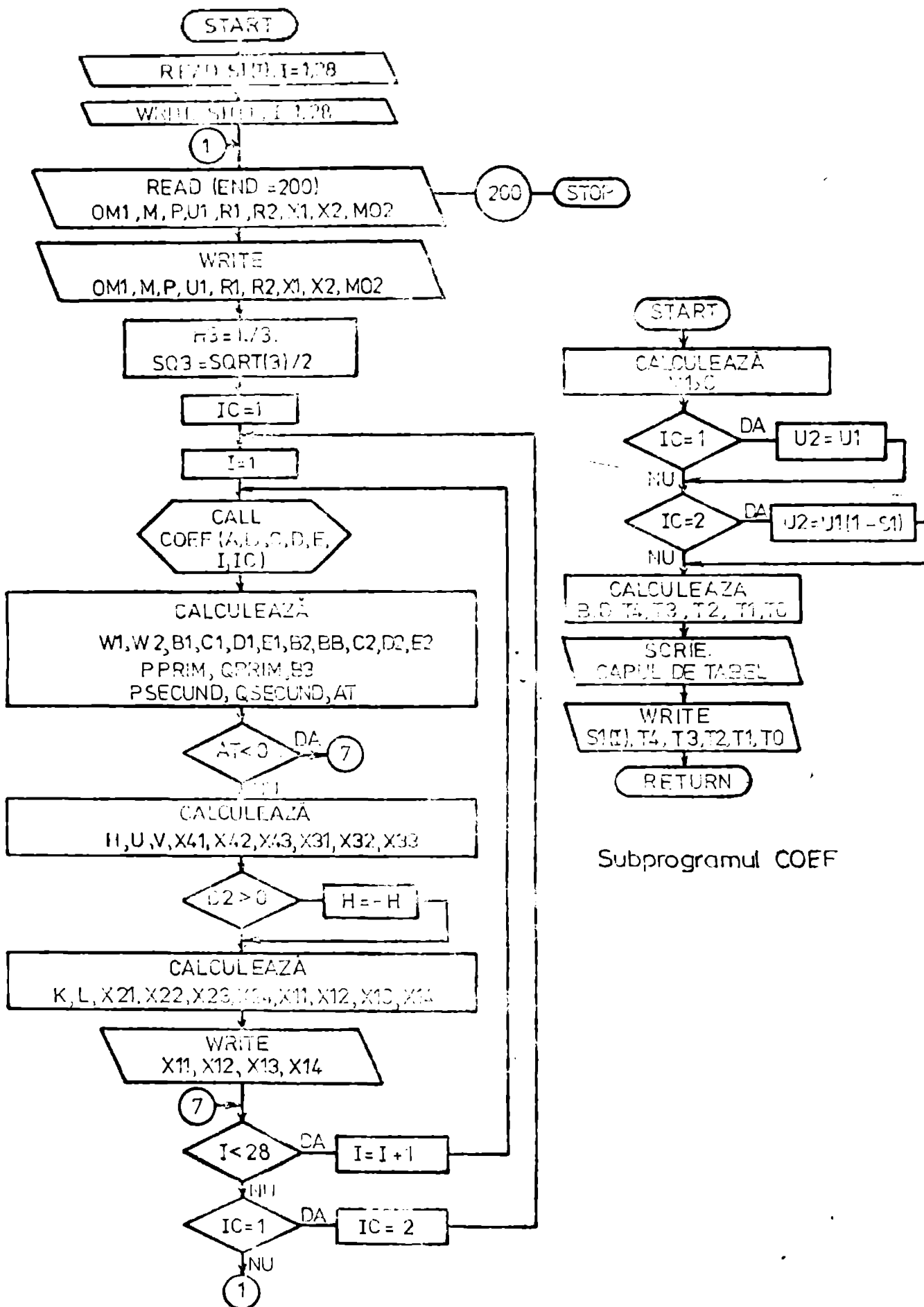
$$T_0 = -CR_2^2$$

se obține:

$$T_4 s_G^4 + T_3 s_G^3 + T_2 s_G^2 + T_1 s_G + T_0 = 0 \quad (20)$$

ecuație ce are drept necunoscută alinocarea  $s_G$ .

Pentru deducerea acestei ecuații sînt necesare: parametre-



Programul principal

Fig. 40

trii mașinilor, valorile pentru tensiunile  $U_1$  și  $U$ , precum și gama de valori pentru alunecarea  $s_M$  cuprinsă în intervalul corespunzător regimului de motor (0-1).

Se precizează că pentru fiecare valoare atribuită alunecării  $s_M$  se rezolvă ecuația (20) obținându-se valoarea corespunzătoare pentru alunecarea  $s_G$ .

Pentru a rezulta o variație cât mai exactă este necesar a se atribui cât mai multe valori pentru alunecarea  $s_M$ , de unde rezultă un volum mare de calcul.

### 2.7.2. Rezolvarea ecuației de dependență

În vederea rezolvării rapide a ecuației de dependență, autorul a conceput un program de rezolvare pe calculatorul FELIX C-256.

Schemă logică corespunzătoare este prezentată în figura 40.

Așa cum rezultă din această schemă, în afară de notațiile prezentate mai sus, mai apar unele notații ce se referă strict la metoda de rezolvare a unei ecuații de gradul IV.

Cele patru soluții ale ecuației s-au notat cu  $X_{11}$ ,  $X_{12}$ ,  $X_{13}$ , și  $X_{14}$ , dintre care prima reprezintă soluția compatibilă din punct de vedere tehnic pentru alunecarea  $s_G$ .

3pre exemplificare, autorul a studiat dependența alunecărilor în cazul a șapte grupuri de mașini asincrone cuprinse în gama de putere: 3-1000 kW.

În figurile 41-47 sînt prezentate variațiile alunecărilor respective.

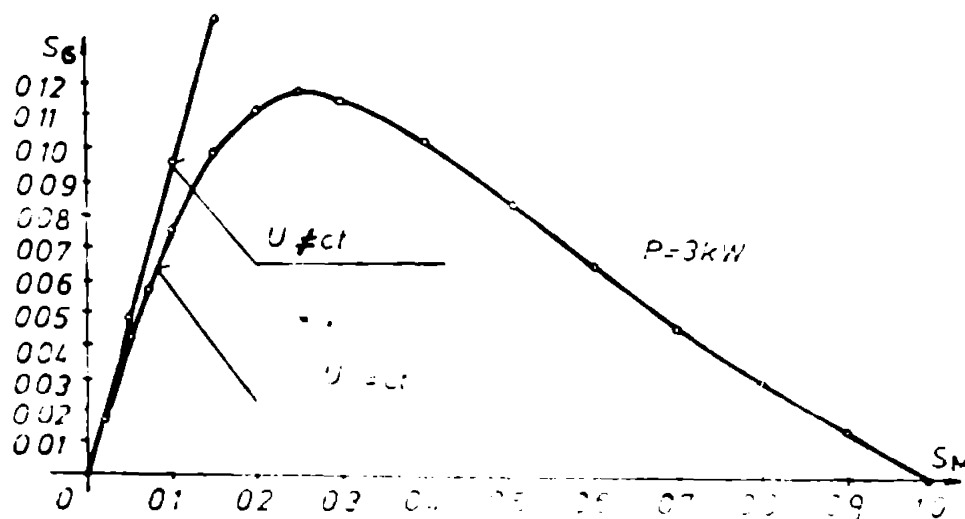


FIG. 41.

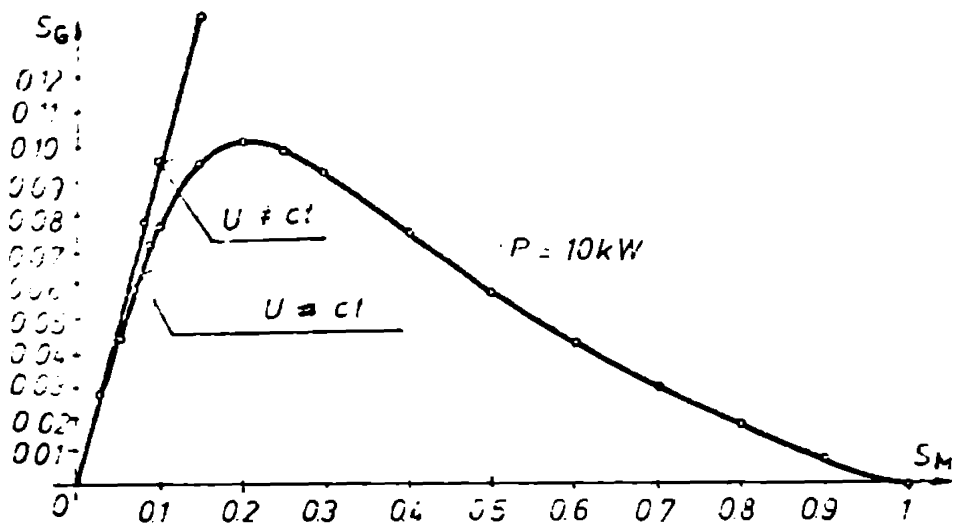


FIG.42.

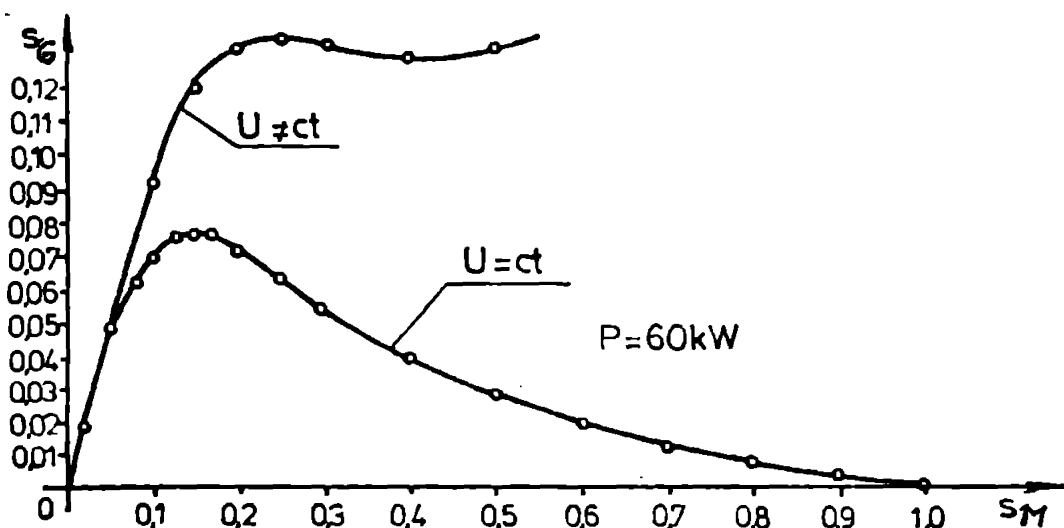


FIG.43.

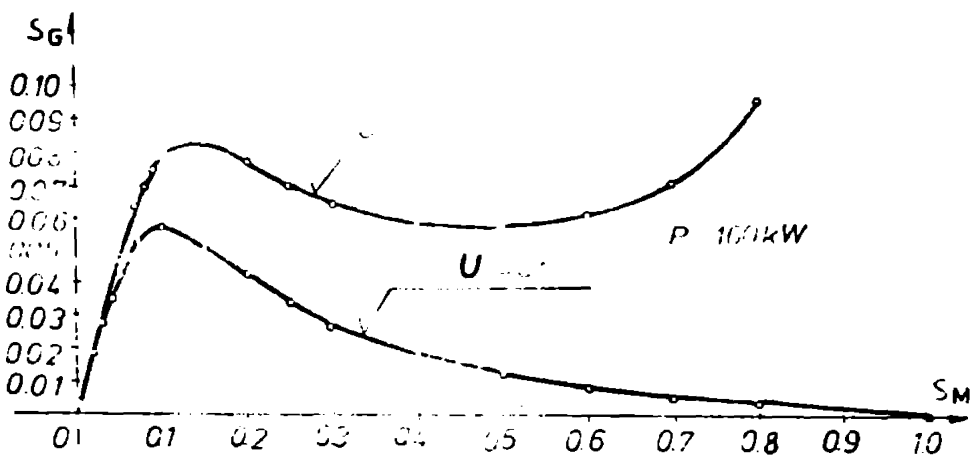


FIG.44.

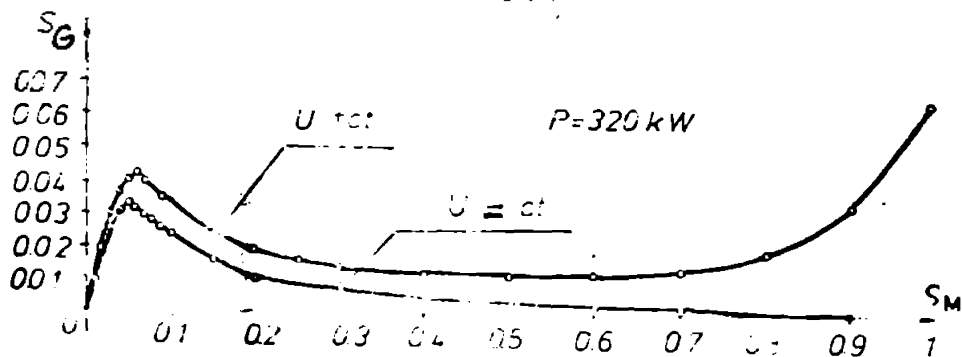


FIG.45.

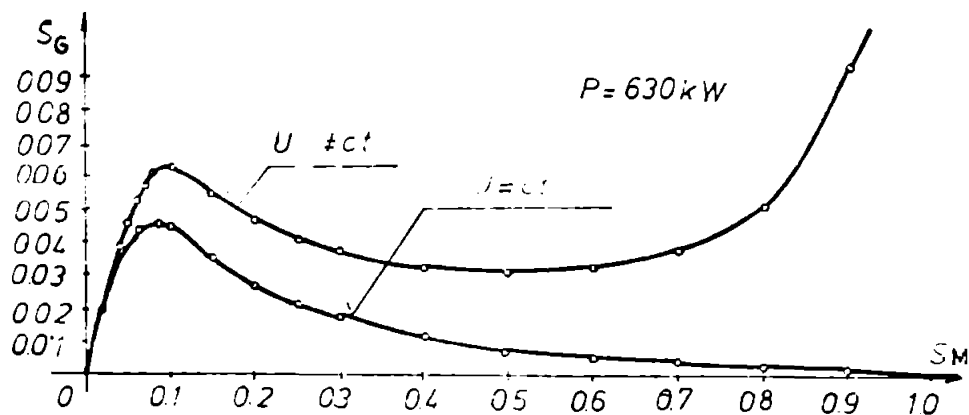


FIG.46.

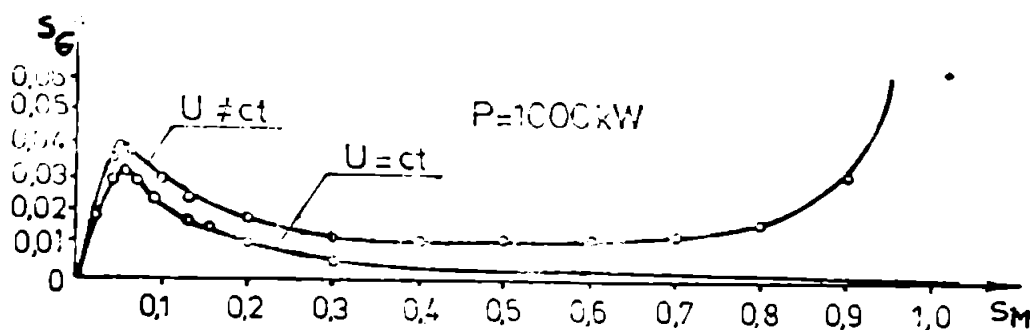


FIG.47.

### 2.8. Dimensionarea instalației

Pentru încercarea unui motor asincron de o anumită putere este necesară alegerea corespunzătoare a elementelor ce compun schema.

a) Generatorul asincron GA este de obicei identic cu motorul de încercat MA și se ia din lotul de mașini asincronice urmese să fi încercate. În caz contrar, condiția ce se impune este ca:

$$P_{GA} \geq P_{MA}$$

$$R_{GA} = R_{MA}$$

b) Compensatorul sincron CS trebuie să asigure puterea reactivă necesară cimpului magnetic învîrtitor al generatorului GA:

$$Q_{GA} = \sqrt{3} k U I_2 \sin \varphi_2$$

unde  $k$  este un coeficient [107] ce ține seama de variația frecvenței  $f_2$ , iar  $\varphi_2$  este unghiul de defazaj dintre tensiunea  $U$  și curentul  $I_2$ .

În legătură cu tensiunea de alimentare se impune condiția:

$$U_{GA} = U_{CS} = U$$

Cu privire la turația compensatorului nu se impun condiții. Acesta se rotește cu turația corespunzătoare frecvenței  $f_2$  impuse de generatorul asincron GA și numărului perechilor săi de

poli  $P_{CS}$  :

$$n_{CS} = \frac{60 \cdot f_2}{P_{CS}}$$

Acoperirea pierderilor snie mecanice și electrice se asigură de la generatorul GA și pot fi calculate cu expresia:

$$P_{CS} = \sqrt{3} UI_S \cos \varphi_S$$

unde  $\varphi_S$  este unghiul de defasaj dintre mărimile  $U$  și  $I_S$ .

In cazul folosirii bateriei de condensatoare C puterea reactivă necesară se poate calcula cu expresia:

$$Q_C = 3 \omega_2 C_{\Delta} U^2$$

in cazul legării condensatoarelor in triunghi, respectiv

$$Q_C = \omega_2 C_{\Delta} U^2$$

in cazul legării condensatoarelor in stea.

Capacitatea necesară asigurării puterii reactive  $Q_C$  rezultă după cum urmează:

$$C_{\Delta} = \frac{Q_C}{3 \omega_2 U^2} = \frac{Q_C}{6 \pi f_2 U^2}$$

respectiv:

$$C_{\Delta} = \frac{Q_C}{\omega_2 U^2} = \frac{Q_C}{2 \pi U^2 f_2}$$

Resultă că in cazul conexiunii in triunghi a condensatoarelor, valoarea capacității necesare este de trei ori mai mică decit in cazul conexiunii in stea pentru asigurarea aceleși puteri reactive.

c) Redresorul trifazat A.

Curentul maxim din circuitul intermediar de curent continuu al motorului este:

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{3}{2}} I_{\max} = \sqrt{\frac{3}{2}} 322,74 = 395,27 \text{ A}$$

Valoarea maximă a curentului intr-o diodă va fi:

$$I_{\max D} = \frac{I_{\max}}{3} = \frac{395,27}{3} = 131,42 \text{ A}$$

La alegerea diodei se consideră valoarea maximă a curentului:

$$I_{D\max} = k_1 \cdot I_{\max D} = 2 \cdot 131,42 = 262,84 \text{ A}$$

unde  $k_1$  este coeficient de siguranță [97].



Valoarea maximă a tensiunii continue este :

$$U_{Amx} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_{fmax} = 2,34 \cdot 220 = 445,8 \text{ V}$$

unde  $U_{fmax}$  este tensiunea de fază maximă la intrarea în redresor.

Valoarea maximă a tensiunii inverse pentru care se aleg diodele:

$$U_{imax} = k_u \sqrt{2} U_{lmax} = 2,4 \sqrt{2} \cdot 350 = 1266 \text{ V}$$

unde  $U_{lmax}$  este tensiunea de linie maximă la intrarea în redresor, iar  $k_u$  este coeficient de siguranță [97].

Pe baza mărimilor  $i_{Tmax}$  și  $U_{imax}$  se aleg diodele din catalog.

d) Transformatorul de adaptare  $T_2$ .

Tensiunea de linie în secundarul transformatorului va fi:

$$U_R = \sqrt{3} \cdot 251,6 = 435,25 \text{ V}$$

Valoarea curentului în secundarul transformatorului va fi:

$$I_R = 322,74 \text{ A}$$

Cu aceste date, puterea aparentă a transformatorului va fi:

$$S = \sqrt{3} U_R I_R = \sqrt{3} \cdot 435,25 \cdot 322,74 = 243 \text{ kVA}$$

Valoarea curentului în primar rezultă:

$$I_T = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{243 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 369,56 \text{ A}$$

e) Invertorul B

Valoarea maximă a tensiunii inverse pentru care se aleg tiristoarele:

$$U_{imax} = k_u \sqrt{2} U_{Bmax} \frac{1}{|\cos 150^\circ|} = 2,4 \sqrt{2} \frac{380}{2,866} = 1485 \text{ V}$$

Valoarea maximă a curentului ce trece printr-un tiristor:

$$I_{Tmax} = \frac{i_{max}}{\gamma} = \frac{395,27}{3} = 131,42 \text{ A}$$

f) Transformatorul de adaptare  $T_1$  se utilizează în vederea măririi capacității de încărcare a schemei așa cum s-a precizat anterior când s-au făcut precizări cu privire la folosirea schemei.

Acosta va avea în primar tensiunea din nodul N ( $U_{fmax} =$

-220V), iar în secundar tensiunea  $U_A$  necesară în vederea acoperirii capacității de încărcare solicitate . Bineînțeles că în această situație va trebui dimensionat corespunzător mutatorul și transformatorul de adaptare  $T_2$ .

### Capitolul 3

MUTĂTORUL SI BLOCUL DE COMANDA AL INSTALAȚIEI DE  
INCĂLZIRE A MOTORILOR ASINCRONI PROPUSE DE AUTOR

#### 3.1. Mutătorul

Mutătorul constituie una din componentele de bază ale instalației și anume acea parte prin intermediul căreia se realizează recuperarea de energie.

Tipul de mutător conceput este cel mai potrivit pentru o astfel de instalație sub aspectul costului și eficienței.

După cum rezultă din figura 48 mutătorul realizat este compus din două convertoare A și B și un circuit intermediar de curent continuu în care se află bobina de netezire L, în scopul opri-

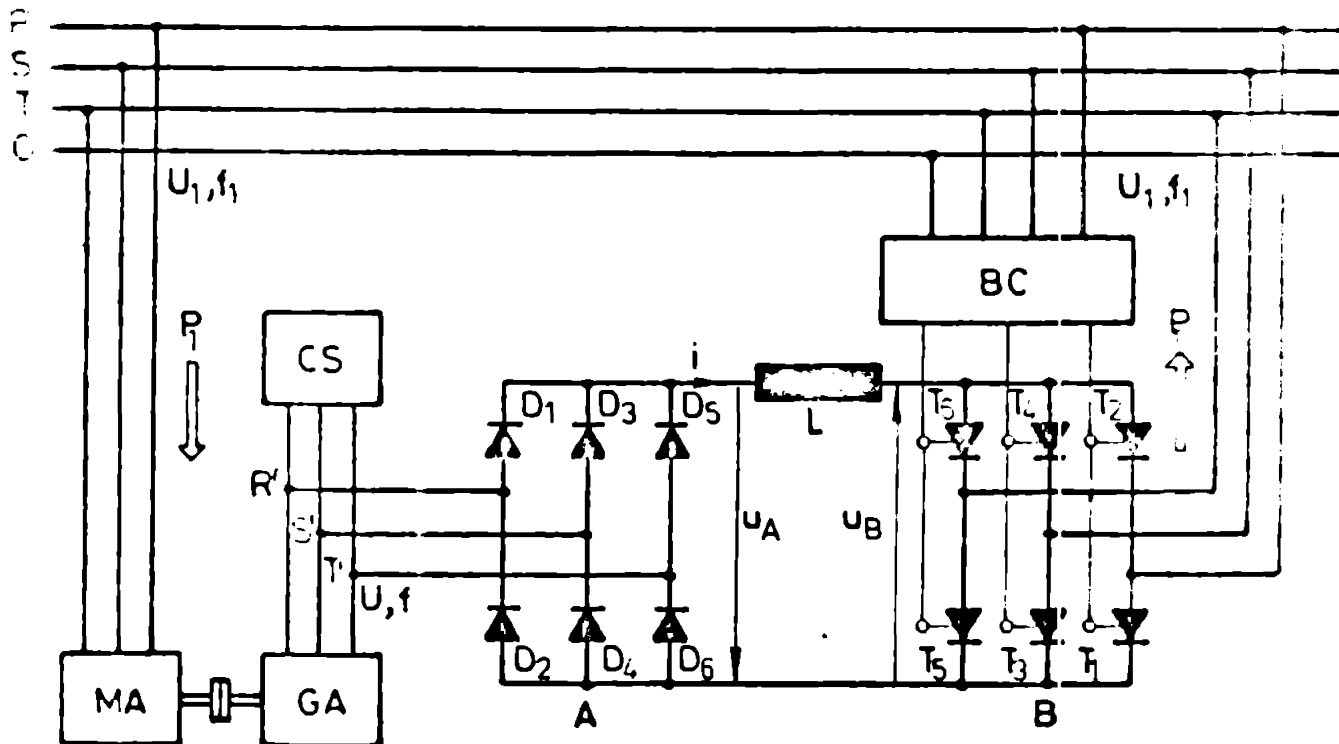


FIG.48.

șării curentului mediu din circuitul intermediar. Convertorul A este format din șase diode ( $D_1 \dots D_6$ ) legate în punte și funcționează în regim de redresor fără comandă (conducție naturală). Convertorul B este format din șase tiristoare ( $T_1 \dots T_6$ ) legate în

punte și funcționează în regim de inverter comandat prin intermediul blocului de comandă BC. Convertorul B poate funcționa și în regim de redresor comandat.

În scopul deducerii expresiei tensiunii autoturului care provoacă curentul din circuitul intermediar se procedează, în prima etapă, la deducerea expresiilor tensiunilor celor două convertoare A și B. Pentru început se consideră că  $U = U_1$  - tensiunea rețelei, respectiv frecvența  $f = f_1$  - frecvența rețelei și deci pulsația  $\omega = \omega_1$ .

### 3.1.1. Deducerea expresiei tensiunii redresate la bornele convertorului A

În acest scop ne vom folosi de reprezentările grafice din fig.49. Astfel în fig.49.a sînt prezentate variațiile tensiunilor fazelor R', S', T' de la bornele generatorului GA a căror expresie a valorilor momentane este:

$$u_{R'} = U_m \sin \omega t = \sqrt{2} U \sin \omega t$$

$$u_{S'} = U_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) = \sqrt{2} U \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$

$$u_{T'} = U_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) = \sqrt{2} U \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})$$

în care:  $U_m$  - amplitudinea tensiunii de fază;

$U$  - valoarea efectivă a tensiunii de fază.

Forma tensiunii redresate obținute pe cele grafică este prezentată în fig.49.b.

a) Pentru intervalul:  $[\frac{\pi}{6}, \frac{5\pi}{6}]$  expresia tensiunii momentane la bornele de ieșire a convertorului A se obține astfel:

$$u_A = u_{R'} - u_{T'} = \sqrt{2} U [\sin \omega t - \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})] = \sqrt{6} U \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$

b) Pentru intervalul:  $[\frac{2\pi}{6}, \frac{4\pi}{6}]$  expresia tensiunii momentane se compune din două componente: una pe intervalul:  $[\frac{2\pi}{6}, \frac{3\pi}{6}]$  și alta pe intervalul:  $[\frac{3\pi}{6}, \frac{4\pi}{6}]$  după cum urmează:

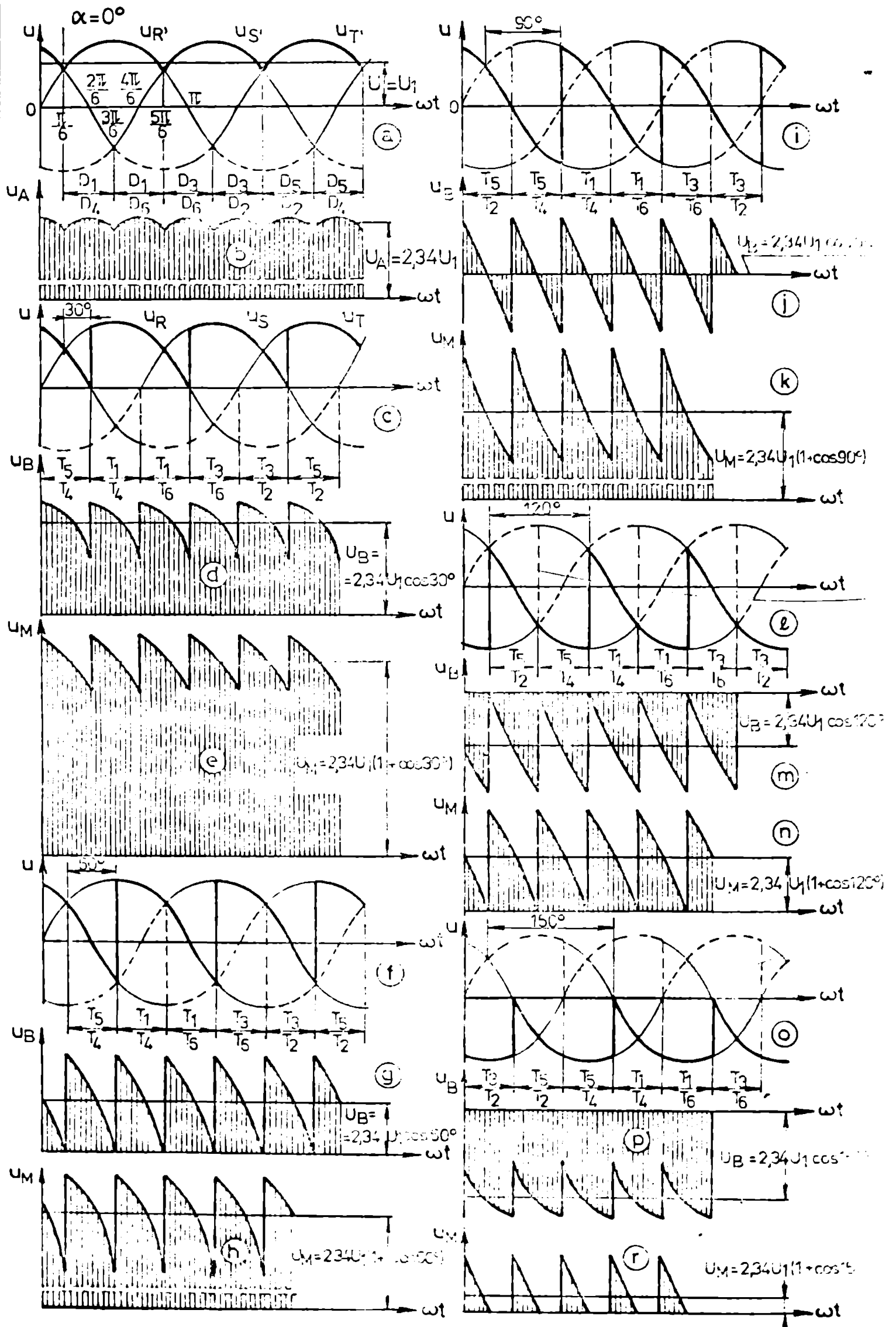
$$u_{A1} = u_{R'} - u_{S'} = \sqrt{2} U [\sin \omega t - \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})] = \sqrt{6} U \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}),$$

respectiv:

$$u_{A2} = u_{R'} - u_{T'} = \sqrt{2} U [\sin \omega t - \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})] = \sqrt{6} U \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}).$$

În final:

$$u_A = \begin{cases} \sqrt{6} U \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}), & \omega t \in [\frac{2\pi}{6}, \frac{3\pi}{6}] \\ \sqrt{6} U \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}), & \omega t \in [\frac{3\pi}{6}, \frac{4\pi}{6}] \end{cases}$$



### 3.1.2. Deducerea expresiei tensiunii redresate la bornele convertorului B

Convertorul B fiind comandat vom analiza funcționarea sa atât în re în de redresor cât și în cel de inverter pentru diversele valori ale unghiului de comandă  $\alpha$  cuprinse în intervalul:  $[0 < \alpha < 150 (180)]$ .

a) Cazul:  $\alpha = 30^\circ$ .

Variațiile tensiunilor fazelor R, B, T sînt prezentate în fig.49.e. Din figură rezultă și durata de conducție a celor șase tiristoare ce compun convertorul B.

Pe intervalul:  $[\frac{2\pi}{6}, \frac{4\pi}{6}]$  expresia tensiunii redresate la bornele convertorului este:

$$u_p = u_R - u_B = \sqrt{2}U \left[ \sin \omega t - \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \right] = \sqrt{6}U \cos \left( \omega t - \frac{\pi}{3} \right).$$

Reprezentarea grafică a acestei tensiuni este indicată în fig.49.d.

b) Cazul:  $\alpha = 60^\circ$  (fig.49.f)

Se consideră intervalul:  $[\frac{2\pi}{6}, \frac{5\pi}{6}]$

$$u_B = u_R - u_B = \sqrt{2}U \left[ \sin \omega t - \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \right] = \sqrt{6} \cdot U \cos \left( \omega t - \frac{\pi}{3} \right).$$

Reprezentarea grafică corespunzătoare în fig.49.g.

c) Cazul:  $\alpha = 90^\circ$  (fig.49.i)

Se consideră intervalul:  $[\frac{2\pi}{6}, \frac{4\pi}{6}]$

$$u_B = u_T - u_B = \sqrt{2} U \left[ \sin \left( \omega t - \frac{4\pi}{3} \right) - \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \right] = \sqrt{6} \cdot U \cos \omega t.$$

Reprezentarea grafică corespunzătoare în fig.49.j.

d) Cazul:  $\alpha = 120^\circ$  (fig.49.l)

Se consideră intervalul:  $[\frac{2\pi}{6}, \frac{5\pi}{6}]$

$$u_B = u_T - u_B = \sqrt{2} U \left[ \sin \left( \omega t - \frac{4\pi}{3} \right) - \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \right] = \sqrt{6} U \cos \omega t.$$

Reprezentarea grafică corespunzătoare în fig.49.m.

e) Cazul:  $\alpha = 150^\circ$  (fig.49.o)

Se consideră intervalul:  $[\frac{2\pi}{6}, \frac{4\pi}{6}]$

$$u_p = u_T - u_R = \sqrt{2} U \left[ \sin \left( \omega t - \frac{4\pi}{3} \right) - \sin \omega t \right] = -\sqrt{6} U \cos \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right).$$

Reprezentarea grafică corespunzătoare în fig.49.p.

### 3.1.3. Deducerea expresiei tensiunii la bornele matatorului

Tensiunea la bornele matatorului care produce curen-

tot din circuitul intermediar rezultă din însumarea tensiunilor celor două convertitoare A și B.

a) Cazul:  $\alpha = 30^\circ$  (fig. 43.g)

Se consideră intervalul:  $\left[ \frac{2\pi}{6} , \frac{4\pi}{6} \right]$

$$u_M = u_A + u_B = \begin{cases} \sqrt{6} \cdot U \left[ \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}) + \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}) \right], & \omega t \in \left[ \frac{2\pi}{6} , \frac{3\pi}{6} \right] \\ \sqrt{6} \cdot U \left[ \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}) \right], & \omega t \in \left[ \frac{3\pi}{6} , \frac{4\pi}{6} \right] \end{cases}$$

sau sub altă formă:

$$u_M = \begin{cases} 2\sqrt{6} U \cos(\omega t - \frac{2\pi}{6}), & \omega t \in \left[ \frac{2\pi}{6} , \frac{3\pi}{6} \right] \\ 3\sqrt{2} U \sin \omega t, & \omega t \in \left[ \frac{3\pi}{6} , \frac{4\pi}{6} \right] \end{cases}$$

b) Cazul:  $\alpha = 60^\circ$  (fig. 43.h)

Se consideră intervalul:  $\left[ \frac{3\pi}{6} , \frac{5\pi}{6} \right]$

$$u_M = u_A + u_B = \sqrt{6} U \left[ \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}) \right] = 3\sqrt{2} U \sin \omega t.$$

c) Cazul:  $\alpha = 90^\circ$  (fig. 43.k)

Se consideră intervalul:  $\left[ \frac{2\pi}{6} , \frac{4\pi}{6} \right]$

$$u_M = u_A + u_B = \begin{cases} \sqrt{6} \cdot U \left[ \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}) - \cos \omega t \right], & \omega t \in \left[ \frac{2\pi}{6} , \frac{3\pi}{6} \right] \\ \sqrt{6} \cdot U \left[ \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) - \cos \omega t \right], & \omega t \in \left[ \frac{3\pi}{6} , \frac{4\pi}{6} \right] \end{cases}$$

sau sub altă formă:

$$u_M = \begin{cases} \sqrt{3} \sqrt{6} U \cdot \cos(\omega t - \frac{\pi}{6}), & \omega t \in \left[ \frac{2\pi}{6} , \frac{3\pi}{6} \right] \\ \sqrt{6} U \cdot \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}), & \omega t \in \left[ \frac{3\pi}{6} , \frac{4\pi}{6} \right] \end{cases}$$

d) Cazul:  $\alpha = 120^\circ$  (fig. 43.n)

Se consideră intervalul:  $\left[ \frac{3\pi}{6} , \frac{5\pi}{6} \right]$

$$u_M = u_A + u_B = \sqrt{6} \cdot U \left[ \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + \cos \omega t \right] = \sqrt{6} U \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}).$$

e) Cazul:  $\alpha = 150^\circ$  (fig. 43.p)

Se consideră intervalul:  $\left[ \frac{2\pi}{6} , \frac{4\pi}{6} \right]$

$$u_M = \begin{cases} \sqrt{6} \cdot U \left[ \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}) - \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \right], & \omega t \in \left[ \frac{2\pi}{6} , \frac{3\pi}{6} \right] \\ \sqrt{6} \cdot U \left[ \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) - \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \right], & \omega t \in \left[ \frac{3\pi}{6} , \frac{4\pi}{6} \right], \end{cases}$$

sau sub altă formă:

$$u_{\alpha} = \begin{cases} \sqrt{6} U \cos \omega t & \cdot \omega t \in \left[ \frac{2\pi}{6}, \frac{3\pi}{6} \right] \\ 0 & \cdot \omega t \in \left[ \frac{3\pi}{6}, \frac{4\pi}{6} \right] \end{cases}$$

### 3.1.4. Calculul valorii medii a tensiunii redresate

Valoarea medie a tensiunii redresate se obține prin integrarea expresiei valorii momentane pe intervalul considerat.

a) Astfel valoarea medie a tensiunii redresate de la bornele convertorului A, pentru intervalul  $\left[ \frac{2\pi}{6}, \frac{3\pi}{6} \right]$  se calculează după cum urmează:

$$U_{\text{med}} = \frac{\sqrt{6}U}{\frac{2\pi}{6}} \int_{\frac{2\pi}{6}}^{\frac{3\pi}{6}} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \cdot d\omega t = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U = 2,34U$$

b) Pentru intervalul  $\left[ \frac{2\pi}{6}, \frac{4\pi}{6} \right]$  se obține:

$$U_{\text{med}} = \frac{\sqrt{6}U}{\frac{2\pi}{6}} \left[ \int_{\frac{2\pi}{6}}^{\frac{3\pi}{6}} \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}) d\omega t + \int_{\frac{3\pi}{6}}^{\frac{4\pi}{6}} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) d\omega t \right] = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U = 2,34U$$

În cazul convertorului A unghiul de comandă  $\alpha = 0$ .

În cazul convertorului B valoarea medie a tensiunii redresate se calculează pentru diverse valori ale unghiului de comandă.

a)  $\alpha = 30^\circ$

$$U_{\text{med}} = \frac{\sqrt{6}U}{\frac{2\pi}{6}} \cdot \int_{\frac{2\pi}{6}}^{\frac{4\pi}{6}} \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}) d\omega t = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U \cos 30^\circ = 2,34U \cos 30^\circ$$

b)  $\alpha = 60^\circ$

$$U_{\text{med}} = \frac{\sqrt{6}U}{\frac{2\pi}{6}} \cdot \int_{\frac{3\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}) d\omega t = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U \cos 60^\circ = 2,34U \cos 60^\circ$$

c)  $\alpha = 90^\circ$

$$U_{\text{med}} = \frac{\sqrt{6}U}{\frac{2\pi}{6}} \cdot \int_{\frac{3\pi}{6}}^{\frac{4\pi}{6}} \cos \omega t \cdot d\omega t = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U \cos 90^\circ = 2,34U \cos 90^\circ = 0$$



d)  $\alpha = 120^\circ$

$$U_{Bmed} = \frac{\sqrt{6}U}{2\pi} \cdot \int_{\frac{3\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} \cos \omega t \cdot d\omega t = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U \left(-\frac{1}{2}\right) = 2,34U \cos 120^\circ < 0$$

e)  $\alpha = 150^\circ$

$$U_{Bmed} = -\frac{\sqrt{6}U}{2\pi} \cdot \int_{\frac{2\pi}{6}}^{\frac{4\pi}{6}} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) d\omega t = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = 2,34U \cos 150^\circ$$

Rezultă că pentru cazul general (pentru  $\alpha \neq 0$ ) valoarea tensiunii medii obținute este egală cu tensiunea medie corespunzătoare pentru  $\alpha = 0$  înmulțită cu  $\cos \alpha$  respectiv [63], adică:

$$U_{Bmed} = U_A \cos \alpha = 2,34U \cos \alpha \geq 0 \quad (21)$$

Rezultă trei cazuri în funcție de valoarea lui  $\alpha$

1)  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$

$U_{Bmed} > 0$ , regim de funcționare ca redresor

2)  $\alpha = 90^\circ$

$U_{Bmed} = 0$

3)  $90^\circ < \alpha < 180^\circ$

$U_{Bmed} < 0$ , regim de funcționare ca inverter

Pentru demonstrarea relației (21) se folosesc cele două forme ale expresiei tensiunii momentane ale convertorului  $A(\alpha = 0)$  și se integrează în limitele de existență la care se adaugă  $\alpha$ .

$$a) U_{Bmed} = \frac{\sqrt{6}U}{2\pi} \cdot \int_{\frac{2\pi}{6} + \alpha}^{\frac{3\pi}{6} + \alpha} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) d\omega t = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U \cos \alpha = 2,34U \cos \alpha$$

$$b) U_{Bmed} = \frac{\sqrt{6}U}{2\pi} \left[ \int_{\frac{3\pi}{6} + \alpha}^{\frac{2\pi}{6} + \alpha} \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}) d\omega t + \int_{\frac{2\pi}{6} + \alpha}^{\frac{4\pi}{6} + \alpha} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) d\omega t \right] = 2,34 \cdot U \cos \alpha$$

### 3.1.5. Calculul valorii medii a tensiunii matatorului

Tensiunea medie a matatorului poate fi calculată în două

moduri: fie prin însuşirea valorilor medii ale tensiunilor celor două convertoare A şi B, fie prin integrarea expresiei tensiunii momentane a matatorului pe intervalul considerat. În cazul matatorului nostru convertorul A este recomandat şi<sup>5c</sup> obţine la bornele sale o tensiune redresată de valoare maximă:

$$U_{Amed} = 2,34 \cdot U > 0$$

Convertorul B fiind comandat, la bornele sale se pot obţine tensiuni redresate variabile în funcţie de  $\alpha$ . În intervalul  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$  se obţin tensiuni medii redresate:  $U_{Bmed} = 2,34 U \cos \alpha > 0$ , iar în intervalul  $90^\circ < \alpha < 150^\circ (180^\circ)$ :

$$U_{Bmed} = 2,34 \cdot U \cos \alpha < 0$$

Ieci dacă se face uz de valorile medii ale tensiunilor celor două convertoare A şi B, tensiunea medie la bornele matatorului se calculează astfel:

$$U_{Umed} = U_{Amed} + U_{Bmed} = 2,34U + 2,34U \cos \alpha = 2,34U(1 + \cos \alpha)$$

Rezultă deci că în intervalul:  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ :

$$U_{Umed} = U_{Amed} + U_{Bmed}$$

iar în intervalul:  $90^\circ < \alpha < 150^\circ (180^\circ)$ :

$$U_{Umed} = U_{Amed} - U_{Bmed}$$

Dacă se face uz de expresia tensiunii momentane a tensiunii matatorului, valoarea medie se calculează după cum urmează:

a) Cezul  $\alpha = 30^\circ$

Se consideră intervalul:  $\left[ \frac{2\pi}{6}, \frac{4\pi}{6} \right]$

$$U_{Umed} = - \frac{1}{2\pi} \left[ 2 \sqrt{6} U \int_{\frac{2\pi}{6}}^{\frac{3\pi}{6}} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{6}) d\omega t + 3\sqrt{2} U \int_{\frac{3\pi}{6}}^{\frac{4\pi}{6}} \sin \omega t \cdot d\omega t \right] =$$

$$= \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \left( 1 + \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = 2,34U(1 + \cos 30^\circ)$$

b) Cezul:  $\alpha = 60^\circ$

Se consideră intervalul:  $\left[ \frac{3\pi}{6}, \frac{5\pi}{6} \right]$

$$U_{Umed} = \frac{3\sqrt{2}U}{2\pi} \cdot \int_{\frac{3\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} \sin \omega t d\omega t = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U \left( 1 + \frac{1}{2} \right) = 2,34U(1 + \cos 60^\circ)$$

c) Cazul:  $\alpha = 90^\circ$

Se consideră intervalul:  $\left[ \frac{2\pi}{6}, \frac{4\pi}{6} \right]$

$$U_{med} = \frac{\sqrt{6}U}{2\pi} \left[ \sqrt{3} \cdot \int_{\frac{2\pi}{6}}^{\frac{3\pi}{6}} \cos(\omega t - \frac{\pi}{6}) d\omega t + \int_{\frac{3\pi}{6}}^{\frac{4\pi}{6}} \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}) d\omega t \right] =$$

$$= \frac{2\sqrt{6}}{\pi} U(1+0) = 2,34U(1+\cos 90^\circ) .$$

d) Cazul:  $\alpha = 120^\circ$

Se consideră intervalul:  $\left[ \frac{3\pi}{6}, \frac{5\pi}{6} \right]$

$$U_{med} = \frac{\sqrt{6}U}{2\pi} \cdot \int_{\frac{3\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}) d\omega t = \frac{2\sqrt{6}}{\pi} U(1 - \frac{1}{2}) = 2,34U(1+\cos 120^\circ) .$$

e) Cazul:  $\alpha = 150^\circ$

Se consideră intervalul:  $\left[ \frac{2\pi}{6}, \frac{4\pi}{6} \right]$

$$U_{med} = \frac{\sqrt{6}U}{2\pi} \cdot \int_{\frac{2\pi}{6}}^{\frac{3\pi}{6}} \cos(\omega t) d\omega t = \frac{2\sqrt{6}}{\pi} U(1 - \frac{\sqrt{3}}{2}) = 2,34U(1+\cos 150^\circ) .$$

Deci în cazul general:  $U_{med} = 2,34U(1+\cos \alpha) = U_A(1+\cos \alpha)$ .

### 3.1.6. Expresia tensiunii la bornele motorului în cazul real de funcționare

În cazul real de funcționare al schemei de încercare a motoarelor asincrone prin încălzire de la meroul în gol la sarcina nominală (și chiar peste), frecvența  $f_2$  scade pe măsură ce se încercă motorul de încercat  $M_A$ , respectiv pe măsură ce turația scade. Deci, în realitate  $f_2 \neq f_1$ . Ca urmare,  $U$  scade și deci  $U \neq U_1$ . Totuși tensiunea  $U$  poate fi menținută la o valoare constantă prin intermediul compensatorului sincron CS acționând asupra excitației acestuia.

a. Cazul:  $U=U_1$  și  $f_2 \neq f_1$ .

a)  $\alpha = 30^\circ$

$$u_{\Sigma} = \begin{cases} \sqrt{6}U \left[ \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}) + \cos(\omega_1 t - \frac{\pi}{3}) \right] \\ \sqrt{6}U \left[ \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + \cos(\omega_1 t - \frac{\pi}{3}) \right] \end{cases}$$

b)  $\alpha = 60^\circ$

$$u_M = \sqrt{6U} \left[ \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + \cos(\omega_1 t - \frac{\pi}{3}) \right]$$

c)  $\alpha = 90^\circ$

$$u_M = \begin{cases} \sqrt{6U} \left[ \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}) + \cos \omega_1 t \right] \\ \sqrt{6U} \left[ \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + \cos \omega_1 t \right] \end{cases}$$

d)  $\alpha = 120^\circ$

$$u_M = \sqrt{6U} \left[ \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + \cos \omega_1 t \right] \quad (22)$$

e)  $\alpha = 150^\circ$

$$u_M = \begin{cases} \sqrt{6U} \left[ \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}) - \cos(\omega_1 t - \frac{2\pi}{3}) \right] \\ \sqrt{6U} \left[ \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) - \cos(\omega_1 t - \frac{\pi}{3}) \right] \end{cases}$$

B. Cazul:  $U \neq U_1$  ( $U < U_1$ ) și  $f_2 \neq f_1$  ( $f_2 < f_1$ )

a)  $\alpha = 30^\circ$

$$u_M = \begin{cases} \sqrt{6} \left[ U \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}) + U_1 \cos(\omega_1 t - \frac{\pi}{3}) \right] \\ \sqrt{6} \left[ U \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + U_1 \cos(\omega_1 t - \frac{\pi}{3}) \right] \end{cases}$$

b)  $\alpha = 60^\circ$

$$u_M = \sqrt{6} \left[ U \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + U_1 \cos(\omega_1 t - \frac{\pi}{3}) \right]$$

c)  $\alpha = 90^\circ$

$$u_M = \begin{cases} \sqrt{6} \left[ U \cdot \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}) + U_1 \cos \omega_1 t \right] \\ \sqrt{6} \left[ U \cdot \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + U_1 \cos(\omega_1 t) \right] \end{cases}$$

d)  $\alpha = 120^\circ$

$$u_M = \sqrt{6} \left[ U \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + U_1 \cos \omega_1 t \right] \quad (23)$$

e)  $\alpha = 150^\circ$

$$u_M = \begin{cases} \sqrt{6} \left[ U \cdot \cos(\omega t - \frac{\pi}{3}) - \cos(\omega_1 t - \frac{2\pi}{3}) \right] \\ \sqrt{6} \left[ U \cdot \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) - \cos(\omega_1 t - \frac{\pi}{3}) \right] \end{cases}$$

În fig.50 se prezintă variațiile tensiunilor după cum urmează: variația tensiunilor fazelor R',S',T' de valoare efectivă  $U=U_1$  și frecvență  $f < f_1$  în fig.50.a; reprezentarea grafică a variației tensiunii momentane redresate  $u_A$  în acest caz (fig.50b); variația tensiunilor de fază R',S',T' de valoare efectivă  $U < U_1$  și  $f < f_1$  (fig.50.c); variația tensiunii redresate  $u_A$  în acest caz (fig.50d); variația tensiunilor fazelor R,S,T de valoare efectivă  $U_1$  și frecvență  $f_1$  la  $\alpha = 120^\circ$  (fig.50e); variația tensiunii redresate  $u_B$  în acest caz (fig.50.f); variația tensiunii mutatorului  $u_M$  exprimată prin relația (22) este reprezentată în fig.50g iar  $u_M$  exprimată prin relația (23) în fig.50.h.

Expresia valorii medii a tensiunilor este înscrisă pe figură pentru fiecare caz în parte.

### 3.1.7. Curentul mediu din circuitul intermediar al mutatorului

Valoarea medie a curentului redresat poate fi calculată cu relația:

$$I = \frac{U_M}{R} = \frac{U_A + U_B}{R} = \frac{2,34}{R} (U + U_1 \cos \alpha)$$

în care R este valoarea rezistenței totale a circuitului intermediar.

Variația curentului I în funcție de unghiul de comandă având ca parametru tensiunea U este prezentată în fig.51. Se pre-

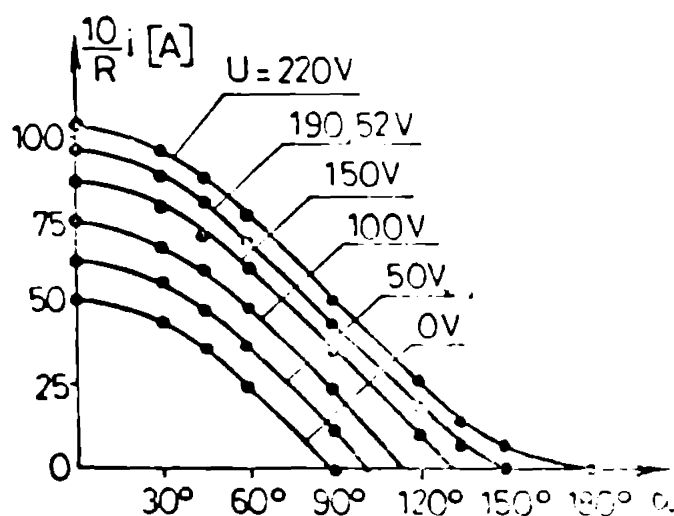


FIG.51.

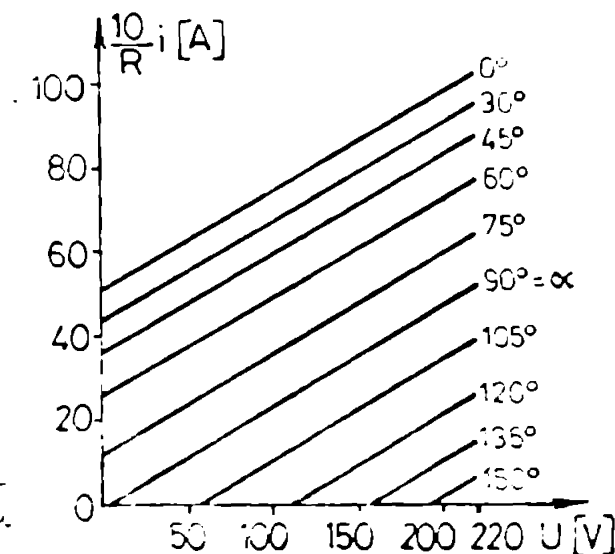


FIG.52.

cisează că în intervalul:  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$  ambelc convertoare A și B funcționează în regia de redresare, iar curentul I circulează între ele în circuitul intermediar. În intervalul:  $90^\circ < \alpha < 180^\circ$  con-

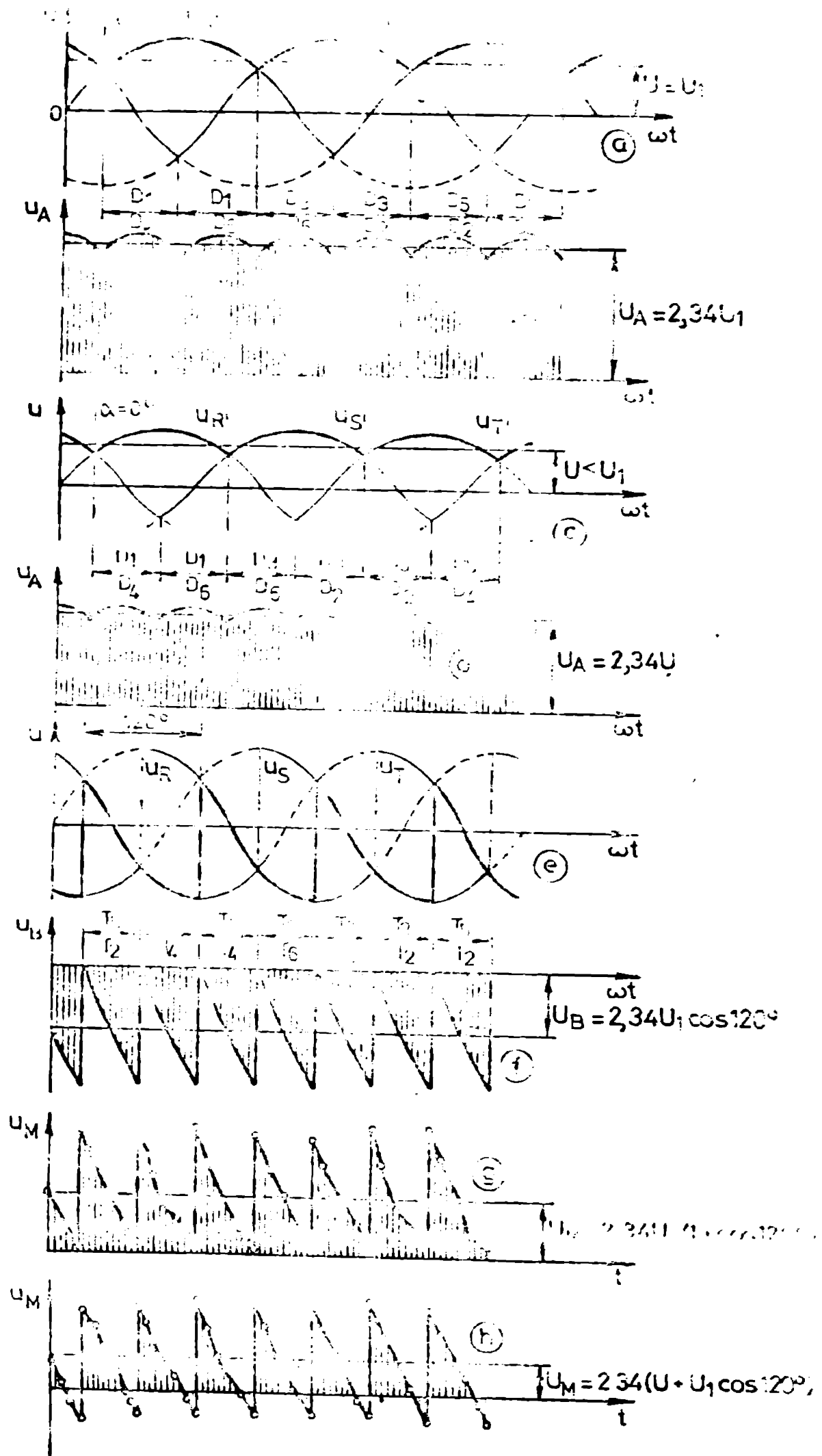


Fig. 50

vertorul B funcționează în regim de inverter ( $U_p < 0$ ), debitând în rețea curentul:

$$i = \frac{U_A - U_B}{R}$$

Din figură se poate observa modul de obținere a diverselor valori ale curentului și anume: fie prin menținerea constantă a unui parametru ( $U$  sau  $\alpha$ ) și modificând pe celălalt ( $\alpha$  sau  $U$ ), fie prin modificarea ambilor parametri.

În fig.52 s-a reprezentat variația curentului  $i$  în funcție de tensiunea  $U$  având ca parametru unghiul  $\alpha$ .

**3.1.E. Puterea din circuitul intermediar al mutatorului**  
Acesta poate fi calculată cu relația:

$$P = U_M i = \frac{2,34^2 U_1^2}{R} (1 + \cos \alpha)^2$$

pentru cazul când  $U = U_1$ . Respectiv:

$$P = \frac{2,34^2}{R} (U + U_1 \cos \alpha)^2$$

pentru cazul când  $U \neq U_1$ .

În intervalul:  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$  această putere se consumă în circuitul intermediar prin disipare, iar în intervalul:  $90^\circ < \alpha < 150^\circ$  se recuperează în rețea (dacă se neglijează pierderile pînă la rețea). În fig.53 s-a reprezentat puterea recuperată  $P = P_r$  în func-

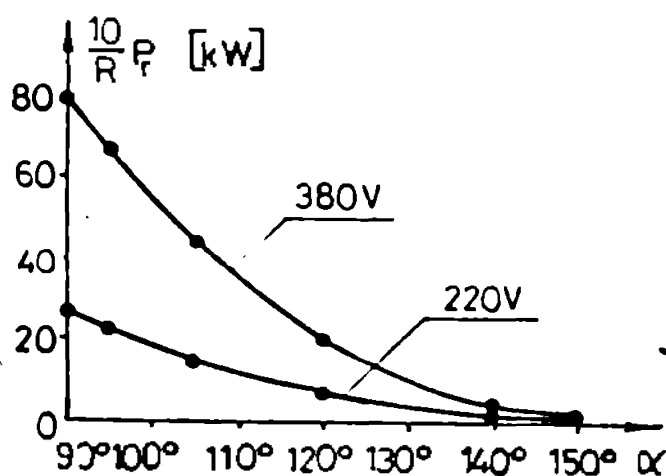


FIG.53.

ție de  $\alpha$  pentru două valori (380 V și 220 V) ale tensiunii de fază  $U = U_1$ .

### 3.2. Blocul de comandă

Instalația de încercare recuperativă a motoarelor asincrone propusă de autor implică introducerea unui bloc de comandă adecvat, în scopul realizării de impulsuri corespunzătoare în vederea conducției după un ciclu bine determinat a celor șase tiristoare ce compun invertorul matatorial, pentru asigurarea protecției instalației precum și în scopul realizării surseilor de tensiune alternative și de curent continuu de diferite valori necesare pentru diferite componente electronice.

Astfel, autorul a conceput și realizat un bloc de comandă corespunzător, ce constituie, prin nouțetea sa, obiectul unei inovații [57]. Particularitatea blocului respectiv constă în faptul că este destinat special pentru instalație respectivă.

Schema de principiu a blocului de comandă este prezentată în figura 54 și se compune din trei părți principale:

#### 3.2.1. Sistemul de formare, blocare și amplificarea impulsurilor de comandă a tiristoarelor matatorialului (1):

#### 3.2.2. Sistemul de reglare și protecție (2):

#### 3.2.3. Sursele de tensiune (3).

3.2.1. Sistemul de formare, blocare și amplificarea impulsurilor este prezentat, în detaliu, în figura 55 și se compune din următoarele circuite electronice:

- a) Filtrul de rețea;
- b) Circuitul de formare a impulsurilor de comandă;
- c) Circuitul de blocare a impulsurilor;
- d) Circuitul logic combinațional (C.L.C.);
- e) Circuitul de amplificare și separare galvanică

a) Filtrul de rețea este de tip  $\pi$  și constă din două condensatoare și un rezistor atenuator de valori și montaj rezultă din figură.

b) Pentru realizarea sistemului de formare a impulsurilor s-au folosit trei circuite integrate de tip  $\beta$ AA 145. Un astfel de circuit poate comanda alternativ două tiristoare.



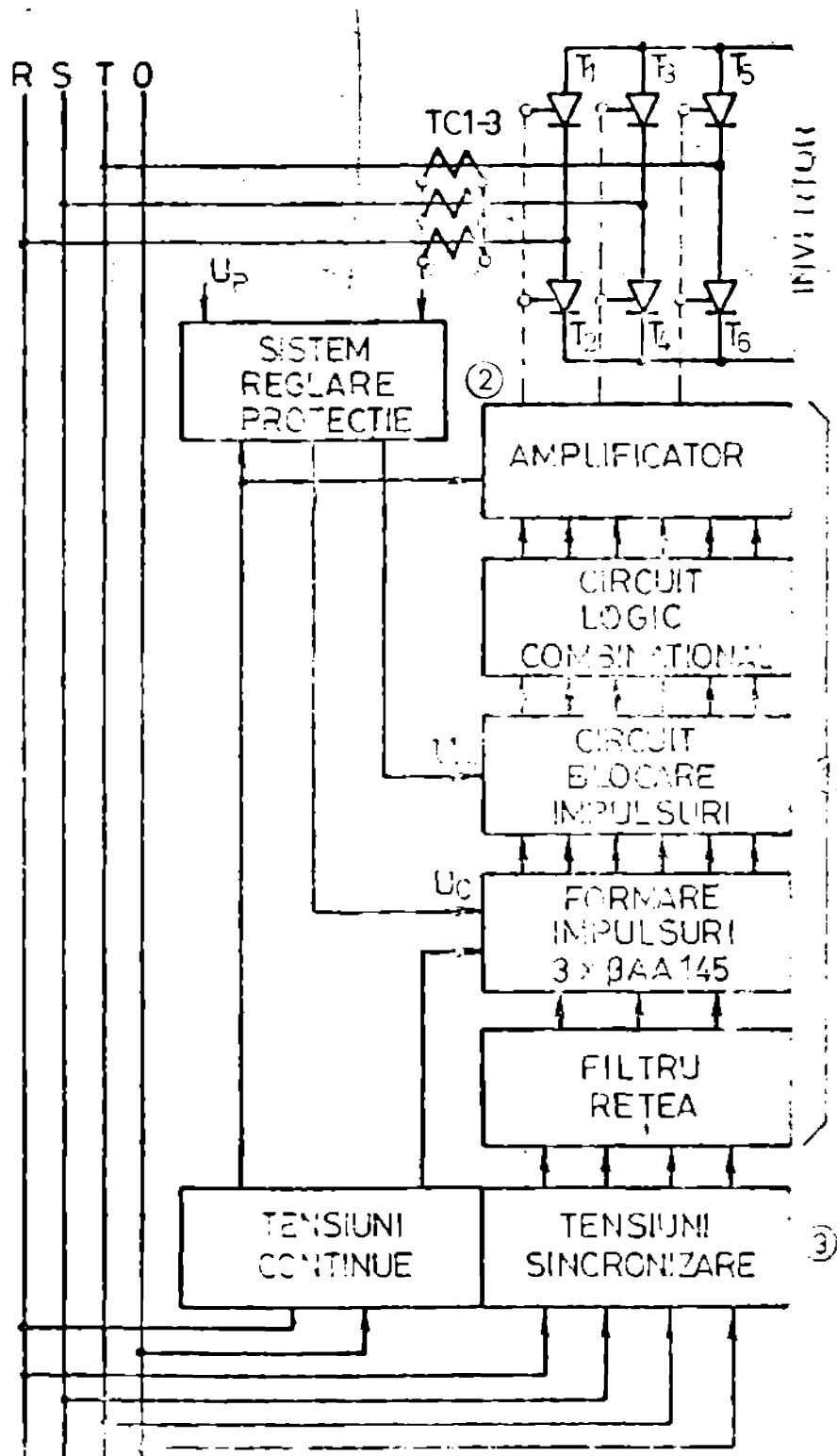


FIG.54.

O vedere exterioară a integratorului  $\beta$ AA 145, cu circuitele suplimentare, este prezentată în figura 56, iar schema bloc în figura 57.

După cum se poate observa din schema bloc, un circuit integrat  $\beta$ AA 145 se compune dintr-un etaj de sincronizare, un dispozitiv de tensiune liniar-variabilă TLV, un comparator C, un circuit monostabil, două porți logice  $P_1$ ,  $P_2$ , două transistoare  $T_{21}$ ,  $T_{22}$  și 16 pini (fig. 56), la care sesese sau se obțin diverse canale de tensiune. Principalele semnale sînt prezentate în figura 58.

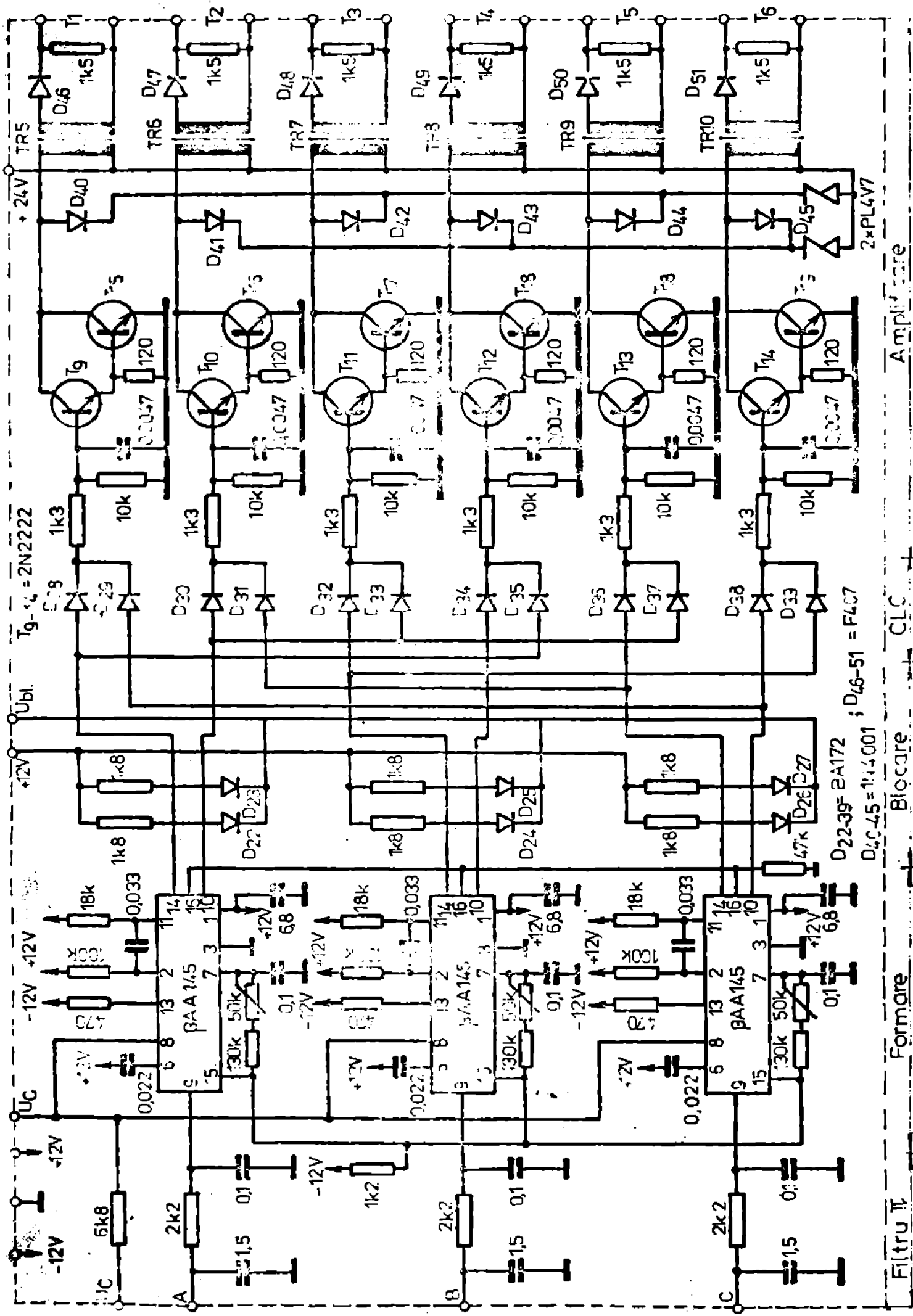


Fig. 15

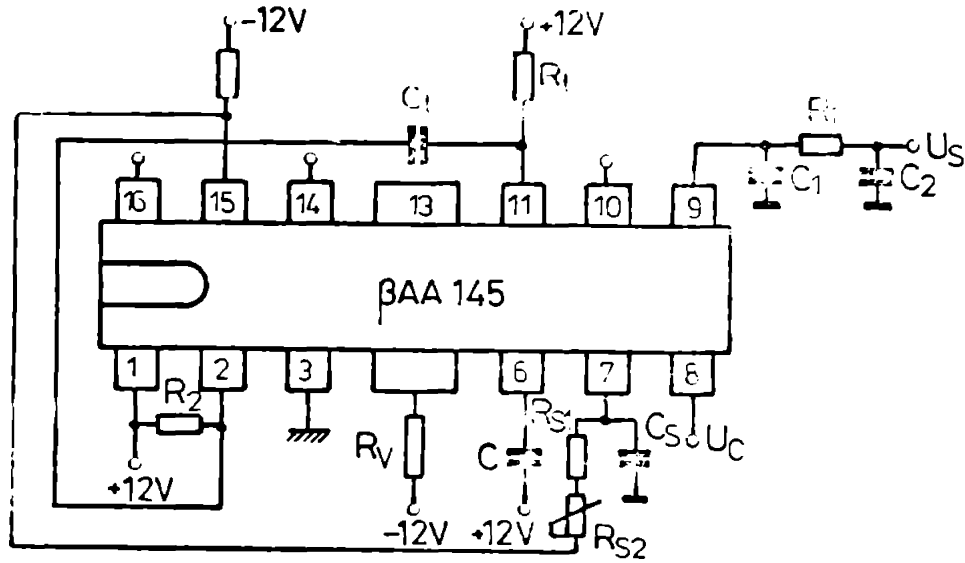


FIG.56.

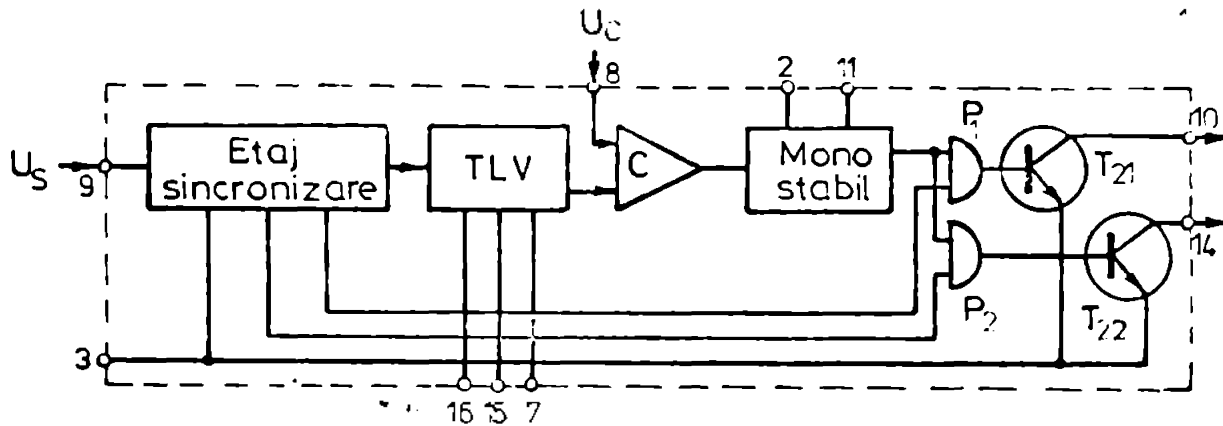


FIG.57.

Astfel, la pinul 9 sosește semnalul de tensiune, proporțional cu tensiunea rețelei (semnal de sincronizare). Acest semnal este furnizat de transformatoarele de sincronizare TR2-4, iar forma corespunzătoare este obținută prin intermediul circuitelor de limitare formate din diodele Zener  $D_{1-6}$  (fig.59.e) și filtrul de rețea (fig.55).

Cu ajutorul acestui semnal se sincronizează impulsurile de comandă ale tiristoarelor cu rețeaua de alimentare.

La pinul 16 se obține un impuls de sincronizare care este folosit pentru inițierea tensiunii liniar-variabile TLV în formă de dinte de fierăstrău.

La pinul 7 se obține semnalul TLV, a cărui pantă se poate modifica cu ajutorul rezistoarelor  $R_{s1}$  și  $R_{s2}$  și condensatorului  $C_s$  (fig.56).

La pinul 8 sosește tensiunea de comandă  $U_c$  de la sistemul de reglare și protecție, care se prescrie prin potențiometrul P (fig.60).

La pinul 2 se obține semnalul de comandă a formării in-

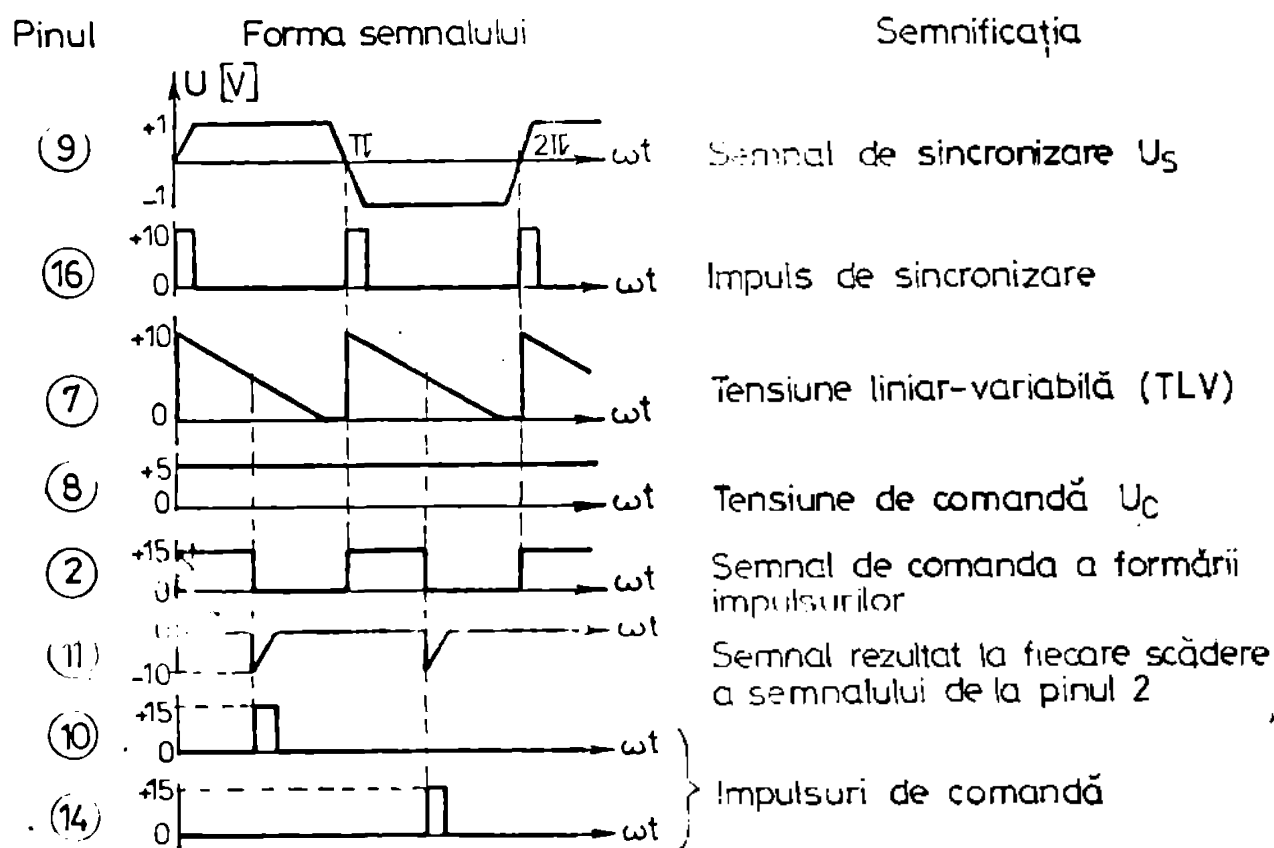


FIG.58.

pulsurilor. Semnalul devine nul în momentul în care tensiunea liniar-variabilă devine egală cu tensiunea  $U_c$ .

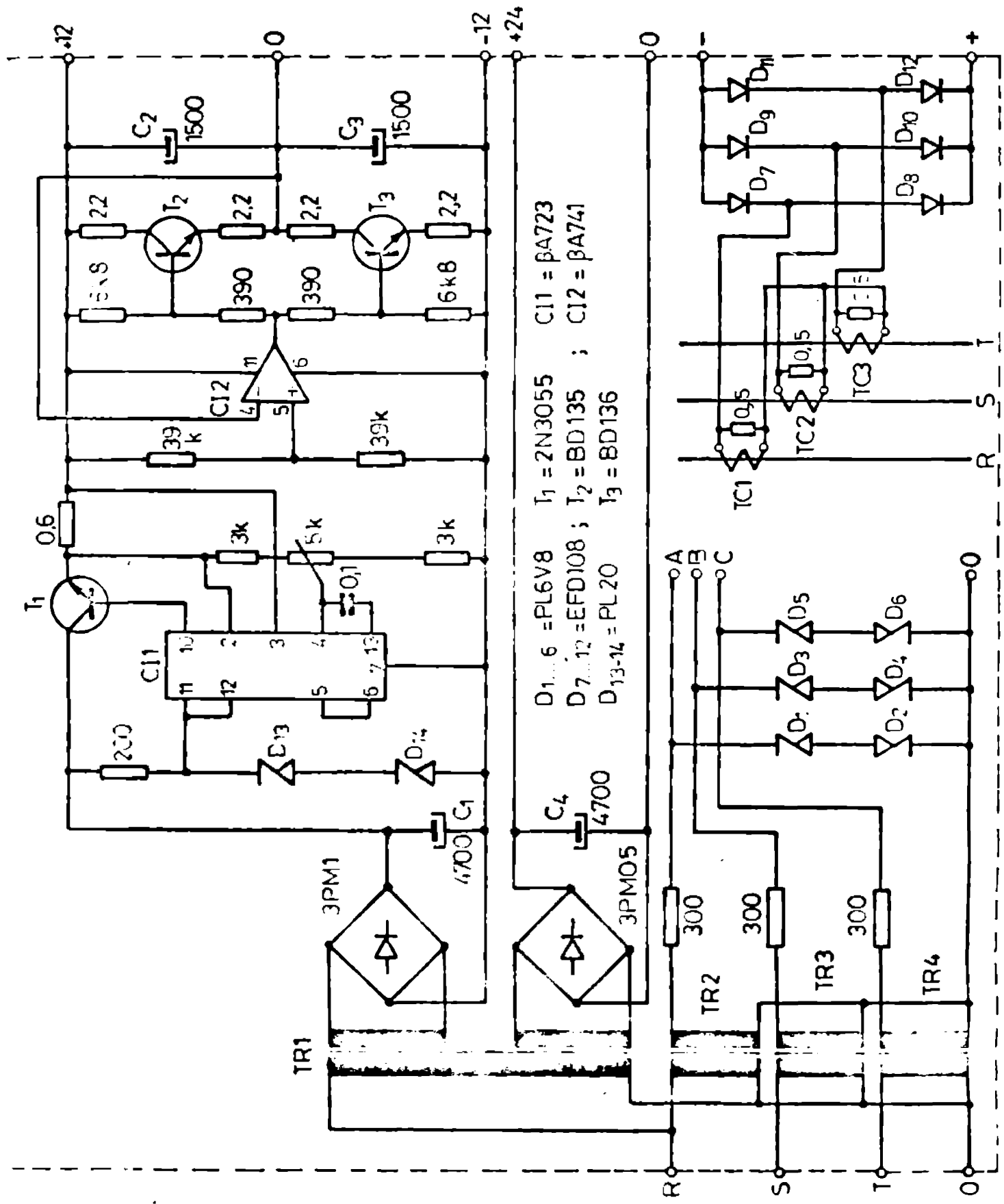
La pinul 11 se obține, în fiecare semiperioadă, un semnal corespunzător frontului de cădere a semnalului de la pinul 2.

Comparatorul C (fig.57) compară tensiunea LV cu tensiunea  $U_c$ . În momentul când tensiunea LV depășește ca valoare tensiunea  $U_c$ , la pinii 10 se obțin impulsuri defazate între ele cu  $120^\circ$  electrice iar la pinii 14 impulsuri cu același defazaj între ele, dar defazate cu  $180^\circ$  electrice față de impulsurile pinilor 10.

În figura 61 sînt reprezentate aceste impulsuri de comandă ale celor șase tiristoare ale invertorului prezentat separat în figura 62.

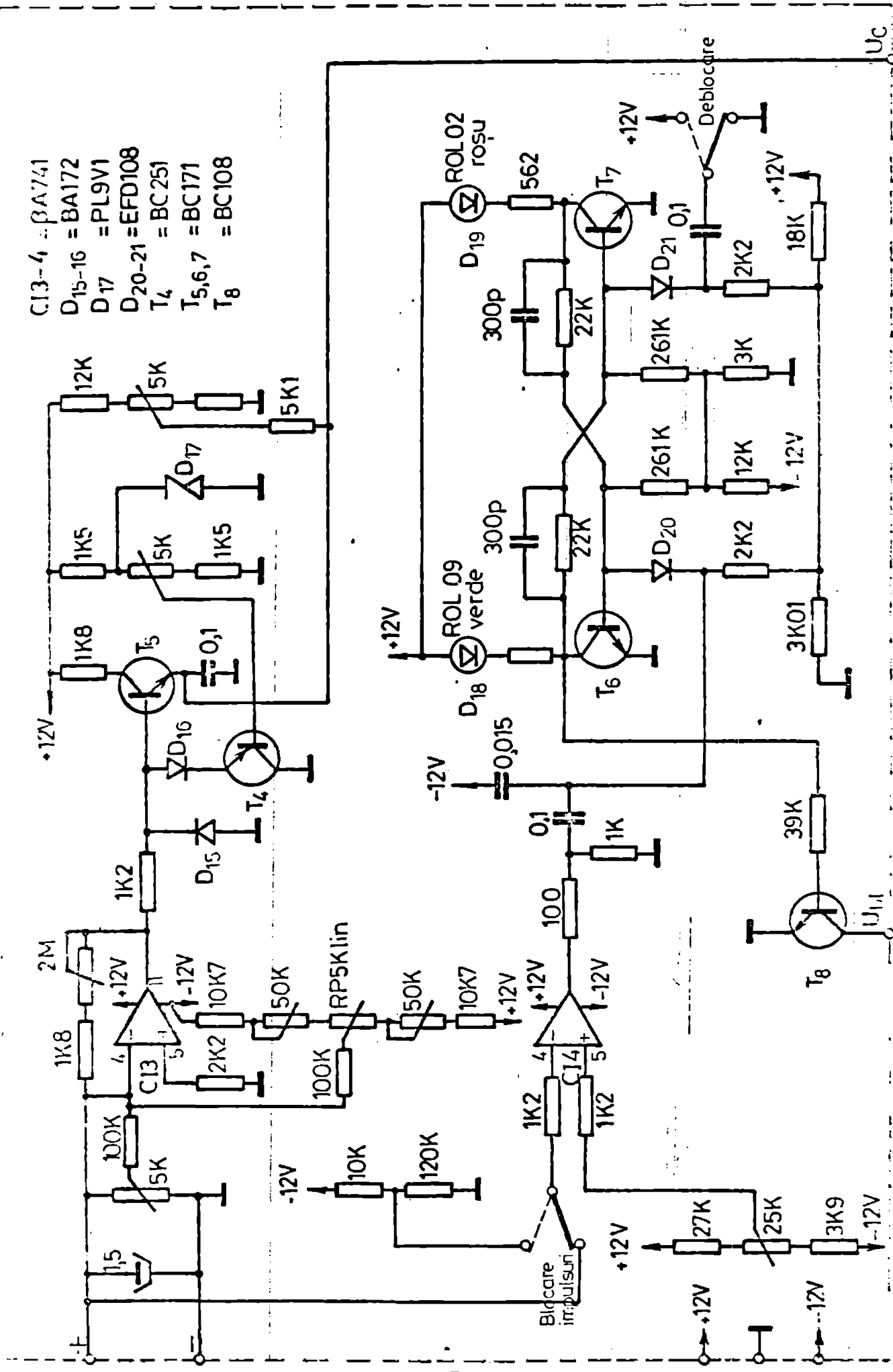
Prin construcția invertorului, pe fiecare fază există două tiristoare după cum urmează: pe faza R sînt tiristoarele  $T_1$  și  $T_2$ , pe faza S tiristoarele  $T_3$  și  $T_4$  și pe faza T tiristoarele  $T_5$  și  $T_6$ . Tiristoarele perechi de pe fiecare fază n-au voie să fie comandate simultan, deoarece într-o astfel de situație s-ar comite un scurt-circuit la bornele circuitului intermediar al motorului, prin faza respectivă.

Fiecare tiristor de pe aceeași fază se comandă în cite o



D1...6 = PL6V8    T1 = 2N3055    C11 =  $\beta$ A723  
 D7...12 = EFD108 ; T2 = BD135 ; C12 =  $\beta$ A741  
 D13-14 = PL20    T3 = BD136

Fig 59



- CI3-4 = BA741
- D15-16 = BA172
- D17 = PL9V1
- D20-21 = EFD108
- T4 = BC251
- T5,6,7 = BC171
- T8 = BC108

Fig. 60.

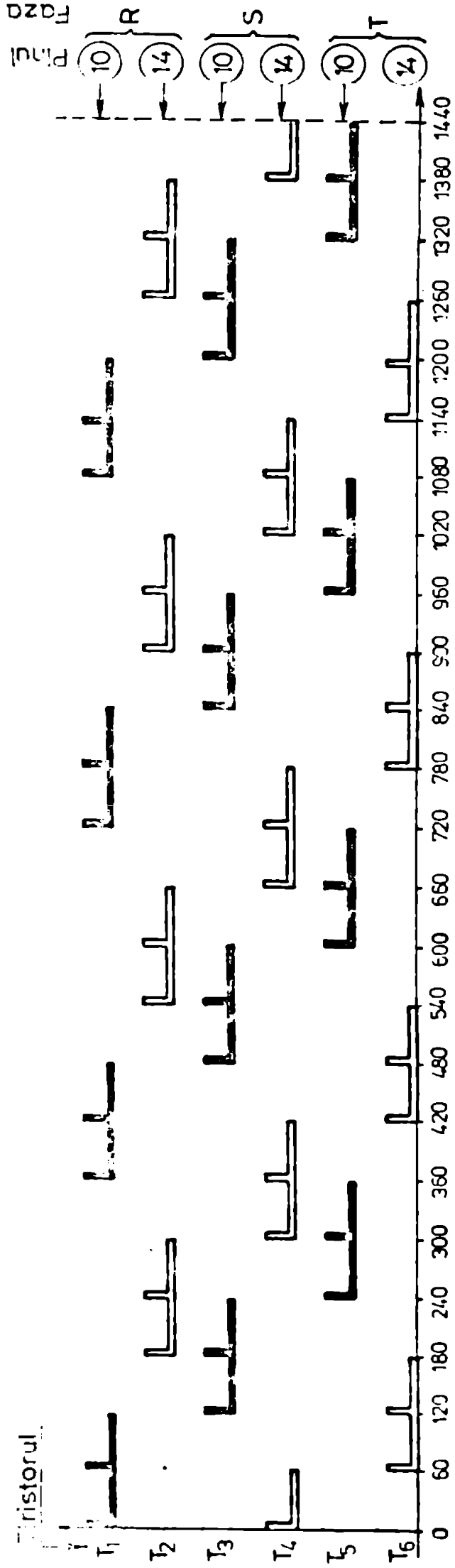


FIG. 61.

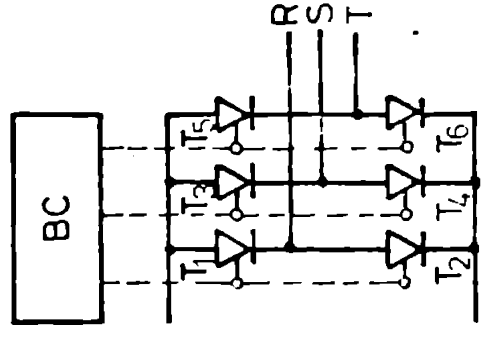


FIG. 62.

semialternanță a tensiunii fazei respective. De exemplu, tiristorul  $T_1$  de pe faza R se comandă în semialternanța pozitivă a tensiunii fazei R, iar tiristorul  $T_2$  de pe aceeași fază se comandă în semialternanța negativă.

După cum rezultă din Figura 61, la un moment dat primesc comenzi, prin impuls, simultan două tiristoare de faze diferite. Astfel, tiristorul  $T_1$  primește primul impuls simultan cu al doilea impuls al tiristorului  $T_4$  cu care conduce pe un interval de  $60^\circ$  electrice, după care  $T_1$  primește cel de-al doilea impuls simultan cu primul impuls al tiristorului  $T_6$  cu care conduce simultan pe încă un interval de  $60^\circ$  electrice după care tiristorul  $T_1$  se blochează. În acest moment tiristorul  $T_2$  primește primul impuls simultan cu cel de-al doilea impuls al tiristorului  $T_6$  cu care conduce pe următorul interval de  $60^\circ$  electrice, în finele căruia tiristorul  $T_2$  se blochează. În această clipă tiristorul  $T_3$  primește primul impuls simultan cu cel de-al doilea impuls al tiristorului  $T_2$  cu care conduce pe următorul interval de  $60^\circ$  electrice. În continuare, tranzistorul  $T_3$  primește primul impuls simultan cu al doilea impuls al tiristorului  $T_2$  cu care conduce pe următorul interval de  $60^\circ$  electrice, după care tranzistorul  $T_4$  primește primul impuls simultan cu cel de-al doilea impuls primit de tranzistorul  $T_3$  cu care conduce pe următorul interval, după care ciclul se reia.

Se observă că primul impuls de comandă îl primesc tiristoarele, pe rând, după un interval de  $60^\circ$  electrice, în ordine:  $T_1, T_6, T_3, T_2, T_5, T_4, T_1$ , iar al doilea impuls tot după  $60^\circ$  electrice în aceeași ordine.

Al doilea impuls pentru același tiristor este necesar pentru reîntrirea în conducție cu cel de-al doilea tiristor cu care trebuie să conducă simultan.

Durata impulsului de comandă trebuie să fie egală cu timpul în care curentul prin tiristor scade la valoarea de amortizare. Această durată este determinată de parametrii  $R_g$  și  $C_g$  (Fig. 86).

După cum s-a văzut, amplitudinea și durata impulsului de comandă sunt egale la momentul în care pentru fiecare tiristor în parte prin intermediul blocului de comandă. În cazul de față rezultă că



fiecare tiristor conduce pe o durată de  $120^\circ$  electrice și este blocat pe un interval de  $240^\circ$  electrice în cadrul unui ciclu de  $360^\circ$  electrice.

c) În caz de avarie sau oprire a instalației, fiecare circuit integrat  $\beta$ AA-145 este prevăzut cu un pin (pinul 6) pentru blocarea impulsurilor de comandă. Aceasta se realizează prin scurtcircuitarea colectorului cu emiterul tranzistorului  $T_3$  (fig.60), blocând astfel bascularea circuitului basculant bistabil.

În cazul instalației realizate, blocarea impulsurilor se poate face de către sistemul de reglare și protecție.

În acest scop, cele trei circuite integrate trebuie să fie blocate simultan. Pentru aceasta sînt necesare trei ieșiri de la sistemul de reglare și protecție, care să acționeze sincron. Acest fapt însă complică sistemul de blocare a impulsurilor de comandă.

Pentru a elimina acest dezavantaj, s-a recurs la abandonarea acestui mod de blocare și înlocuirea sa cu un procedeu ce constă în schimbarea tensiunii de pe tranzistoarele finale  $T_{21}$  și  $T_{22}$  (fig.57). Acest procedeu se realizează cu ajutorul unui montaj compus din două rezistoare și două diode legate la pinii 10 și 14, așa cum rezultă din fig.55.

d) Circuitul logic combinatorial (C.L.C.) dublează impulsurile obținute la pinii 10 și 14.

Pentru a funcționa ai urii a tiristorelor, fiecare impuls de comandă trebuie să fie dublat de înălțime și defazat cu  $60^\circ$  electrice. Într-un circuit  $\beta$ AA145 nu permite acest lucru, s-a recurs la C.L.C. (fig.55).

La pinii 10 și 14 se obțin impulsuri de comandă defazate între ele cu  $120^\circ$  electrice. Impulsurile pinului 10 sînt defazate față de cei ai pinului 14 cu  $60^\circ$  electrice. Ca urmare, la fiecare  $60^\circ$  electrice apare un impuls de comandă.

Dublarea impulsurilor se realizează cu ajutorul circuitelor logice 3AC cu două intrări și o ieșire. Pe cele două intrări se plasează două ieșiri de la două circuite integrate: una de la pinul 10, iar cealaltă de la pinul 14, astfel încît să se realizeze defazajul de  $60^\circ$  electrice, între ele. Rezultatul este fel așa circuite, câte unul pentru fiecare tiristor comandat.

e) Impulsurile de comandă rezultate la pinii 10 și 14

sint de putere foarte mică, insuficientă pentru comanda tiristoarelor de putere folosite (tip 209 K). De aceea, este necesar este un amplificator de putere pentru fiecare tiristor comandat.

În acest scop, după cum rezultă din figura 55 s-au folosit transistoarele  $T_{9-14}$ ,  $T_{15-20}$ , diodele  $D_{40-51}$  de tipul indicat pe figură, precum și o serie de rezistoare și condensatoare a căror valori rezultă de asemenea din figură.

Totodată se precizează că este necesară separarea galvanică a circuitelor de comandă din circuitele de forță ale tiristoarelor, din două motive:

- de a elimina pericolul distrugerii blocului de comandă în urma apariției unei tensiuni mari accidentale pe elementele semiconductoare ale motorului;

- necesitatea de a dispune de gaze circuite independente de comandă a tiristoarelor inverterului.

Separarea galvanică se realizează prin transformatoarele de impuls TR5-10.

Tipul elementelor semiconductoare este notat pe figură.

Cifrele din dreptul rezistoarelor respectiv condensatoarelor, indică valoarea rezistenței electrice în  $\Omega$  sau  $k\Omega$  respectiv capacității în  $\mu f$ .

3.2.2. Sistemul de reglare și protecție, prezentat în figura 60 se compune din următoarele circuite:

- a) Circuit de reglare și limitare a curentului din inverter;
- b) Circuit de comandă a pornirii și protecție.

a) Primul circuit este situat în partea de sus a figurii și are în componență următoarele componente electronice principale: circuitul integrat CI3, potențiometrul P, transistoarele  $T_4$  și  $T_5$ , rezistoarele semireglabile  $R_3, R_4$  și  $R_5$ . Acest circuit compară valoarea prescrisă a curentului de potențiometrul P cu valoarea obținută de la transductorul de curent și furnizează o valoare corespunzătoare a tensiunii de comandă  $U_c$  a inverterului.

Transductorul de curent este format din trei transformatoare de curent TC1-3, puntea redresoare cu diodele  $D_7-12$

(fig.59d) și condensatorul de filtrare  $C_3$ .

Coefficientul de proporționalitate al traductorului se reglează cu ajutorul rezistorului sensibil  $R_2$ .

Circuitul de limitare a tensiunii de comandă  $U_c$  este compus din tranzistoarele  $T_4$  și  $T_5$  și o serie de rezistoare. Valorile limită ale tensiunii se pot stabili cu ajutorul rezistoarelor sensibile  $R_4$  și  $R_5$ .

b) Al doilea circuit se compune, în principal, dintr-un circuit integrat CI4 și un circuit bistabil format din tranzistoarele  $T_6$  și  $T_7$ .

Fiecare din cele două tranzistoare au în circuitul de colector ote o diodă laminiscentă  $D_{18}$  (verde), respectiv  $D_{19}$  (roșie) pentru sensibilizarea stării de funcționare sau blocare a tiristoarelor ce compun invertorul.

Colectorul tranzistorului  $T_6$  comandă prin intermediul tranzistorului  $T_8$  intrarea de blocare a circuitului de blocare a impulsurilor, în situația în care tranzistorul  $T_6$  este în stare blocată ( $D_{18}$  este stinsă, iar  $D_{19}$  aprinsă).

Starea circuitului basculant bistabil este determinată de poziția comutatorului de deblocare care prin intermediul condensatorului  $C_2$  aplică un impuls negativ la baza tranzistorului  $T_7$  blocându-l, respectiv punând în stare de conducție tranzistorul  $T_6$ . Această stare corespunde deblocării circuitului de comandă a tiristoarelor invertorului.

În cazul în care valoarea curentului din inverteor depășește valoarea corespunzătoare impusă prin intermediul rezistorului sensibil  $R_6$ , la ieșirea din circuitul integrat CI4 se obține un impuls negativ ce se aplică, prin intermediul condensatorului  $C_3$ , la baza tranzistorului  $T_6$ . Ca urmare, circuitul basculant bistabil se culcă, trecând în stare de blocare a tranzistorului  $T_6$  și în stare de conducție tranzistorul  $T_7$ , deci are loc blocarea impulsurilor de comandă a tiristoarelor invertorului.

Tipul elementelor semiconductoare este notat pe figură.

Cifrele din dreptul rezistoarelor respectiv condensatoarelor, indică valoarea rezistenței electrice în  $\Omega$ ,  $k\Omega$  sau  $M\Omega$ , respectiv capacitătes în  $\mu F$  sau  $pF$ .

**3.2.3. Sursa de tensiuni.** are rolul de a furnisa tensiunile de polarizare pentru circuitele electronice ale blocului de comanda.

Schema electrică a sursei este prezentată în figura 59.

Astfel, de la această sursă concepută, proiectată și realizată special pentru comanda instalației de încercare recuperativă a motoarelor asincrone, se obține: o tensiune continuă nestabilizată de 24 V (fig.59b), două tensiuni stabilizate simetrice față de masă de +12 V și -12 V (fig.59a), tensiunile de sincronizare de pe cele trei faze (fig.59c) și o tensiune proporțională cu curentul din inverter (fig.59d).

În vederea realizării practice a sursei s-au construit o serie de componente cum ar fi: transformatorul TR1 cu două secundare necesare pentru realizarea tensiunilor de  $\pm 12V$  și 24 V, transformatoarele TR2-4, necesare pentru tensiunile de sincronizare, o punte redresoare formată din diodele Zener  $D_{1-6}$ , necesară în același scop, precum și o punte redresoare compusă din diodele  $D_{7-12}$  necesară pentru transformatorul de curent.

În continuare, se prezintă componentele electronice din care se compune sursa în scopul realizării tensiunilor necesare.

Astfel, pentru obținerea tensiunilor stabilizate de  $\pm 12 V$  s-a folosit unul din secundarele transformatorului TR1 la care se măsoară 24V, puntea redresoare de tipul 3PK1, un circuit integrat C11, un amplificator de eroare C12, un transistor de putere  $T_1$ , două transistoare complementare  $T_2$  și  $T_3$ , două diode Zener  $D_{13}$  și  $D_{14}$ , rezistoare și condensatoare, după cum rezultă din figură .

Circuitul integrat C11 împreună cu transistorul  $T_1$  alcătuiesc blocul stabilizator.

Filtrarea acestei tensiuni se realizează prin intermediul condensatoarelor electrolitice  $C_4$ ,  $C_5$  și  $C_6$ .

Pentru realizarea tensiunii nestabilizate de 24V se folosește puntea redresoare de tipul 3PN05 și condensatorul  $C_7$ , necesar pentru filtrare.

Sursa tensiunilor de sincronizare e formată transformatoarele TR2-4 și puntea redresoare compusă din diodele  $D_{3-6}$ .

Pentru obținerea tensiunii proporționale cu curentul din inverter s-au folosit transformatoarele de curent TC1-3 și puntea redresoare formată din diodele  $D_{7-12}$ .

Tipul elementelor semiconductoare este notat pe figură.

Cifrele din dreptul rezistoarelor respectiv condensatoarelor indică valoarea rezistenței electrice în  $\Omega$  sau  $k\Omega$ , respectiv capacitățile în  $\mu F$ .

#### Capitolul 4

### VALIDAREA EXPERIMENTALĂ ȘI EFICIENȚA ECONOMICĂ A INSTALAȚII RECUPERATIVE PROPUSE

#### 4.1. Validarea experimentală a instalației

În vederea confirmării studiului teoretic efectuat precum și pentru a obține o informație precisă cu privire la comportarea în practică a instalației realizate, autorul a determinat o serie de caracteristici semnificative și utile.

Testarea experimentală a instalației s-a efectuat în cazul încercării a trei tipuri de motoare asincrone de puteri diferite (10 kW, 16 kW și 32 kW).

În scopul încercării motorului de 10 kW, doctorandul, cu ajutorul personalului tehnic ajutat și al studenților, în cadrul orelor de activitate de cercetare și proiectare, a realizat un stand în Laboratorul D04 de la Facultatea de Electrotehnică din Iași.

Pentru încercarea motoarelor de 16 kW și 32 kW a fost utilizat standul de încercare mașini rotative din cadrul Întreprinderii Electroputere din Craiova, unde s-a realizat instalația respectivă. Se menționează că și în acest caz blocul de comandă al instalației a fost cel de la încercarea motorului de 10 kW.

În cele ce urmează se vor prezenta caracteristicile determinate în cazul încercării celor trei tipuri de motoare asincrone, condițiile în care au fost ridicate aceste caracteristici, precum și variantele de folosire a instalației.

Astfel, în cazul motorului asincron de 10 kW se consemnează următoarele:

Tipul motorului : ASI 160 S

$U_{1N} = 380 \text{ V}$ ;  $I_{1N} = 20,1 \text{ A}$ ;  $P_N = 10 \text{ kW}$ ;  $\cos \varphi_N = 0,86$ ;  $n_N = 1440 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$

Motorul a fost încercat în cele mai frecvente condiții de funcționare și anume:

1.  $U_1 = \text{const.}$ ;  $f_1 = \text{const.}$ ;  $U = \text{const.}$ ;  $n = \text{const.}$

2.  $U_1 = \text{const.}$ ;  $f_1 = \text{const.}$ ;  $U = \text{const.}$ ;  $n = \text{const.}$

unde:  $U_1$  și  $f_1$  sînt tensiunea și frecvența de alimentare a motorului;

$U$  - tensiunea de la bornele generatorului asincron;

$n$  - turația motorului.

În cele două condiții de încercare, variația mărimilor motorului încercat este identică, întrucît tensiunea  $U$  afectează sămăi mărimile din nodul  $V$  al instalației.

Această tensiune scade (prin frecvență) odată cu încercarea motorului datorită scăderii turației, după cum s-a precizat la capitolul 2 (pag. 34 ).

Menținerea acestei tensiuni la o valoare constantă, de obicei la valoarea nominală, se realizează prin scirirea intensității curentului de excitație al compensatorului asincron. Deci în acest caz are loc un consum suplimentar de energie necesar creșterii fluxului de excitație al compensatorului. Din acest punct de vedere condiția de încercare 2 este mai economică față de condiția 1, dar prezintă dezavantajul că scade stabilitatea de funcționare a instalației sub o anumită valoare a tensiunii  $U$ .

Astfel, în figura 63 s-au trasat curbele de variație ale tensiunilor  $U_1$  și  $U$ , precum și ale frecvențelor  $f_1$  și  $f_2$ , în funcție de cuplul la arborele motor. Se menționează că prin linii continue s-au reprezentat curbele corespunzătoare condiției 1 de încercare și cu linii întrerupte curbele corespunzătoare condiției 2.

În figura 64 s-a prezentat, corespunzător celor două condiții de încercare, variația puterii reactive  $Q_g$  debitată de compensatorul asincron, necesară câmpului magnetic învîrtitor din statorul generatorului asincron, precum și variația curentului de excitație  $i_g$  al compensatorului respectiv.

În figura 65 s-a reprezentat variația curentilor  $i_a$ ,  $i_f$

lor ce corespunde instalației:  $I_1$  - curentul absorbit de motor,  $I_2$  - curentul debitat de generator,  $I_s$  - curentul absorbit de compensatorul sincron, respectiv  $I$  - curentul din circuitul de recuperare, în funcție de cuplul de la arborele motor. Pe aceeași scară, s-a prezentat și unghiul de variație al unghiului de comandă  $\alpha$  al tiristarelor invertorului din cadrul motorului.

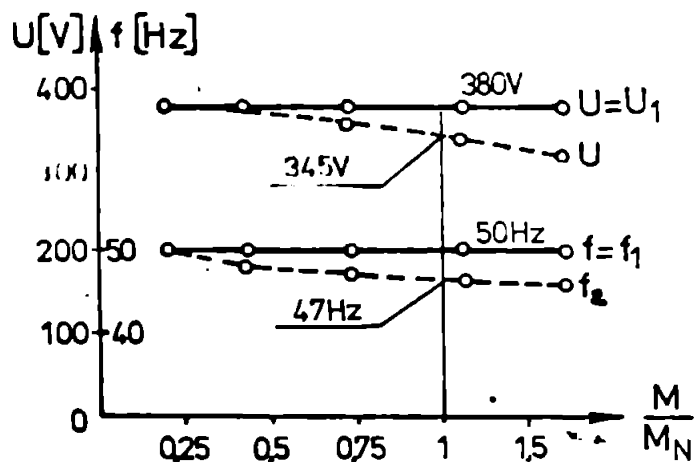


FIG. 63.

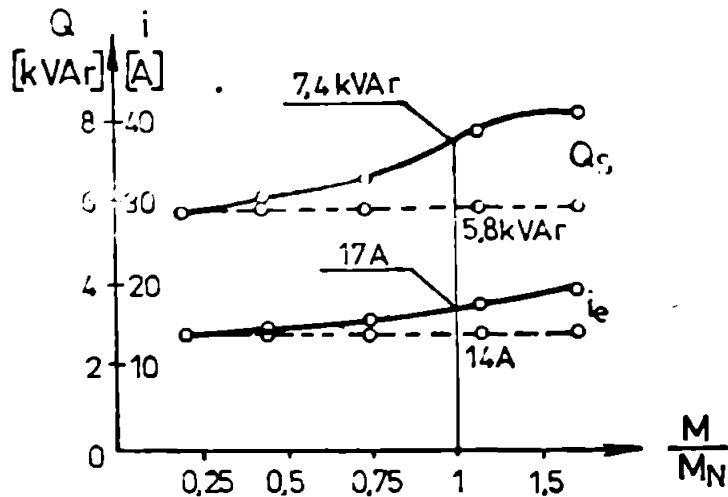


FIG. 64.

Pe lângă ceea ce observăm din figură, încercarea motorului a început de la nivelul în gol corespunzător încălzirii  $\frac{M}{M_N} = 0,2$  și s-a continuat până la sarcina de  $\frac{M}{M_N} = 1,36$ . Corespunzător

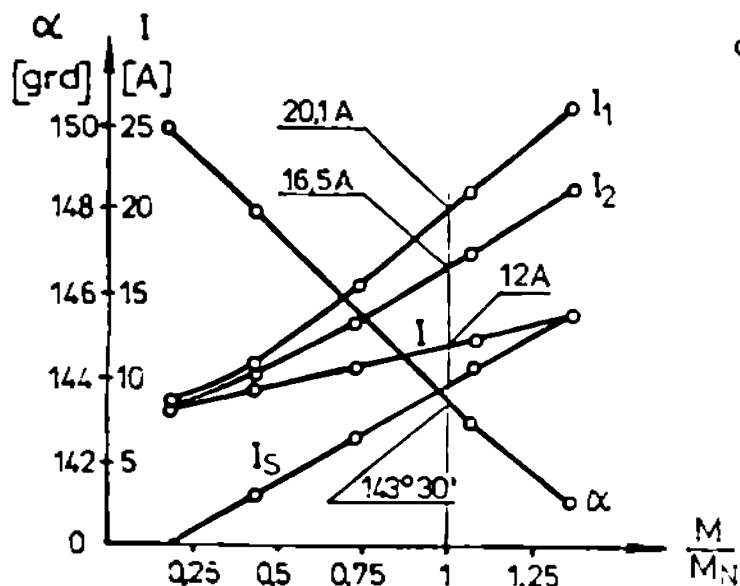


FIG. 65.

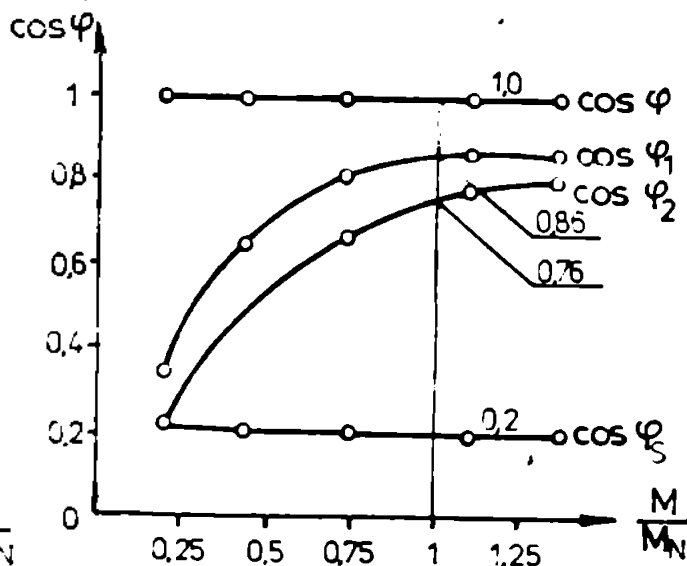


FIG. 66.

acestui interval, unghiul de comandă a variat de la valoarea de  $150^\circ$  până la  $141^\circ$ .

În figura 66 s-a prezentat variația factorilor de putere:  $\cos \varphi_1$  - al motorului asincron,  $\cos \varphi_2$  - al generatorului de în-circare,  $\cos \varphi_s$  - al compensatorului sincron,  $\cos \varphi$  - din cir-cuitul de recuperare, în funcție de cuplul la arborele motor.

In figura 67 s-au reprezentat variațiile turajilor asincroni:  $n_1$  - a motorului asincron,  $n_2$  - a generatorului asincron, a turajii motorului de încercare  $n$ , a alunecărilor:  $S_M$  - a motorului asincron, respectiv  $S_G$  a generatorului de încercare, în funcție de cuplul la arborele motor.

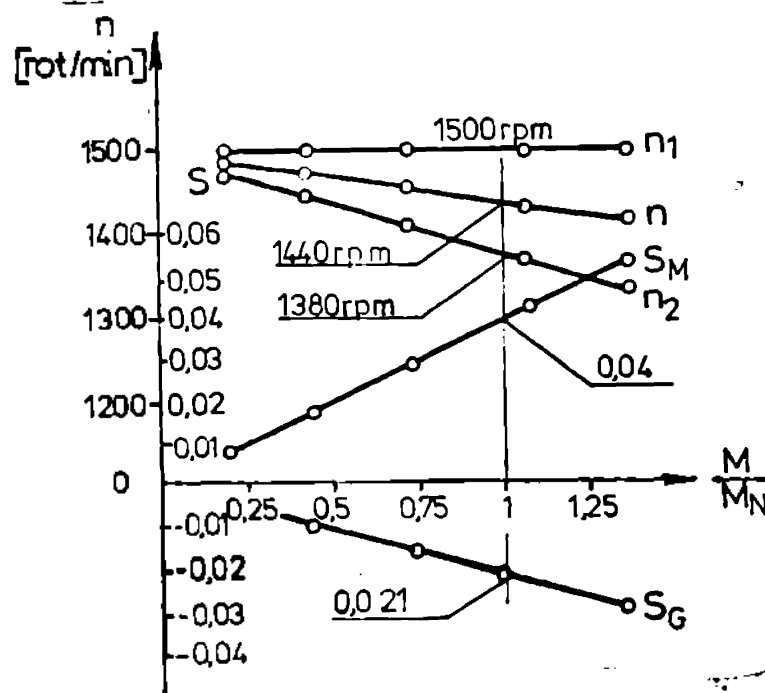


FIG. 67.

In figura 68 s-a prezentat variația puterilor:  $P_{MA}$  - puterea absorbită de motor,  $P_{GA}$  - puterea debitată de generatorul asincron;  $P_{CS}$  - puterea absorbită de compensatorul sincron;  $P$  - puterea din ramura de recuperare în nodul K;  $P_{F0}$  - puterea recuperată în cazul folosirii instalației de încercare recuperativă în varianta fără transformatoarele de adaptare  $T_1$  și  $T_2$  și fără rezistatul de sarcină  $R_g$ ;  $P_{F1}$  - puterea recuperată în cazul folosirii instalației în varianta cu un singur transformator ( $T_1$ );  $P_{F2}$  - puterea recuperată în cazul folosirii instalației cu ambele transformatoare  $T_1$  și  $T_2$ .

La încălcarea nominală a motorului sînt consemnate pe figură valorile corespunzătoare ale puterilor respective.

In figura 69 s-au reprezentat oscilografele tensiunii  $u_1$  și curenților  $i_1$  ale motorului încercat, la sarcina în gol. Din diagramă rezultă și valorile efective ale mărimilor respective, precum și valoarea unghiului de defazaj dintre cele două mrimi.

In figura 70 s-au prezentat oscilografele tensiunii  $u$  și curenților  $i_2$  și  $i_3$  din nodul K, la sarcina în gol. De a-



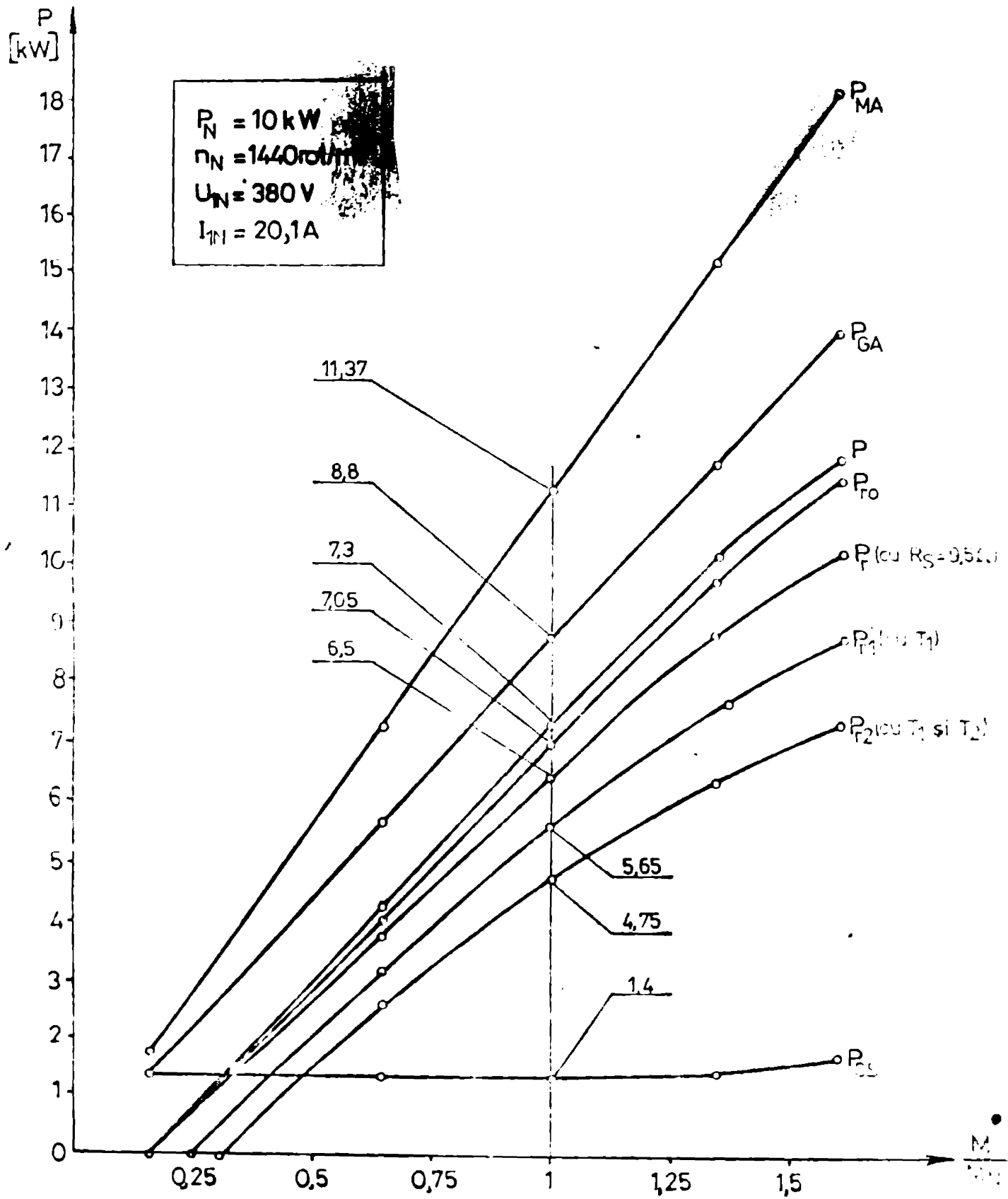


Fig 68

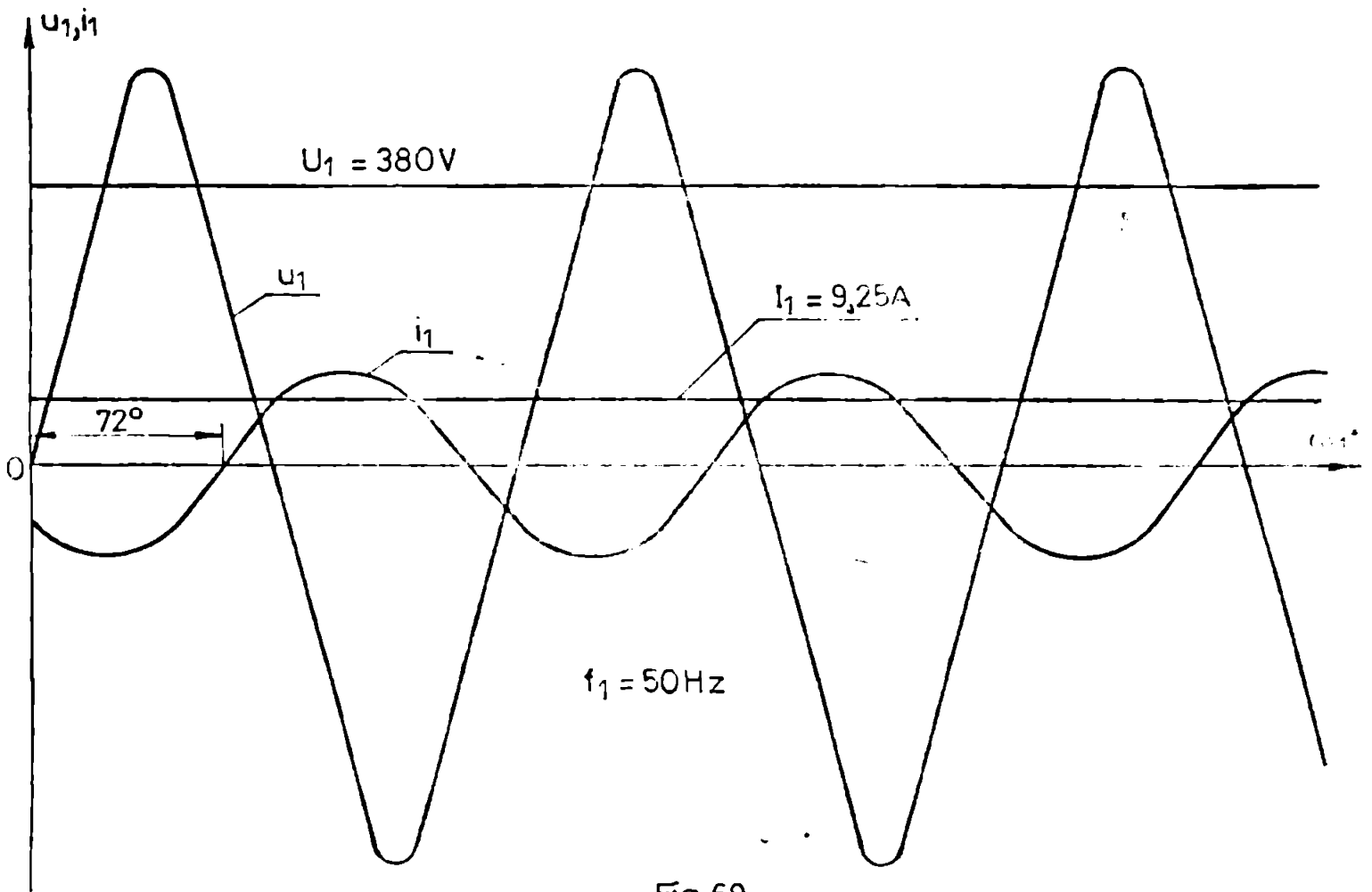


Fig. 69

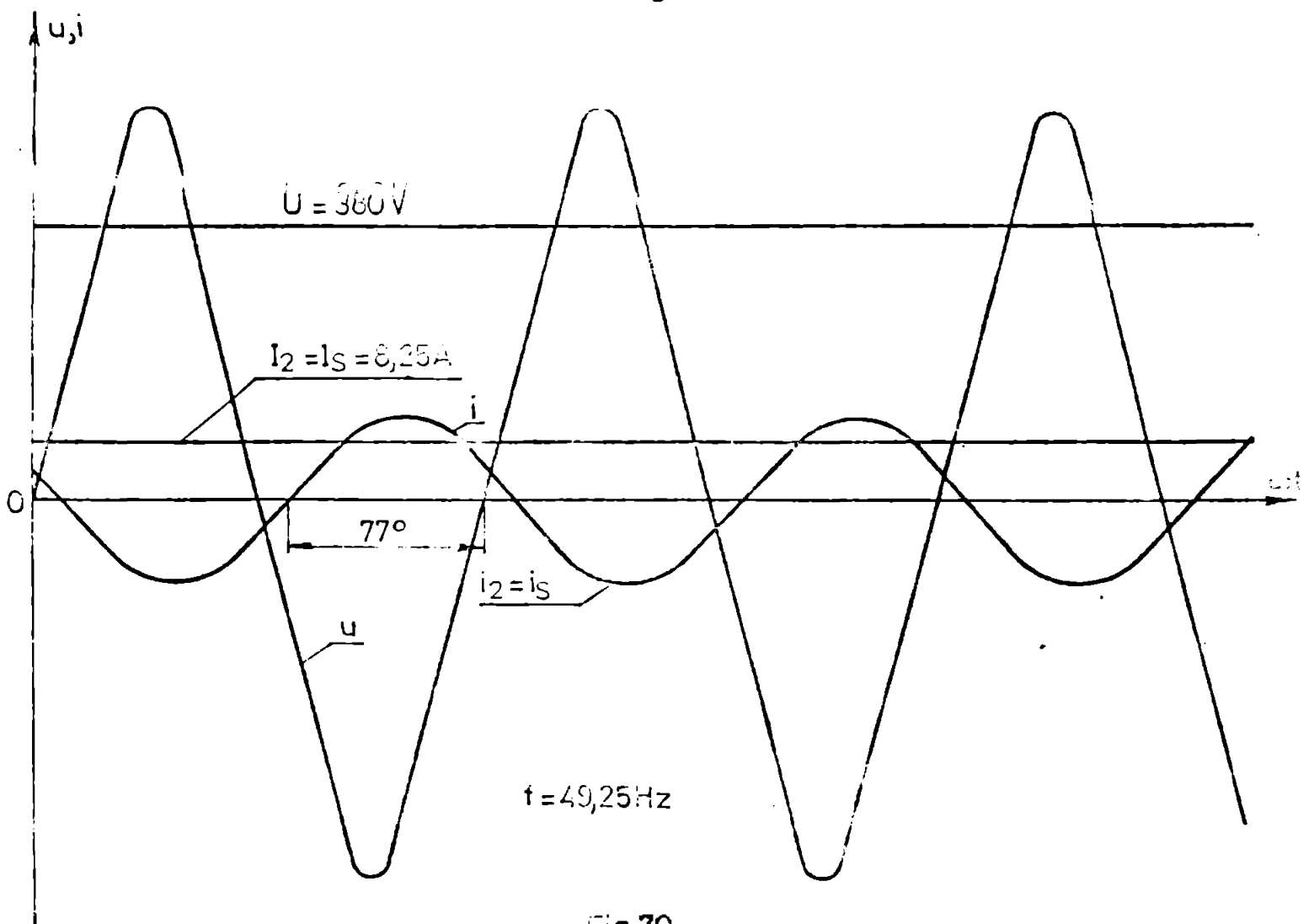


Fig. 70

acestea, din diagramă s-au rezultat valorile efective ale mărimilor respective, precum și valoarea unghiului de defazaj corespunzător și valoarea frecvenței tensiunii  $U_1$ .

În figura 71 s-au reprezentat oscilogramele tensiunii  $u_1$  și curentului  $i_1$  ale motorului încercat, la încărcarea maximă. De asemenea, din diagramă rezultă valorile efective ale mărimilor respective, precum și defazajul dintre cele două mărimi.

În figura 72 s-au prezentat oscilogramele mărimilor electrice:  $u$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  și  $i$  din nodul N, la încărcarea maximă a motorului. De asemenea din diagramă rezultă valorile efective ale acestor mărimi, precum și defazajele respective și valoarea frecvenței tensiunii din nodul N.

Scările la care sînt reprezentate oscilogramele din figurile 69-72 sînt după cum urmează: pentru curent : 1 cm = 1 A, iar pentru tensiune : 1 cm = 10 V.

În figura 73 s-a prezentat diagrama fasorială pentru cazul din figura 69.

În figura 74 s-a reprezentat diagrama fasorială pentru cazul din figura 70.

În figura 75 s-a prezentat diagrama fasorială pentru cazul din figura 71.

În figura 76 s-a reprezentat diagrama fasorială pentru cazul din figura 72.

În cazul motorului asincron de 16 kW se consensează următoarele:

Tipul motorului: MIP = 2

$$U_N = 368,208 \text{ V}; I_{2N} = 22,6 \text{ A}; P_N = 160 \text{ kW}; \cos \varphi_N = 0,75; n_N = 759 \frac{\text{rot}}{\text{min}}.$$

Motorul a fost încercat în următoarele condiții:

1.  $U_1 = \text{const.}; i_1 = \text{const.}; U = \text{const.}; n \neq \text{const.}$
2.  $U_1 = \text{const.}; i_1 = \text{const.}; U \neq \text{const.}; n \neq \text{const.}$
3.  $U_1 = \text{const.}; i_1 \neq \text{const.}; U \neq \text{const.}; n = \text{const.}$
4.  $U_1 = \text{const.}; i_1 \neq \text{const.}; U = \text{const.}; n = \text{const.}$
5.  $U_1 = \text{const.}; i_1 \neq \text{const.}; U/i_2 = \text{const.}; n = \text{const.}$

De altfel aceste condiții sînt specificate la capitolul 2 (pag. 39), unde se fac și unele precizări de detaliu, printre

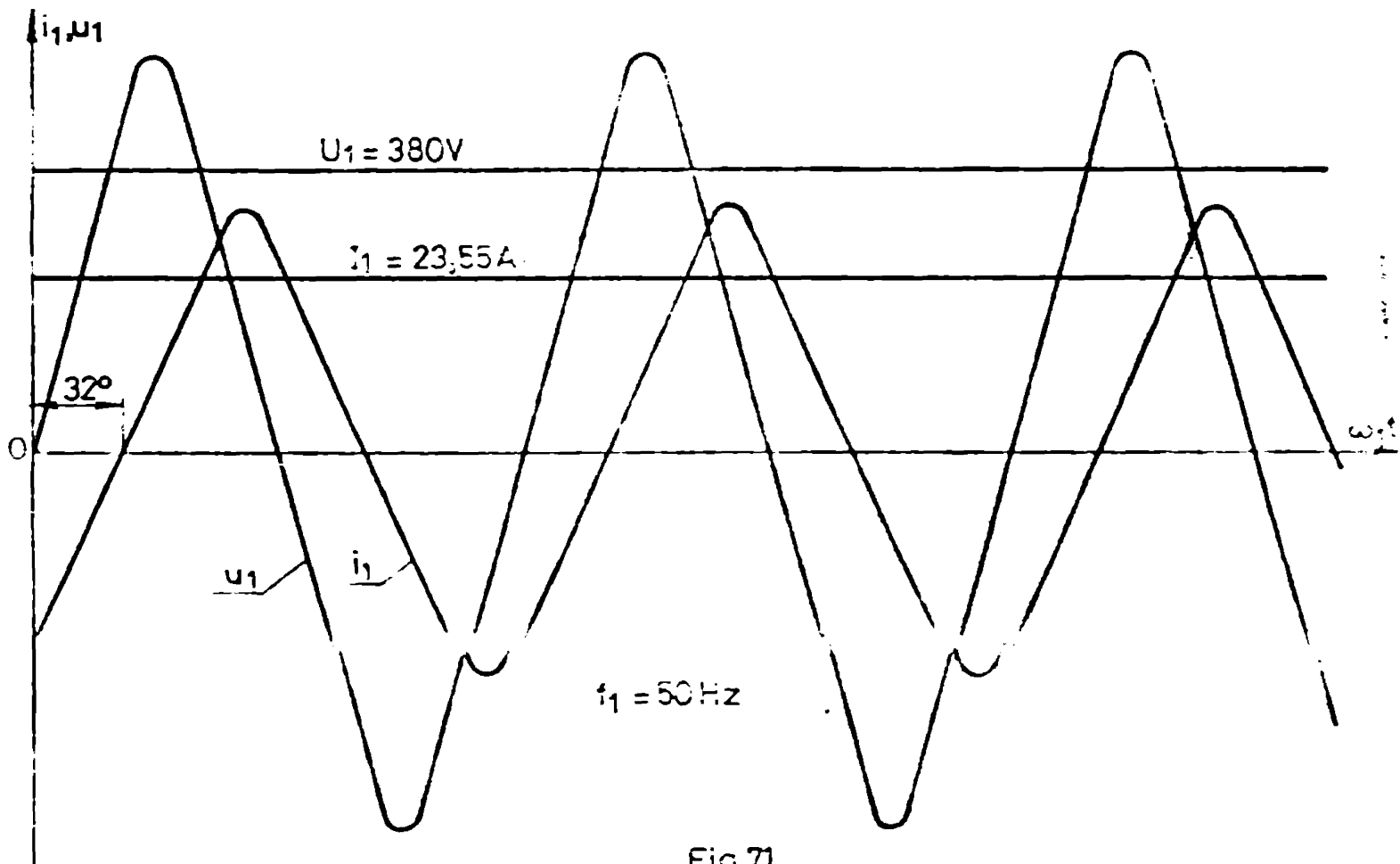


Fig. 71

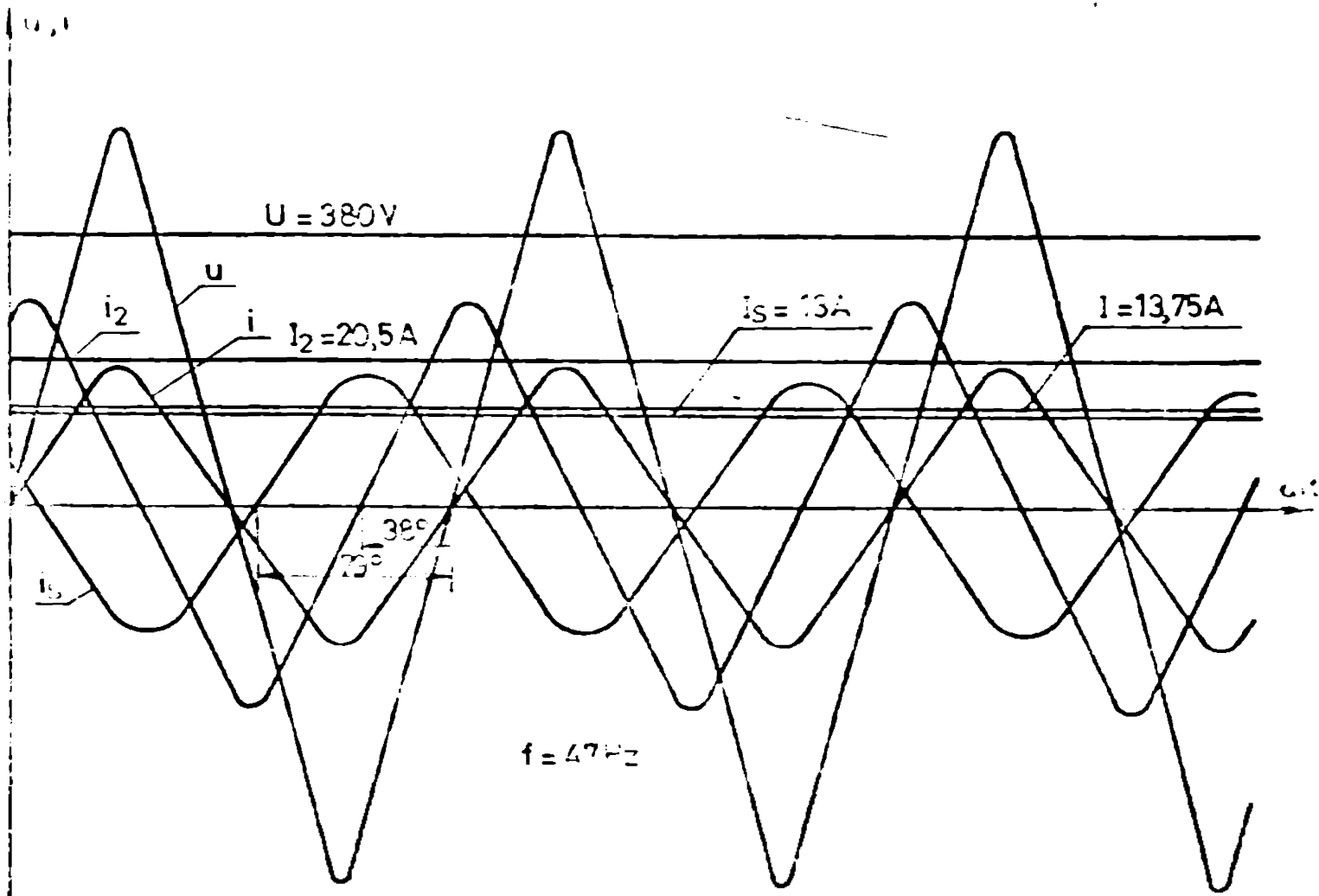


Fig. 72

care și în țara de aceste condiții sînt cele posibile, legate de situațiile în care poate fi pus să funcționeze un motor asincron.

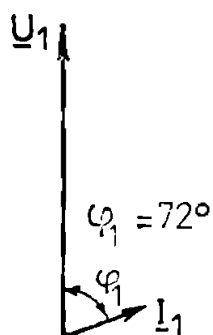


Fig. 73

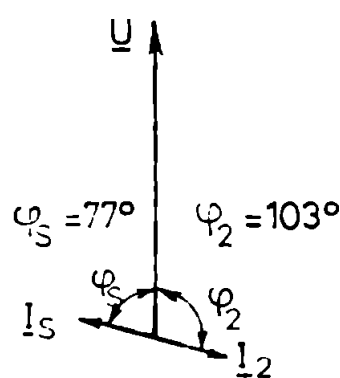


Fig. 74

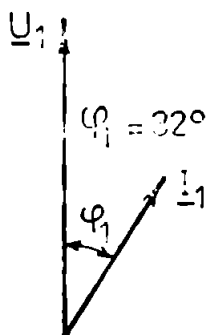


Fig. 75

Scara tensiunilor 1: 10  
curenților 1: 1

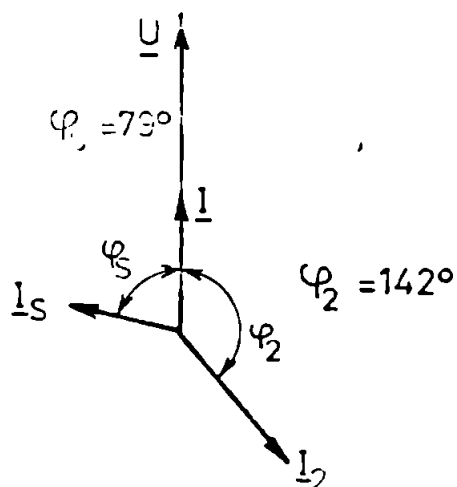


Fig. 76

Astfel, în figurile 77 și 78 sînt prezentate caracteristicile de funcționare ale motorului în cazul primelor două condiții de încercare, după cum urmează:

În figura 77 se reprezintă modul de variație al următoarelor mărimi: puterea absorbită  $P_1$ , curentul absorbit  $I_1$ , randamentul  $\eta_1$ , factorul de putere  $\cos \varphi_1$  și alunecarea  $s_1$ , în funcție de cuplul la arborele motor, iar în figura 78 variația mărimilor:  $f_1$  - frecvența tensiunii de alimentare,  $n_1$  - turația sincronă,  $n$  - turația și  $s_1$  - alunecarea, în funcție de aceeași mărime.

După cum am precizat și în cazul motorului de 1 kW, valoarea tensiunii  $U$  de la bornele generatorului de încercare, nu influențează caracteristicile motorului care se încercă.

Modul de variație al tensiunii  $U$ , în cazul celor două

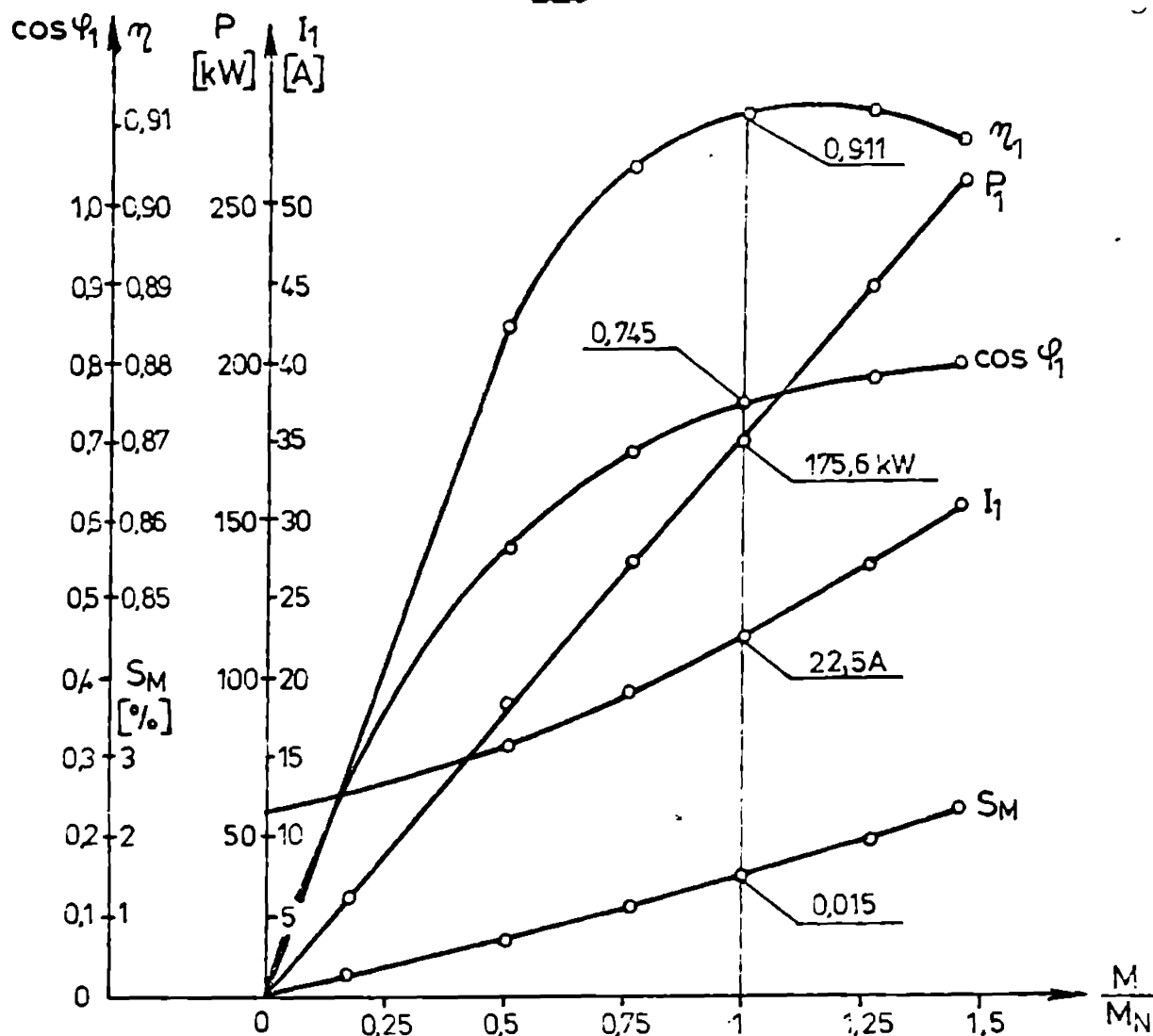


FIG. 77.

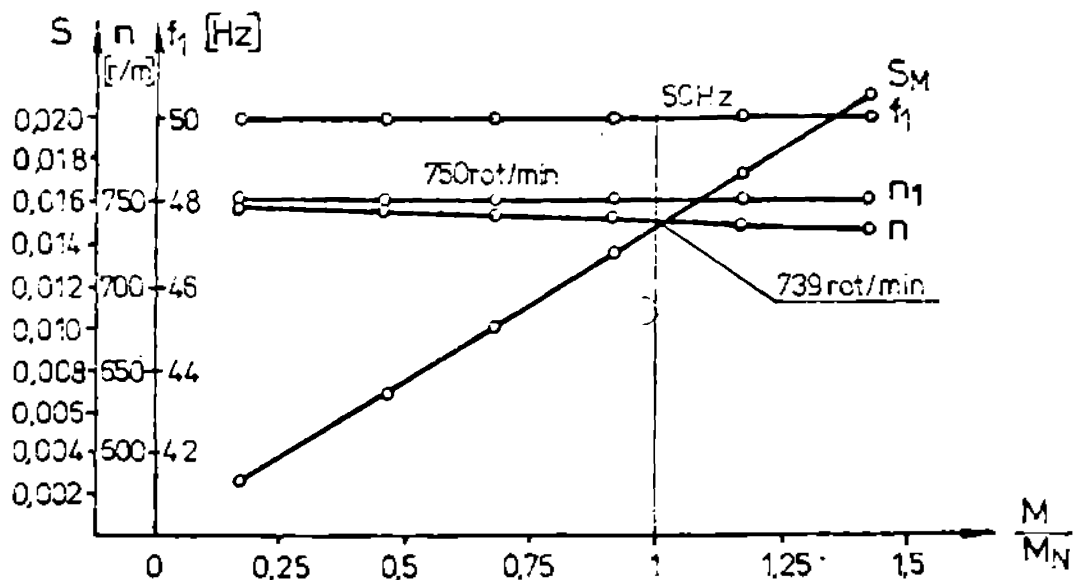


FIG. 78.

Condiții 1 și 2 de încercare se prezintă în figura 79.

Viteza constantă la care s-a realizat această tensiune, în primul caz de încercare, a fost de 6 kV, respectiv valoarea de la care s-a început încălzirea motorului în cazul condiției de încercare 2. Pe figură s-au notat caracteristicile cu cifrele 1 și 2, corespunzător celor două condiții de încercare ale motorului.

Din figurile 77 - 79 se observă că în procesul de încercare în condițiile 1 și 2, motorul a fost încercat de la sarcini

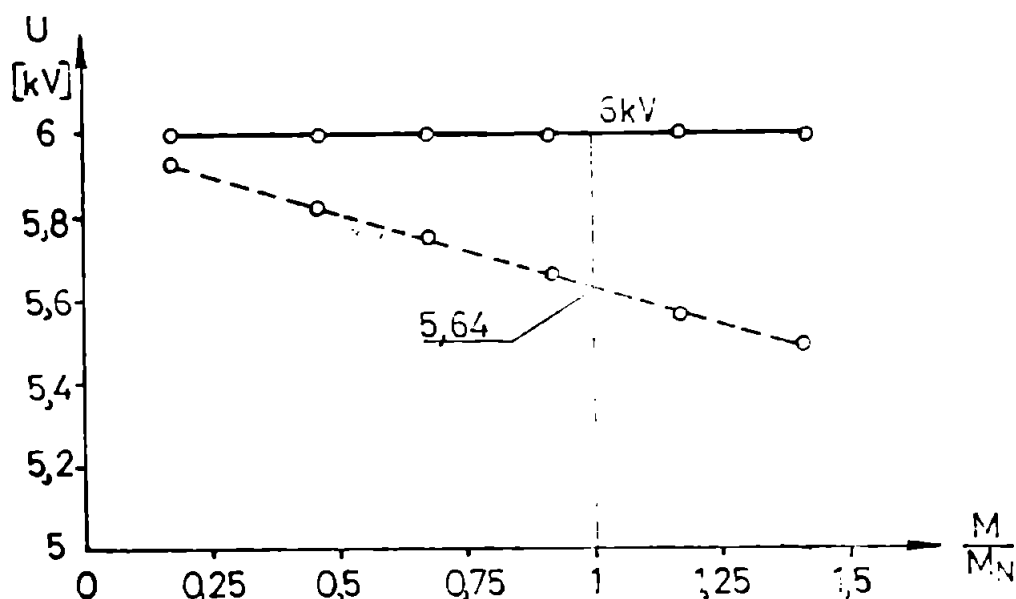


FIG. 79.

în gol corectunzător cuplului la sarcini de  $0,175 \frac{M}{M_N}$ , până la sarcini de sarcină  $1,5 \frac{M}{M_N}$ . În acest interval de încercare, în cazul condiției 2 de încercare, tensiunea  $U$  a variat de la valoarea de 5,93 kV la 5,49 kV.

Modul de variație al unghiului de comandă  $\alpha$  al tiristoarelor invertorului se reprezintă în figura 80. Se observă că în

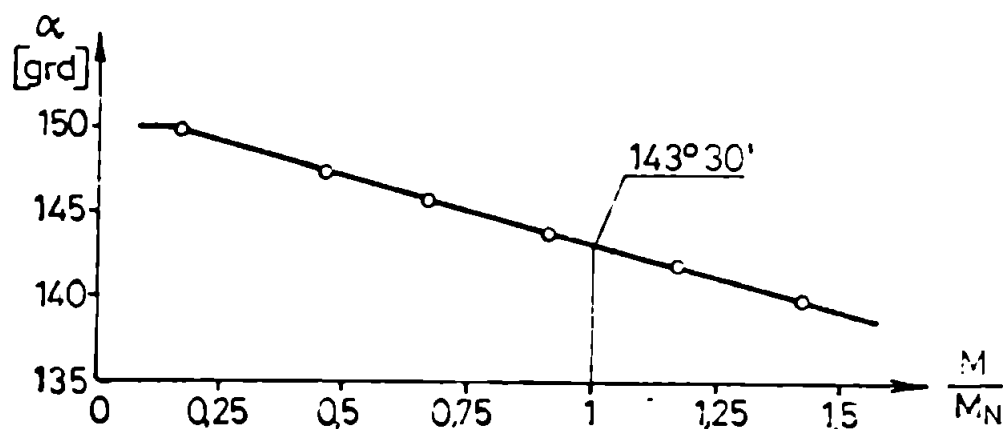


FIG. 80.

domeniul de modificare a încălzirii realizate, unghiul a variat de la valoarea inițială de  $150^\circ$  până la numai  $140^\circ$ . Aceasta se datorează faptului, ca și în cazul motorului de 10 kW, că gama de variație a curentului absorbit de motorul încercat este mică (de la 11,75 A la 31 A). Vom vedea la analiza motorului de 320 kW, o cu totul altă situație din acest punct de vedere.

În figura 81 se prezintă variația puterilor  $P_{2A}$  - puterea

absorbită de motor încercat;  $P_{GA}$  - puterea debitată de generatorul asincron;  $P_{C2}$  - puterea absorbită de compensatorul sincron;  $P$  - puterea din circuitul de recuperare în nodul N;  $P_{R0}$  - puterea recuperată în cazul variantei de folosire a schemei fără transformatoarele de adaptare  $T_1$  și  $T_2$ ;  $P_{R1}$  - puterea recuperată în cazul variantei de folosire a schemei cu transformatorul de adaptare  $T_1$ , cuplat între nodul N și motor;  $P_{R2}$  - puterea recuperată în cazul variantei de folosire a schemei de încercare cu ambele transformatoare de adaptare.

Pentru încercarea nominală sînt marcate pe figură valorile corespunzătoare ale puterilor. Se observă că cea mai mare cantitate de energie se recuperează în primul caz, iar cel mai puțin în altele două.

În figurile 82 și 83 se prezintă variația mărimilor din nodul N, în condiția de încercare 3, după cum urmează:

În figura 82 sînt reprezentate mărimile:  $U$  - tensiunea din nodul N,  $I_2$  - curentul debitat de generatorul asincron,  $I_3$  - curentul absorbit de compensatorul sincron, precum și  $I$  - curentul din ramura de recuperare.

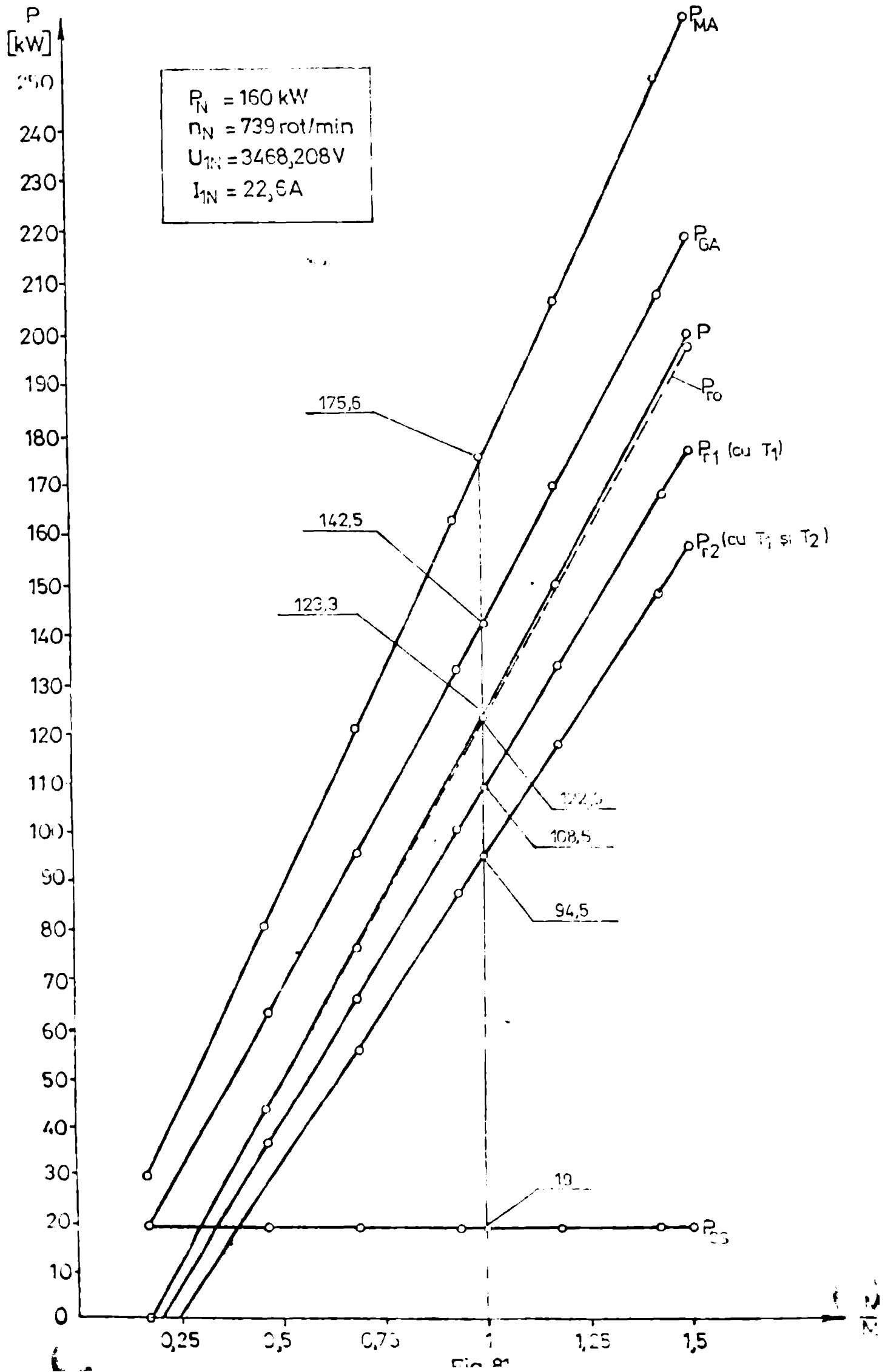
Pe linie continuă s-au trasat caracteristicile experimentale, iar punctat caracteristicile calculate.

În figura 83 sînt reprezentate celelalte mărimi din nodul N și anume:  $\cos \varphi$  - factorul de putere din ramura de recuperare,  $Q_1$  - puterea reactivă debitată de compensator,  $\cos \varphi_2$  - factorul de putere al generatorului asincron,  $P_2$  - puterea activă debitată de generatorul asincron,  $P$  - puterea activă din ramura de recuperare,  $Q_2$  - puterea reactivă absorbită de generator de la compensator, necesară creării cîmpului magnetic învîrtitor,  $Q_3$  - puterea reactivă absorbită de transformatorul de adaptare  $T_1$ , cuplat între nodul N și motor,  $\cos \varphi_3$  - factorul de putere al compensatorului sincron și  $P_3$  - puterea activă absorbită de compensator de la generatorul asincron.

Din prezentarea caracteristicilor de mai sus, rezultă că ele au fost determinate în cazul încercării motorului cu instalația de încercare în varianta cu un singur transformator de adaptare ( $T_1$ ).

În figura 84 se prezintă variația mărimilor:  $f_1$  - frecvența tensiunii  $U_1$  de alimentare a motorului ce se încercă,





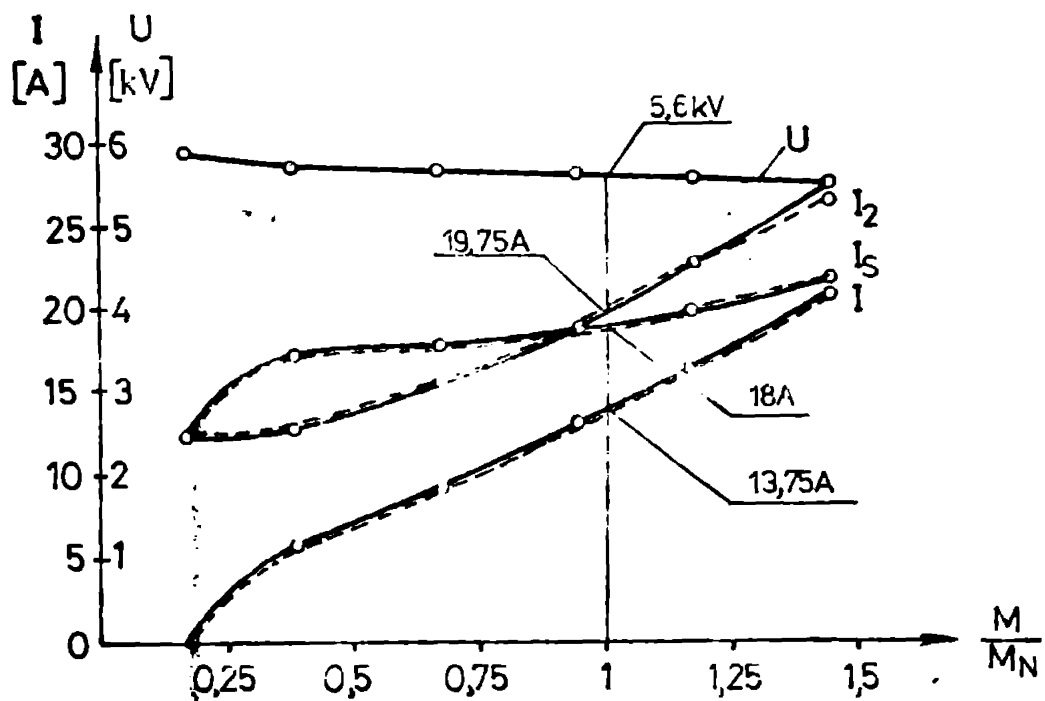


Fig.82

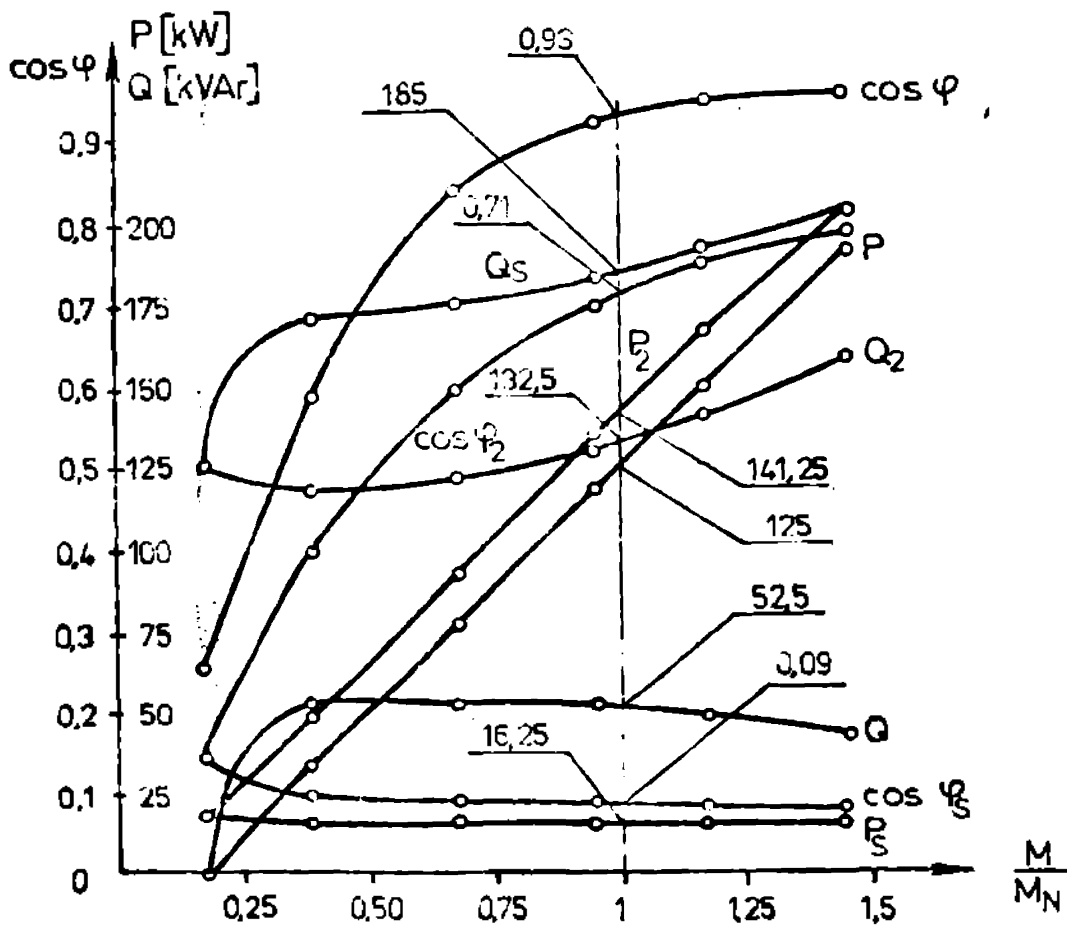


Fig.83

$f_2$  - frecvența tensiunii debitate de generatorul asincron,  $s_G$  - alunecarea generatorului,  $n_1$  - turația sincronă a motorului,  $n$  - turația motorului,  $n_2$  - turația sincronă a generatorului, în funcție de cuplul la arborele motor, în condițiile de încercare 3 și 4.

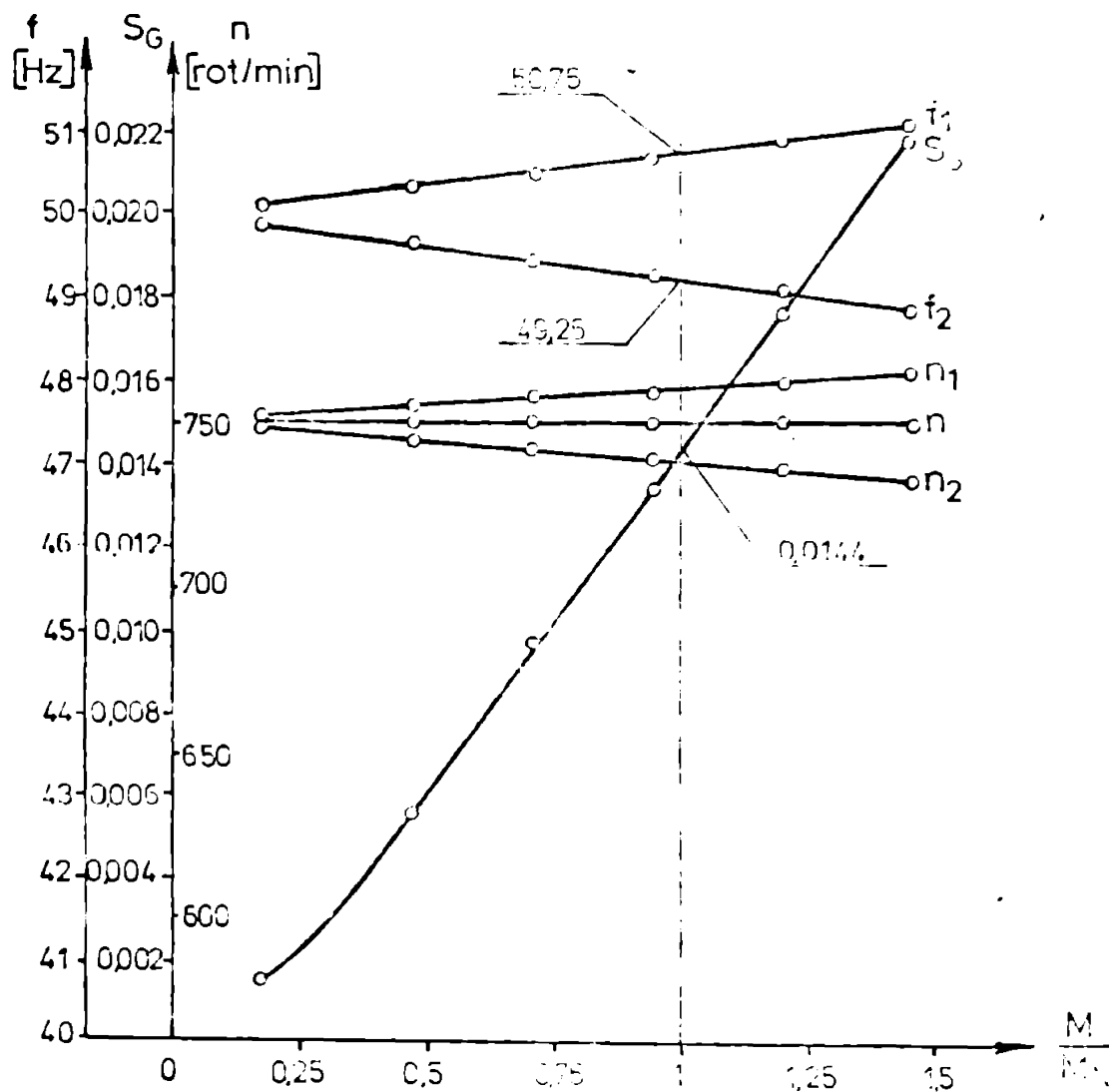


FIG . 84.

Din figură se observă modul de variație al frecvenței  $f_1$  în scopul menținerii constante a turației a motorului încercat la valoarea de 750 rot/min, care este oiaiar valoarea nominală a turației sincronice. După cum rezultă, este o variație crescătoare liniară cuprinsă între valsttile de 50,1 Hz și 51,1 Hz, în intervalul de la mersul în gol la sarcina maximă considerată. La înădroarea nominală valoarea acestei frecvențe este de 50,75 Hz.

În scopul realizării acestei modificări a frecvenței, s-a dispus, în cadrul Întreprinderii Electropulare din Craiova, de o sursă proprie care a permis acest lucru.

Scăderea frecvenței  $f_2$  se datorează încălzirii motorului prin scăderea turației acestuia și deci a generatorului. Pe intervalul considerat, această scădere se produce de la valoarea de 49,9 Hz la 48,9 Hz. La sarcina nominală corespunde valoarea de 49,25 Hz.

Correspunzător acestor variații ale frecvențelor  $f_1$  și  $f_2$  a rezultat, în consecință, și variația din figură a turațiilor sincrone  $n_1$  și  $n_2$ .

În figurile 85 și 86 se prezintă diagramele fasoriale ale tensiunilor și curenților din nodul N la mersul în gol, după cum urmează:

În figura 85 sînt prezentate mărimile calculate:  $U$  - tensiunea în nodul N,  $U_{e1}$  - tensiunea electromotoare de fază din statorul generatorului asincron,  $U_{e2}$  - tensiunea electromotoare polară a compensatorului sincron,  $I_g$  - curenții absorbiți de compensator,  $I_{e1}$  - curenții de fază la mersul în gol al generatorului,  $I_2$  - curenții de fază rotorici ai generatorului,  $I_1$  - curenții redus la stator,  $I=C$  - curenții din circuitul de recuperare.

În figura 86 se prezintă  $U$  și curenții  $I_g$  și  $I_2$  măsurați experimental.

Din diagramele respective se poate ușor observa că există o exactitate aproape perfectă cu privire la valoarea mărimilor cit și la defazajele respective.

Scara de reprezentare este după cum urmează:

$$10 \text{ mm} = 1 \text{ kV}$$

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ A}$$

În figurile 87 și 88 sînt reprezentate aceleași mărimi în nodul N, pentru încălzirea maximă considerată, în cazul 3 de încercare.

De asemenea și în acest caz se observă aceeași exactitate cu privire la mărimile calculate și cele măsurate, ceea ce atestă valabilitatea studiului teoretic întreprins cu privire la instalația propusă și realizată.

În figurile 89 și 90 se prezintă modul de variație al mărimilor în nodul N, în cazul condiției 4 de încercare după cum urmează:

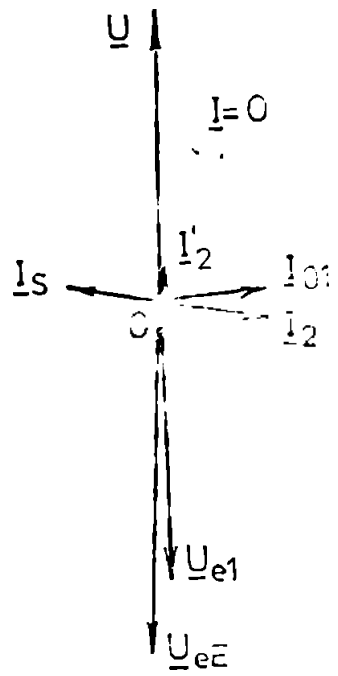


Fig. 85

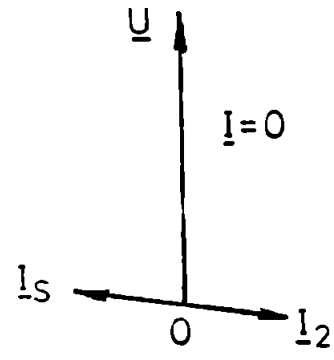


Fig. 86

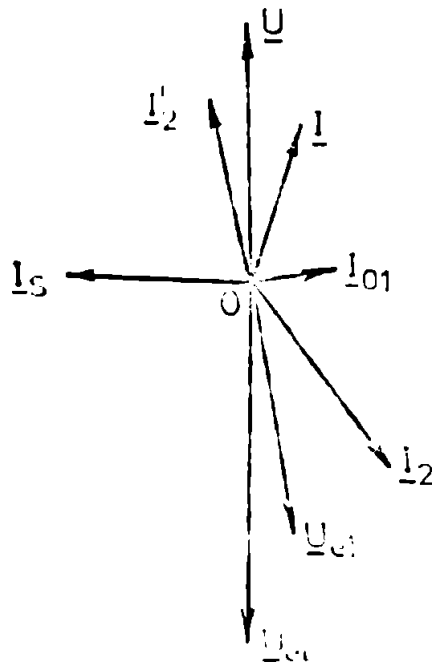


Fig. 87

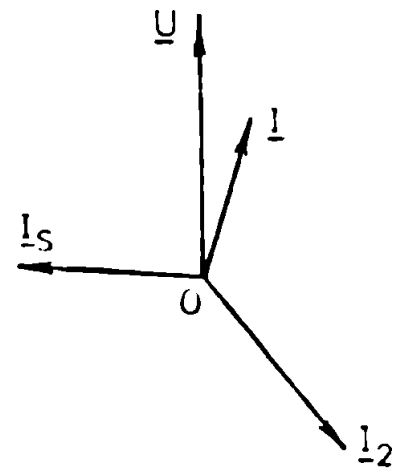


Fig. 88

In figura 89 sînt trase caracteristicile mîrimilor:  $U$  - tensiunea din nodul N,  $I_g$  - curentul absorbit de compensatorul sincron,  $I_g$  - curentul debitat de generatorul sincron,  $I$  - curentul din circuitul de recuperare. Tensiunea  $U$  este menținută la valoarea constantă de 6 kV.

Cu linie continuă sînt reprezentate curbele experimentale și punctat curbele calculate. Se observă că există o similitudine totală sub aspect valoric, în special la încălzirea fierului.

In figura 90 sînt trase curbele de variație ale următoarelor mîrimi:  $Q_g$  - puterea reactivă debitată de compensator,  $Q_g$  - puterea reactivă necesară creșterii cîmpului magnetic în virtutea din statorul generatorului,  $Q$  - puterea reactivă necesară fluxului magnetic absorbită de transformatorul de adaptare  $T_1$ ,  $P_g$  - puterea activă debitată de generator,  $P_g$  - puterea activă absorbită de compensator,  $P$  - puterea activă din circuitul de recuperare în nodul N,  $\cos \varphi$  - factorul de putere corespunzător circuitului de recuperare,  $\cos \varphi_g$  - factorul de putere al generatorului,  $\cos \varphi_g$  - factorul de putere al compensatorului.

Se observă că  $P_g$  - constant întrucît reprezintă puterea de antrenare, la mers în gol, a compensatorului.

Făcînd o comparație între caracteristicile reprezentate în figurile 90 și 89 rezultă că în timp  $Q_g$  în condiția 3 de încercare la sarcina maximă considerată (figura 89) ajunge la valoarea de 203,75 kVAR, în condiția 4 de încercare (figura 90), ajunge la valoarea de 270 kVAR. Aceasta se datorează faptului că în ultimul caz încercarea se efectuează la Dec constant, iar aceasta se obține prin creșterea curentului de excitație al compensatorului.

Și de data aceasta, ca și în cazul condiției 3 de încercare, se poate ușor deduce varianta de folosire a instalației de încercare și anume că este vorba de varianta cu un singur transformator de adaptare  $T_1$ , amplasat între nodul N și motor.

In figurile 91 și 92 se prezintă diagramele fazoriale ale mîrimilor din nodul N, la sarcina maximă considerată, în cazul condițiilor de încercare 4, după cum urmează:

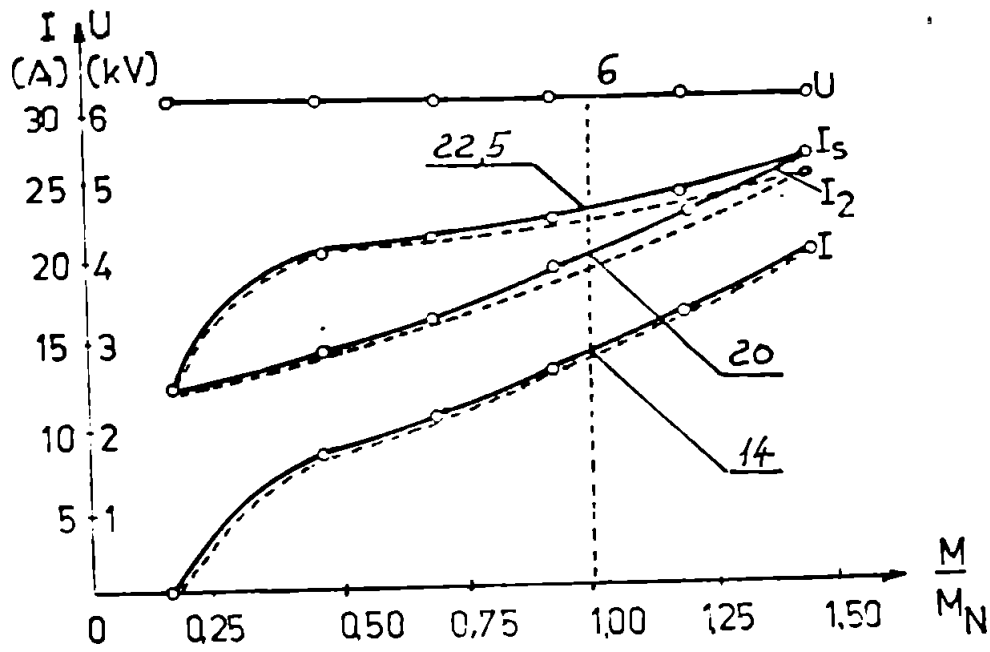


FIG. 89.

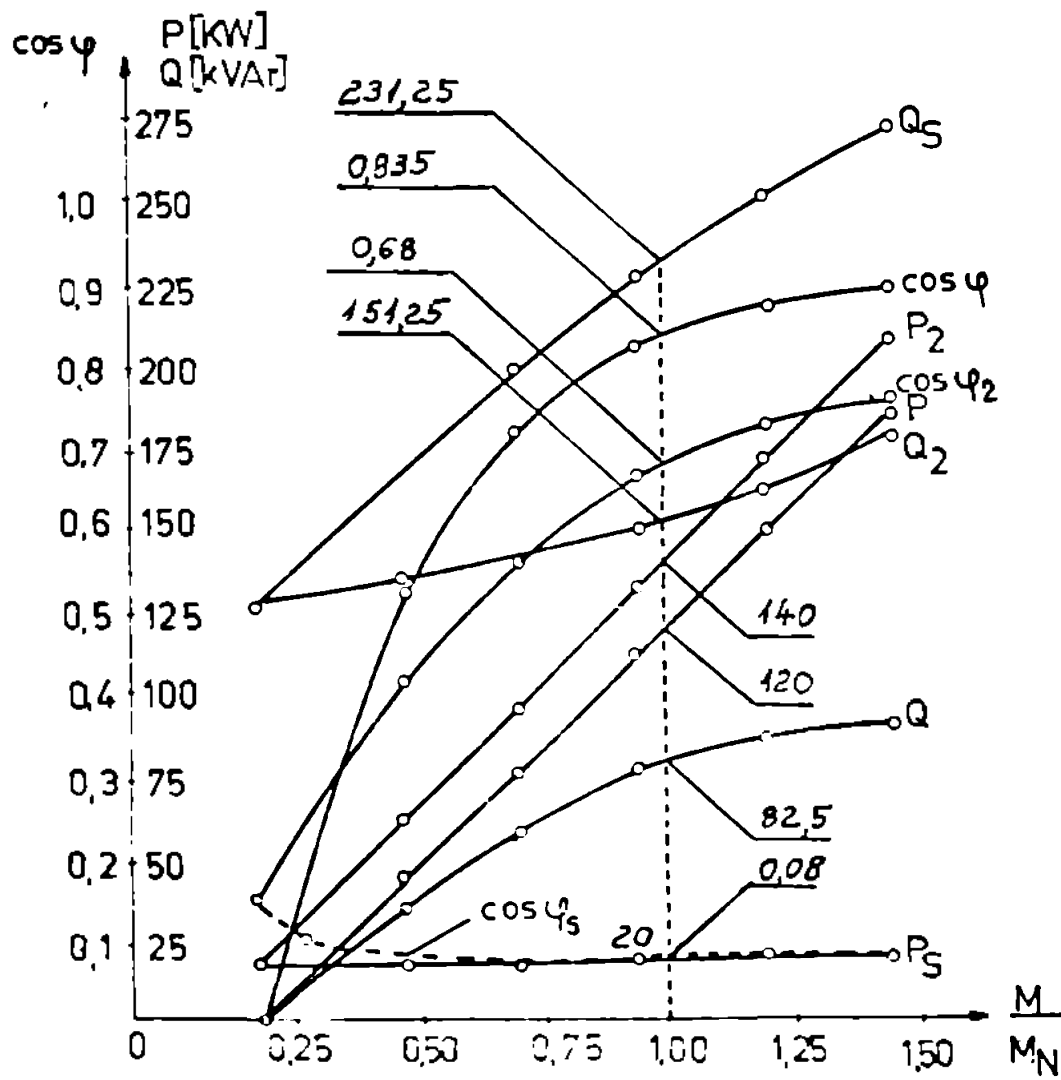


FIG. 9.

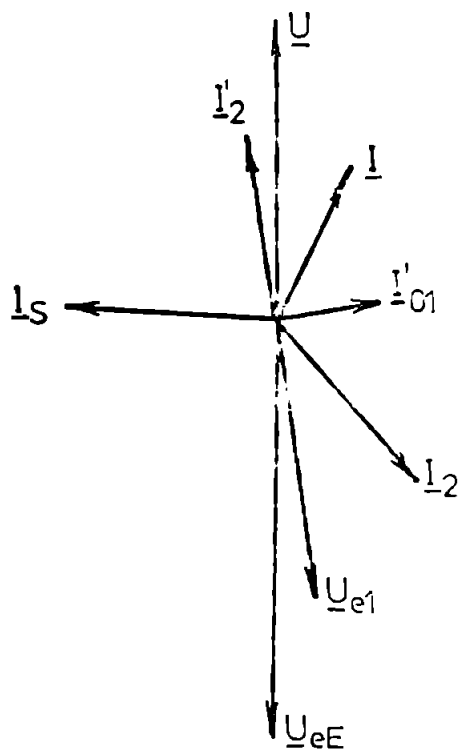


Fig. 91

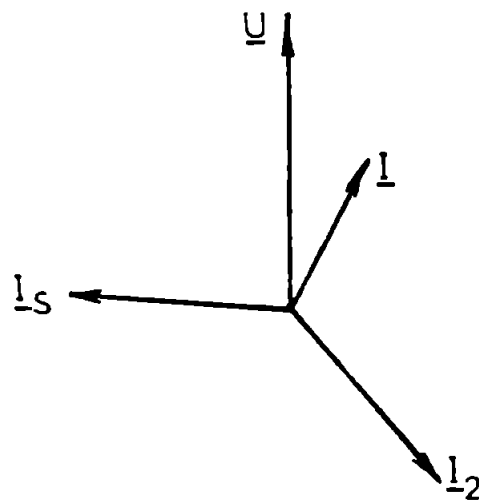


Fig. 92

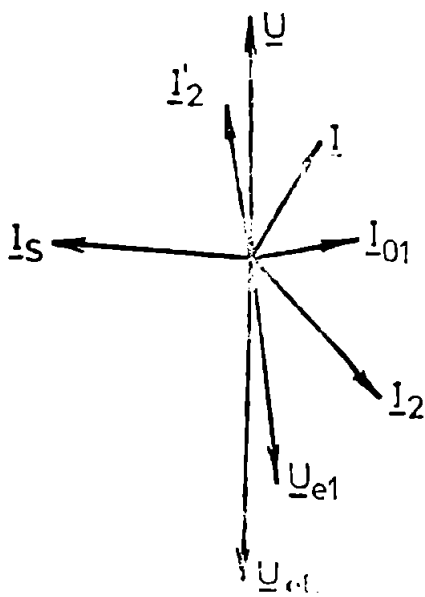


Fig. 93

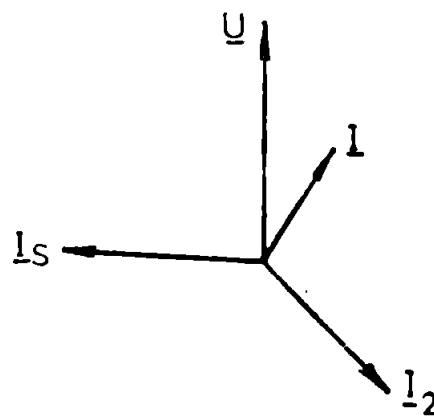


Fig. 94



În figura 91 este trasată diagrama mărimilor calculate, iar în figura 92 diagrama mărimilor măsurate experimental.

În figurile 93 și 94 sînt prezentate diagramele izocorice ale accelerației mării la sarcina maximă în nodul N, în cazul condițiilor 5 de încercare (pagina 113), după cum urmează: în figura 93 sînt reprezentate mărimile calculate, iar în figura 94 cele măsurate experimental.

Semnificația notațiilor mărimilor în aceste figuri este identică cu cea folosită în figurile 87 și 88, unde este vorba de aceeași mărime, dar în cazul condițiilor 3 de încercare.

Cu privire la calitatea rezultatelor obținute se poate trage concluzia că mărimile calculate sînt aproape identice cu cele măsurate experimental.

În figurile 95 și 96 se prezintă variația mărimilor în nodul N, în condițiile de încercare 5 (pagina 113), după cum urmează:

În figura 95 sînt reprezentate variațiile următoarelor mărimi:  $U$  - tensiunea în nodul N,  $I_g$  - curentul absorbit de compensatorul sincron,  $I_2$  - curentul debitat de generatorul asincron,  $I$  - curentul din circuitul de recuperare și  $M$  - cuplul la arborele motor, în funcție de  $a$  - turația motorului care se încercă.

Ca linie continuă s-au prezentat curbele mărimilor determinate experimental și punctat cele calculate. Din figură rezultă o apropiere suficient de bună a curbelor calculate cu cele experimentale.

În figura 96 sînt reprezentate variațiile mărimilor:  $Q_2$  - puterea reactivă debitată de compensator,  $Q_1$  - puterea reactivă absorbită de generator,  $Q$  - puterea reactivă absorbită de transformatorul de adaptare,  $P_1$ ,  $P_2$  - puterea activă debitată de generator,  $P$  - puterea activă din circuitul de recuperare,  $P_g$  - puterea activă absorbită de compensator,  $\cos \varphi$  - factorul de putere corespunzător circuitului de recuperare în nodul N,  $\cos \varphi_2$  - factorul de putere al generatorului,  $\cos \varphi_g$  - factorul de putere al compensatorului.

În figura 95 se constată că sarcina constantă la care s-a încercat motorul asincron a fost cea corespunzătoare unui cuplu la arbore de 2,45 kJ, respectiv  $M/M_g = 1,185$ .

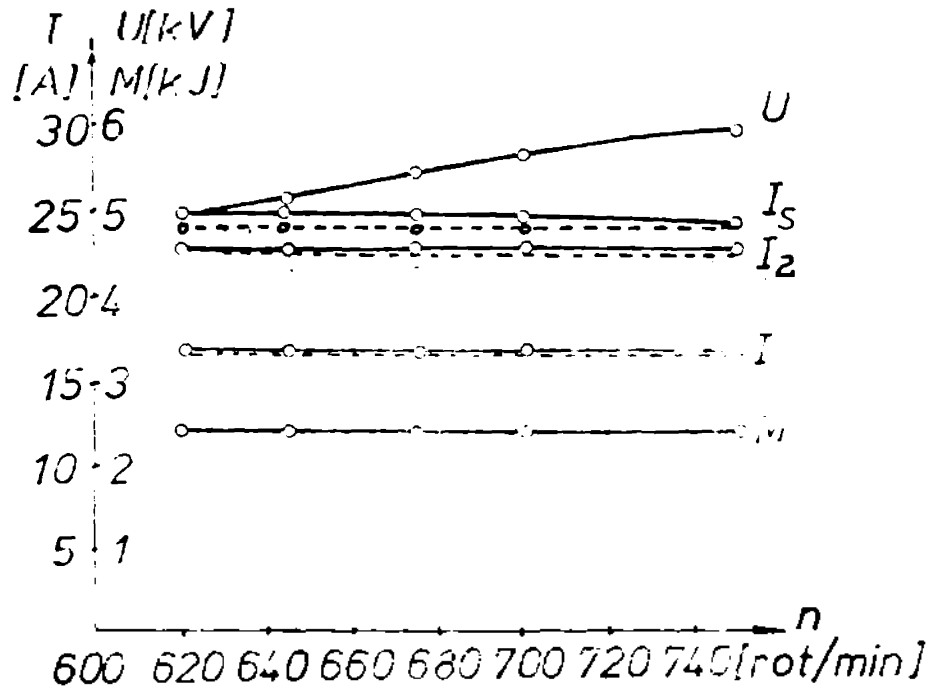


FIG. 95.

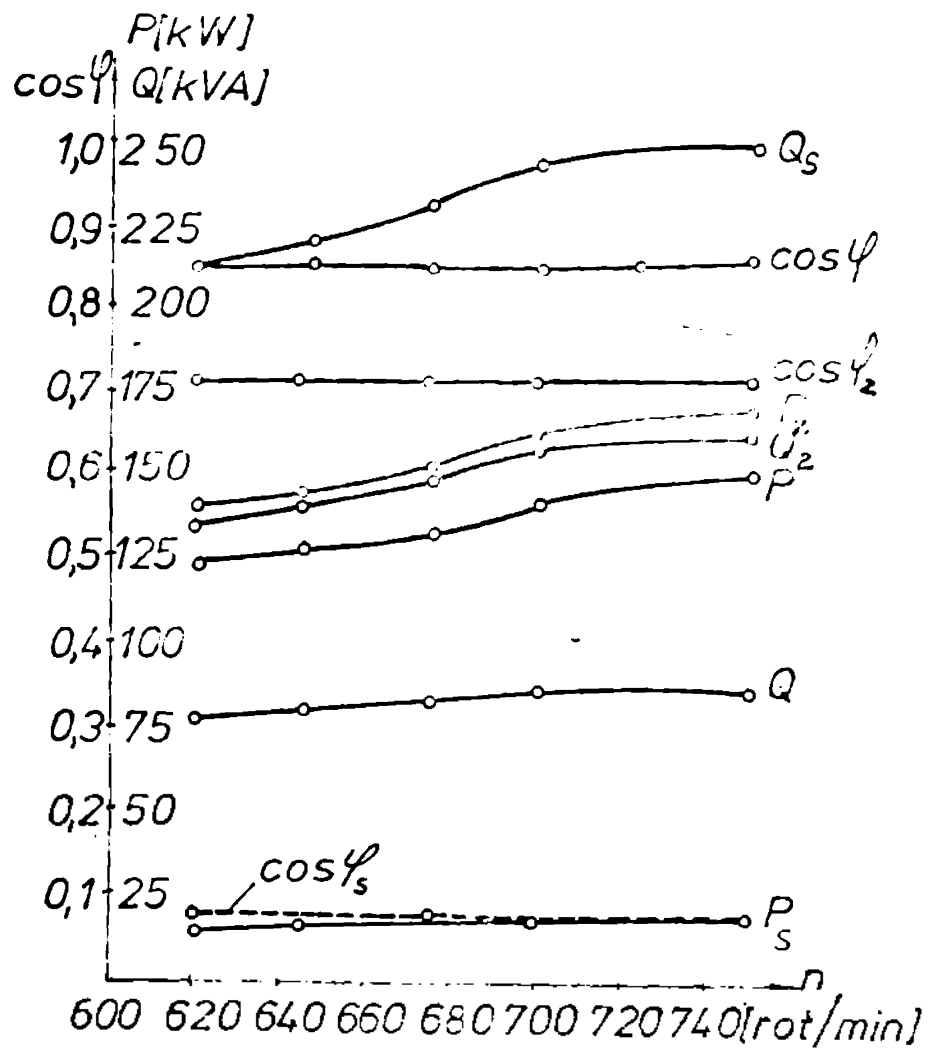


FIG. 96

În figura 97 se prezintă variația altor mărimi specifice în condițiile de încercare 5 după cum urmează:  $n_1$  - turația sincronă a motorului încercat,  $n_2$  - turația sincronă a generatorului asincron,  $s_M$  - alunecarea motorului asincron,  $s_G$  - alunecarea generatorului,  $f_1$  - frecvența tensiunii de alimentare a motorului încercat,  $f_2$  - frecvența tensiunii din nodul N.

După cum se observă din figură, alunecarea  $s_M$  s-a menținut la valoarea constantă de 0,0176, corespunzătoare sarcinii de  $M=1,185M_N$ .

În cazul motorului asincron de 320 kW se constată următoarele:

Tipul motorului: MUR 73-6  
 $U_{1N}=220$  V,  $I_{1N}=590$  A;  $P_N=320$  kW;  $\cos \varphi_{1N}=0,875$ ;  $\eta_{1N}=0,935$   
 $n_2=990$  rot/min.

Motorul a fost încercat în următoarele condiții:

$U_1 = \text{const.}$ ,  $f_1 = \text{const.}$ ,  $U = \text{const.}$ ,  $n \neq \text{const.}$

Se precizează că aceste condiții sînt, de altfel, cele mai frecvente în care funcționează un motor asincron, în diferitele procese de producție.

Astfel, în figura 98 sînt prezentate caracteristicile funcționale ale motorului încercat, după cum urmează:

$\eta_1$  - randamentul motorului,  $\cos \varphi_1$  - factorul de putere al motorului,  $I_1$  - curentul absorbit de motor,  $s_M$  - alunecarea motorului,  $n$  - turația motorului, în funcție de cuplul la arborele motor.

După cum se observă din figură, în procesul de încercare, motorul a fost încercat de la cîrful în gol al instalației corespunzător cuplului  $M = 0,256 M_N$ , la sarcina corespunzătoare cuplului de  $M=1,5 M_N$ .

De asemenea, la sarcina nominală ( $M/M_N=1$ ), s-au constatat pe figură valorile mărimilor reprezentate, ceea ce se va face și în cazul figurilor următoare.

În figura 99 se prezintă variația celor trei curenți din nodul N:  $I_2$  - curentul debitat de generatorul asincron,  $I_3$  - curentul din ramura de recuperare,  $I_4$  - curentul absorbit de generatorul sincron, în funcție de cuplul la arborele motor.

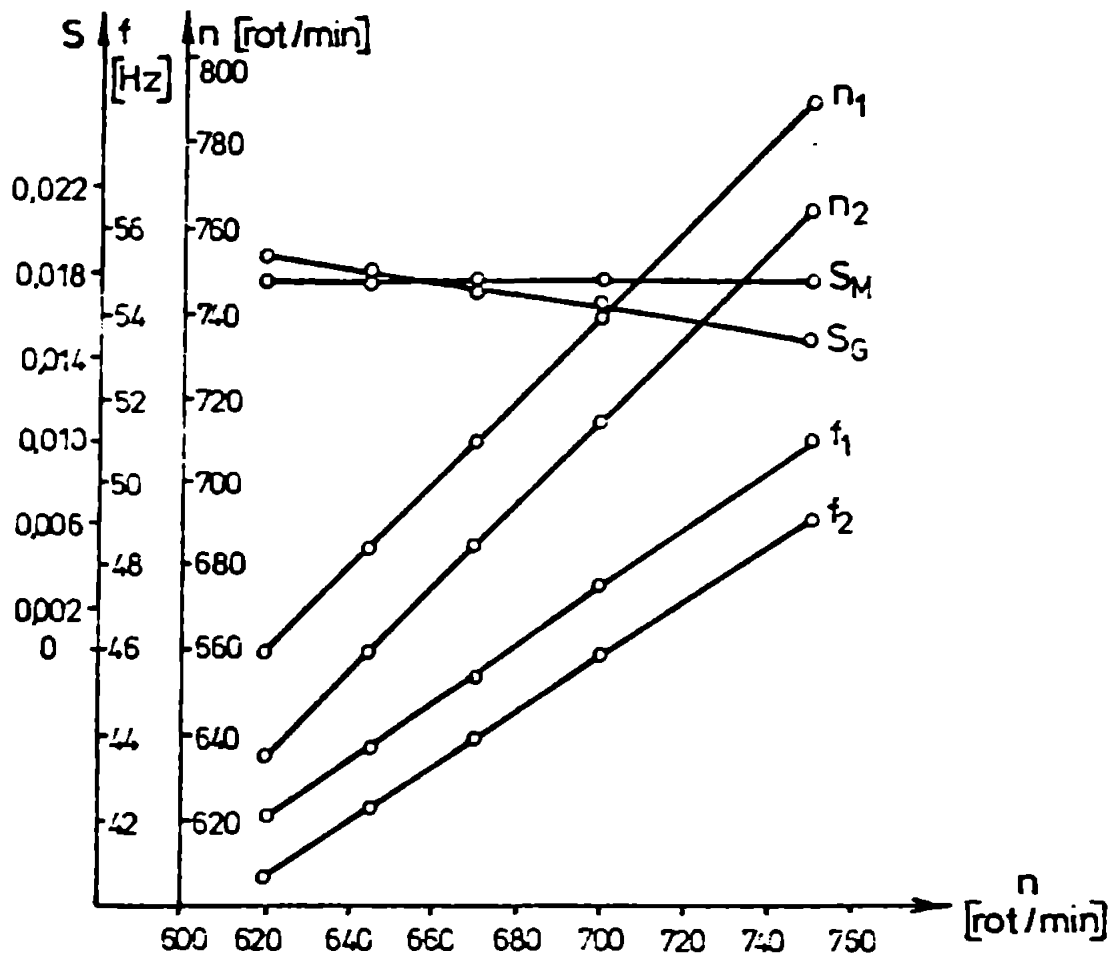


FIG. 97

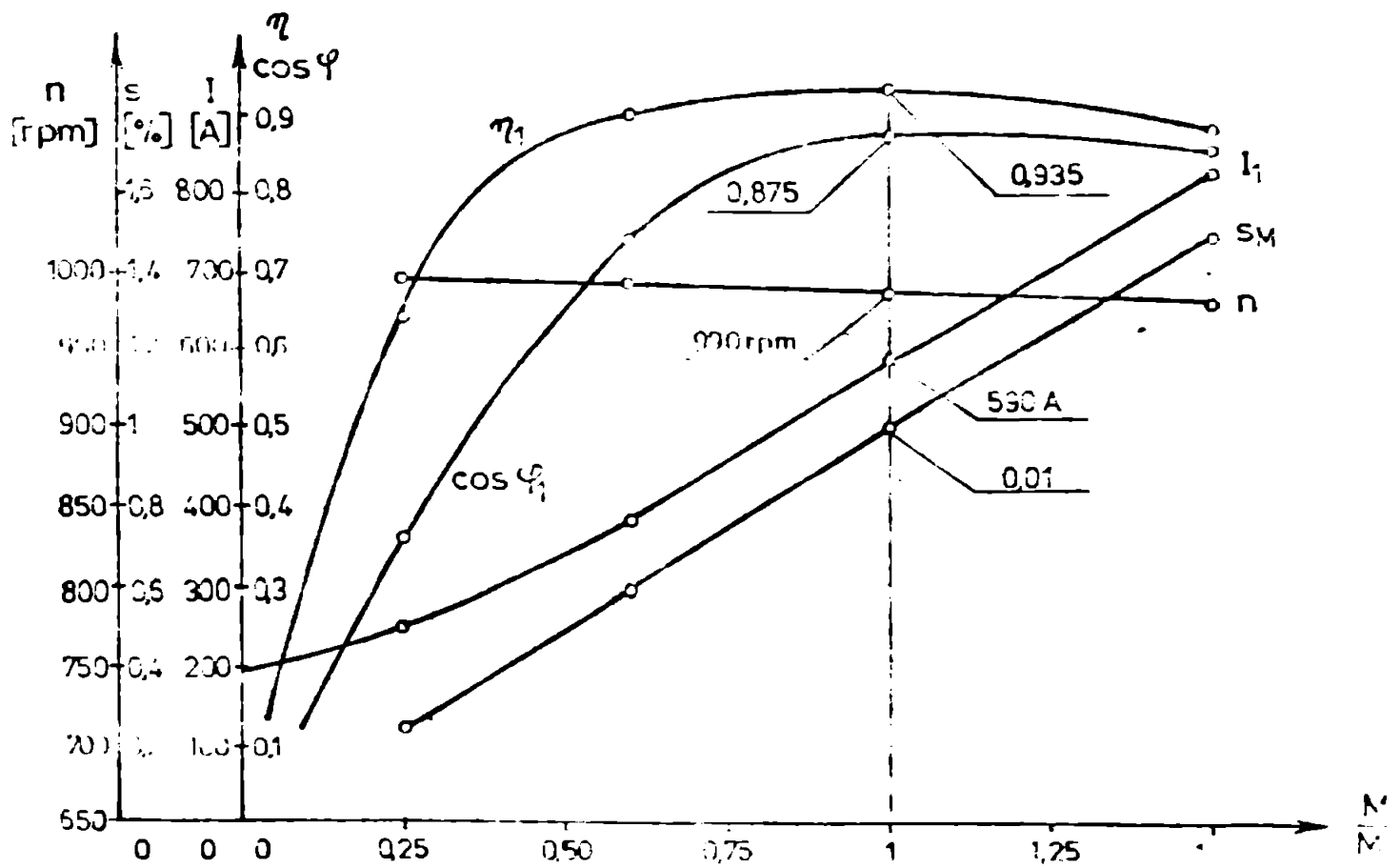


Fig. 98

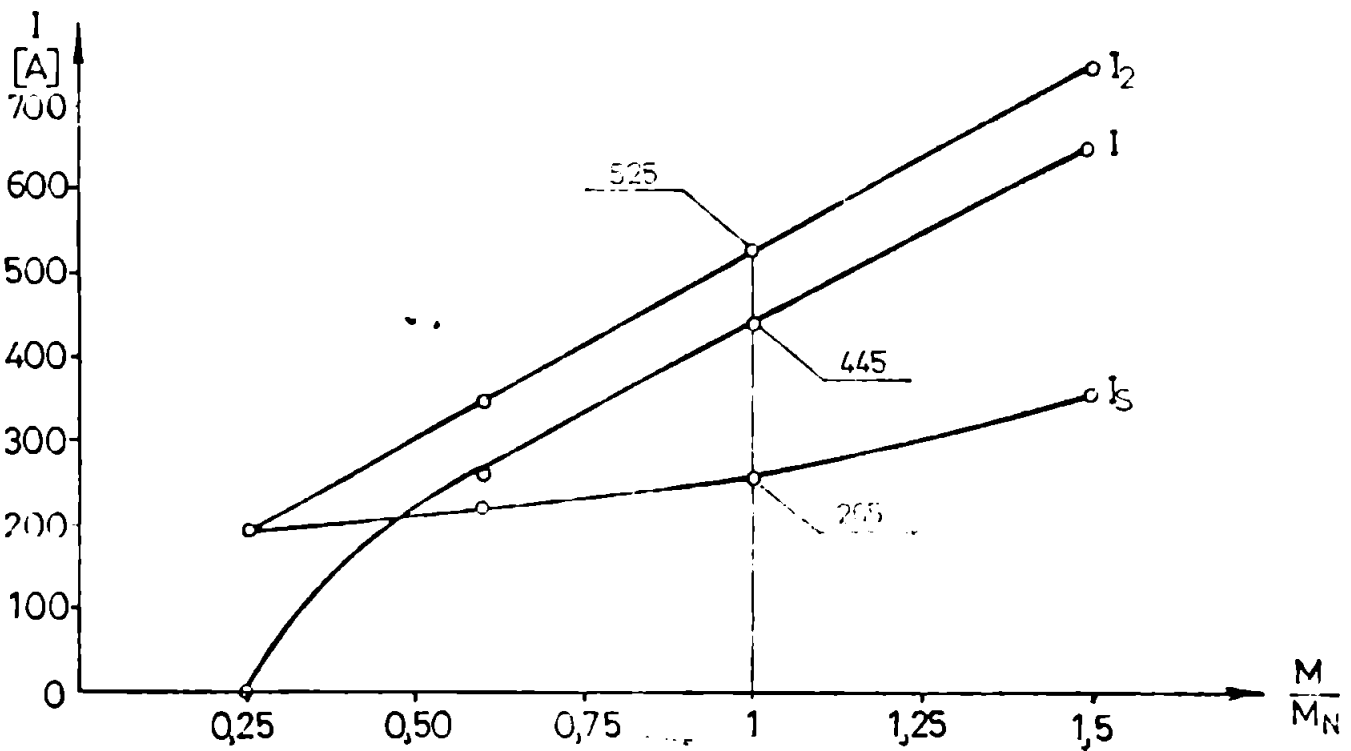


Fig.99

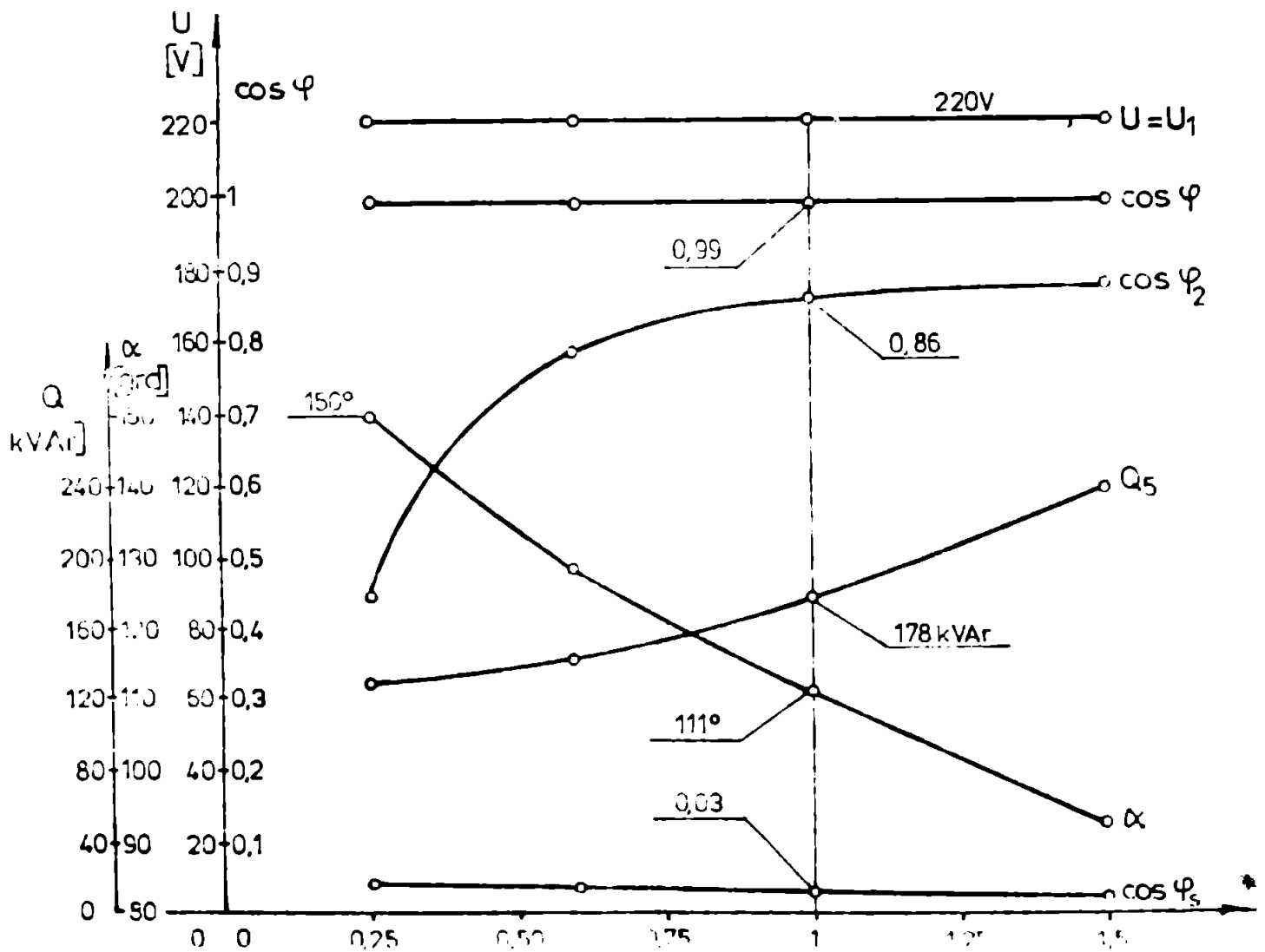


Fig.100

În figura 100 se reprezintă variația celerității nării în nodul N, precum și a unghiului  $\alpha$  de comandă a tiristoarelor inverterului, după cum urmează:  $U$  - tensiunea din nodul N,  $\cos \varphi$  - factorul de putere din circuitul de recuperare în nodul N,  $\cos \varphi_2$  - factorul de putere al generatorului asincron,  $Q_2$  - puterea reactivă debitată de compensatorul asincron,  $\cos \varphi_1$  - factorul de putere al compensatorului sincron, în funcție de cuplul la arborele motor.

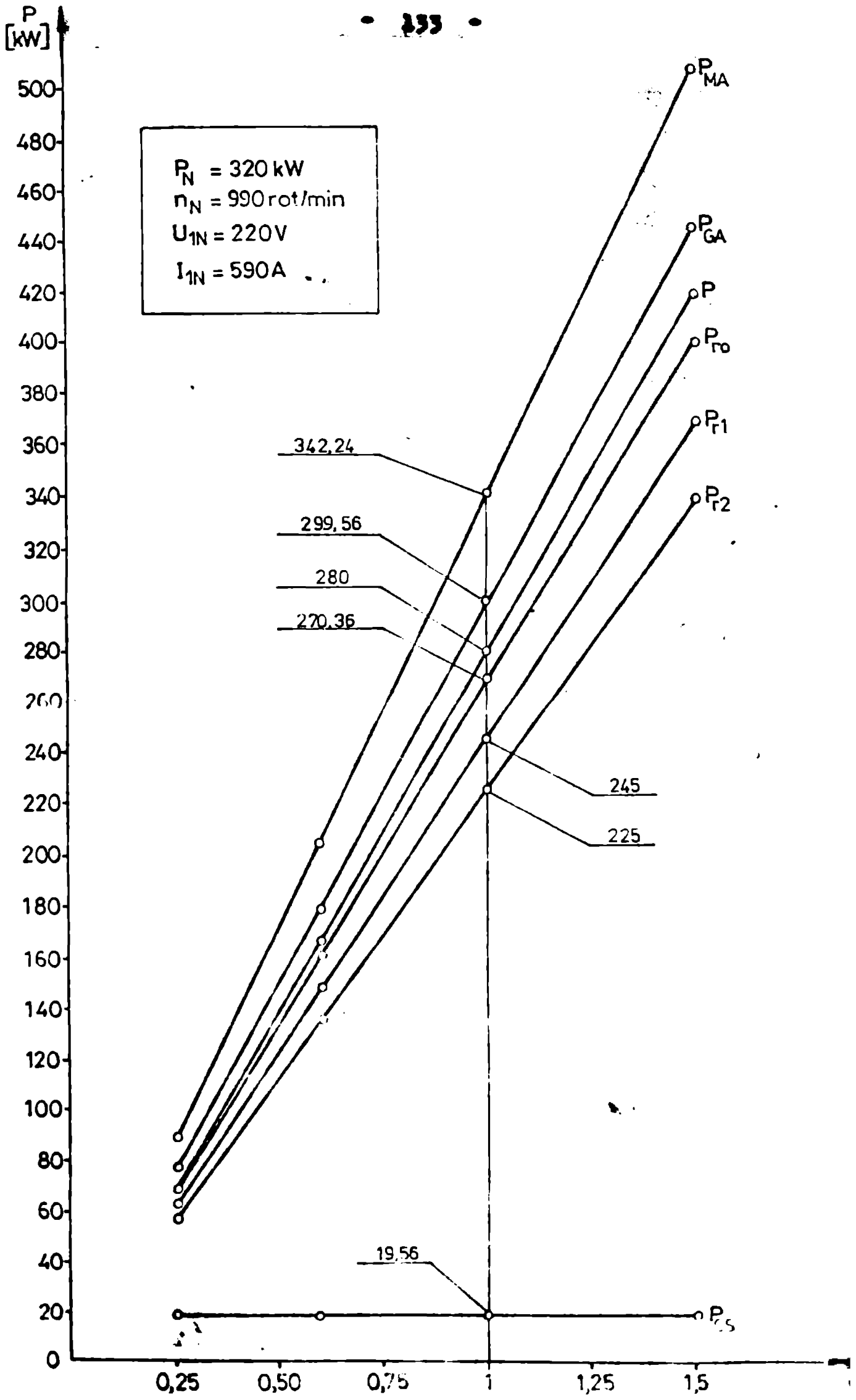
Din figură se observă că tensiunea  $U$  se menține la valoarea constantă de 220 V, egală cu tensiunea  $U_1$  de alimentare a motorului încercat.

Varianta de folosire a instalației de încercare a caracteristicilor din figurile 90, 99 și 100 a fost cea mai simplă și economică, adică fără transformatoarele de adaptare  $T_1$  și  $T_2$ .

În cazul acestui motor s-a putut folosi orice întregă zonă de  $150^\circ - 90^\circ$  a unghiului de comandă  $\alpha$  destinată funcționării inverterului. Aceasta se datorează faptului că acest motor are tensiunea de alimentare sub 400 V și curent mare în stator. În astfel de cazuri se prețuiește foarte bine a fi folosită varianta instalației cea mai simplă și economică, atât sub aspectul investiției cât și al recuperării energiei electrice. Aceasta deoarece elementele semiconductoră nu mai trebuie protejate la tensiunea periculoasă de străpungere, prin transformatorul de adaptare  $T_1$ , ce se intercalează între nodul N și motor.

În figura 101 se prezintă modul de variație al puterilor active, în cazul diverselor variante de folosire a instalației de încercare a motorului, în funcție de cuplul la arborele motor, după cum urmează:  $P_{MA}$  - puterea absorbită de motorul încercat,  $P_{GA}$  - puterea debitată de generatorul asincron,  $P_{GS}$  - puterea absorbită de compensatorul asincron,  $P$  - puterea din circuitul de recuperare în nodul N,  $P_{R0}$  - puterea recuperată în cazul folosirii instalației în varianta cea mai simplă, fără transformatoare de adaptare,  $P_{R1}$  - idem în cazul folosirii instalației în varianta cu transformatorul de adaptare  $T_1$ ,  $P_{R2}$  - idem în cazul folosirii instalației cu cele două transformatoare de adaptare.

În figura 102 se reprezintă variația procentajului  $p_r$  de recuperare a unei părți din puterea absorbită, în funcție



de cuplul la arborele motor, în cazul încercării celor trei tipuri de motoare asincrone cu instalația de încercare în varianta cea mai simplă și economică.

Se poate deduce din figură, că procentajul de recuperare, respectiv cantitatea de energie electrică recuperată este cu atât mai mare cu cât puterea motorului de se încercă este mai mare.

Astfel, la încercarea nominală, în cazul încercării motorului de  $P_N = 10$  kW se recuperează o putere de 62% din puterea absorbită ( $P_{ab} = 11,57$  kW), adică  $0,62 \times 11,57 = 7,05$  kW.

La fel rezultă puterea recuperată în cazul celorlalte două motoare încercate, după cum urmează:

În cazul motorului de 160 kW, rezultă:

$$0,70 \times 175,6 = 122,9 \text{ kW}$$

respectiv:  $0,79 \times 342,24 = 270,36$  kW, în cazul motorului de 320 kW.

Puterea absorbită a motoarelor încercate rezultă din figurile 60, 61 și 62 unde sînt reprezentate variațiile puterilor în funcție de cuplul la arborele motor.

În continuare se prezintă sub formă tabelară o informare cu privire la puterea recuperată în cazul altor variante de folosire a instalației de încercare, precum și la alte încercări ale motoarelor. Această informare se face în două situații cu privire la sursa de putere reactivă necesară pentru crearea cîmpului magnetic învîrtitor al generatorului asincron și anume:

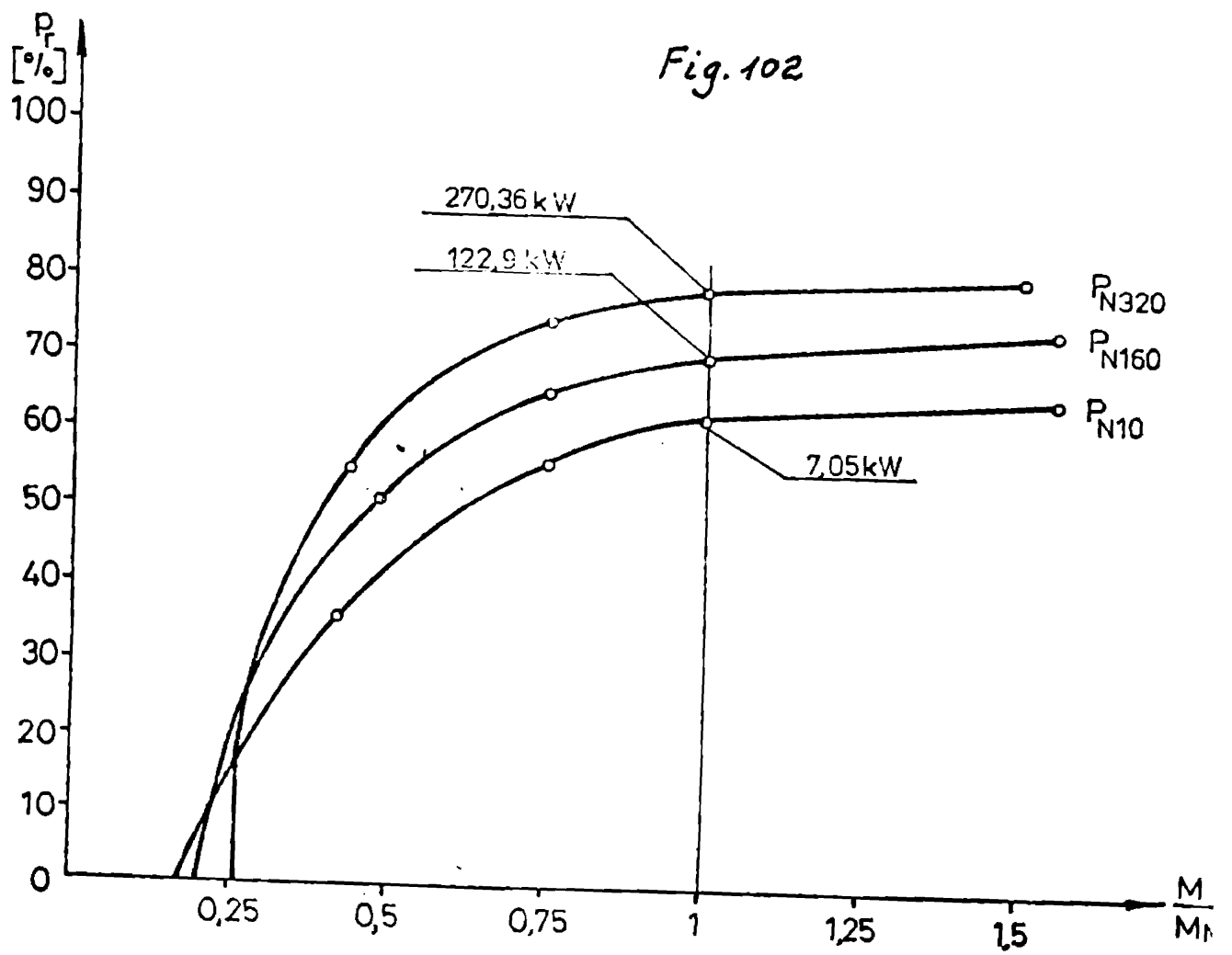
- a) cînd se face uz de compensatorii sincron;
- b) cînd se face uz de bateria de condensatoare;
- a) în cazul folosirii compensatorului sincron
- 1) în cazul încercării la sarcina nominală ( $N = N_N$ )

Puterea nominală $P_N$ /kW/	Puterea absorbită $P_{ab}$ /kW/	Puterea recuperată /kW/		
		$P_{re}$	$P_{r1}$	$P_{r2}$
10	11,57	7,05	5,65	4,75
160	175,6	122,9	108,5	94,5
320	342,24	270,36	245	225

x În acest caz se face uz de următoarele notații:

$P_{re}$  - puterea recuperată în cazul folosirii variantei instala-





lașiei de încercare fără transformatoarele de adaptare

$T_1$  și  $T_2$  :

$P_{r1}$  - pierde cu transformatorul de adaptare  $T_1$  ;

$P_{r2}$  - pierde cu transformatoarele de adaptare  $T_1$  și  $T_2$  .

2) In cazul încălzirii la sarcina  $M = 1,25 M_N$  .

Puterea nominală $P_N/kW/$	Puterea absorbită $P_{HA}/kW/$	Puterea recuperată /kW/		
		$P_{ro}$	$P_{r1}$	$P_{r2}$
10	14,15	9	7,1	6
160	219,5	161	143,5	125,5
320	425	336	307	282

3) In cazul încălzirii la sarcina  $M=1,5 M_N$  .

Puterea nominală $P_N/kW/$	Puterea absorbită $P_{HA}/kW/$	Puterea recuperată /kW/		
		$P_{ro}$	$P_{r1}$	$P_{r2}$
10	17	10,9	8,3	7
160	262	198,5	176,5	156,5
320	507	400	369	339

b) In cazul folosirii bateriei de condensatoare

1) In cazul încălzirii la sarcina nominală ( $M=M_N$ ) .

Puterea nominală $P_N/kW/$	Puterea absorbită $P_{HA}/kW/$	Puterea recuperată /kW/		
		$P_{ro}$	$P_{r1}$	$P_{r2}$
10	11,37	8,45	7,05	6,15
160	175,6	141,9	127,5	113,5
320	324,24	290,36	263	245

2) In cazul încălzirii la sarcina  $M=1,25 M_N$  .

Puterea nominală $P_N/kW/$	Puterea absorbită $P_{HA}/kW/$	Puterea recuperată /kW/		
		$P_{ro}$	$P_{r1}$	$P_{r2}$
10	14,15	10,5	8,6	7,5
160	219,5	180	162,5	144,5
320	425	356	327	302

3) In cazul inchiderii la sarcina Mot.500,

Puterea nominală $P_N$ /kW/	Puterea absorbită $P_{ab}$ /kW/	Puterea recuperată /kW/		
		$P_{r0}$	$P_{r1}$	$P_{r2}$
10	17 <sub>M</sub>	12,55	9,95	8,65
160	262	217,5	195,5	175,5
320	507	420	389	340

Din situația prezentată rezultă că în toate cazurile puterea și deci energia electrică recuperată este cu atât mai mare cu cât motoarele încercate sînt de putere mai mare.

Valoarea acestei puteri recuperate, respectiv cantitatea de energie electrică recuperată, este mai mare în cazul folosirii instalației de încercare în varianta cea mai simplă și economică, adică fără transformatoarele de adaptare.

Văzută de situația dată se folosește compensatorul sincron, în cazul utilizării bateriei de condensatoare, valoarea puterii recuperate este mai mare cu cît este valoarea puterii active absorbite de compensatorul sincron respectiv. Această valoare a puterii compensatului rezultă dintr-un exemplu din figurile 56, 51 și 101 pentru fiecare tip de motor încercat.

În continuare se prezintă o serie de fotografii reprezentînd variația unor mărimi electrice aparținînd unor componente electrice ale instalației.

Astfel în figura 103 se arată semnalul de sincronizare ce sosește la pinul 9 al circuitului integrat  $\beta$ U145.

În figura 104 se prezintă impulsurile de sincronizare obținute la pinul 16.

În figura 105 se reprezintă tensiunea liniar-variabilă ce se obține la pinul 7.

În figura 106 se arată semnalul de comandă pentru formarea impulsurilor ce la pinul 2.

În figura 107 se prezintă semnalul rezultat la fiecare scădere a semnalului de la pinul 2.

În figura 108 se reprezintă forma impulsurilor de comandă a tiristoarelor invertorului.

În figura 109 se vizualizează impulsul de comandă a tiristoarelor corelat cu tensiunea de sincronizare în ecoul

măsurării unghiului de comandă (în acest caz  $\alpha = 131^{\circ}32'18''$ ).

În figura 110 idem pentru care  $\alpha = 132^{\circ}18'27''$ .

În figura 111 se prezintă modul de variație al tensiunii la bornele inverterului, în sarcină.

În cele ce urmează se prezintă fotografiile ale componentelor instalației, după cum urmează:

În figura 112 se arată placa surselor de tensiune.

În figura 113 se prezintă placa regulatorului și protecției.

În figura 114 se arată placa generatorului de impulsuri pentru comanda tiristoarelor inverterului.

În figura 115 se prezintă o parte din instalația de încercare a motorului asincron de 10 kW. Pe figură se consemnează, prin notațiile corespunzătoare, mașinile ce compun instalația, inclusiv transformatorul de adaptare  $T_1$ , amplasat între nodul N și motor.

În figura 116 se arată partea instalației cuprinzând componentele electronice specificate pe figură.

În figura 117 se prezintă cutia din cadrul instalației.

În figura 118 se arată o vedere de ansamblu a instalației concepute și realizate de autor.

#### 4.2. Eficiența energetică a instalației recuperative propuse

În acest scop se fac următoarele considerații:

- a) Regimul de lucru: două schimburi,
- b) Durata creier de funcționare a instalației la sarcină nominală: 4 ore/zi,
- c) se au în vedere trei tipuri de motoare asincrone: 10 kW, 160 kW și 320 kW.

Din totalul de variante de folosire a schemei de încercare, se consideră cele două variante extreme din punct de vedere al costului instalației.

- 1) Varianta cea mai economică prezentată în figura 119 în care s-au făcut următoarele notații:

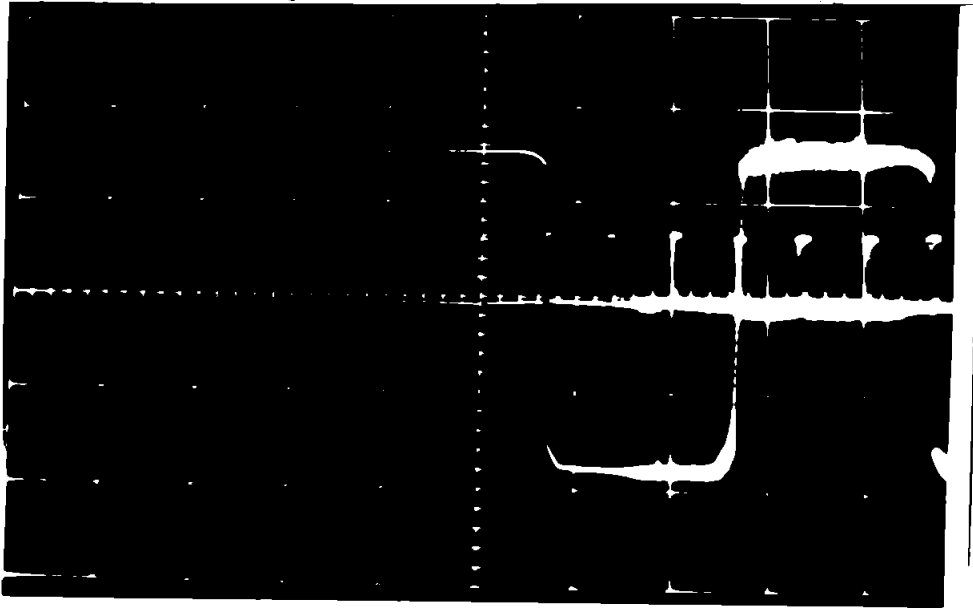


FIG. 103.

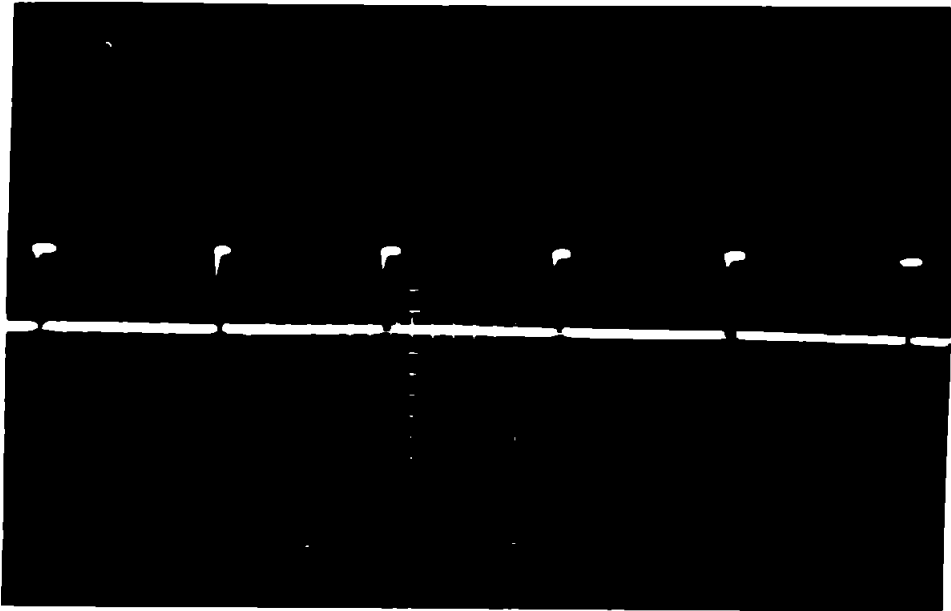


FIG. 104.

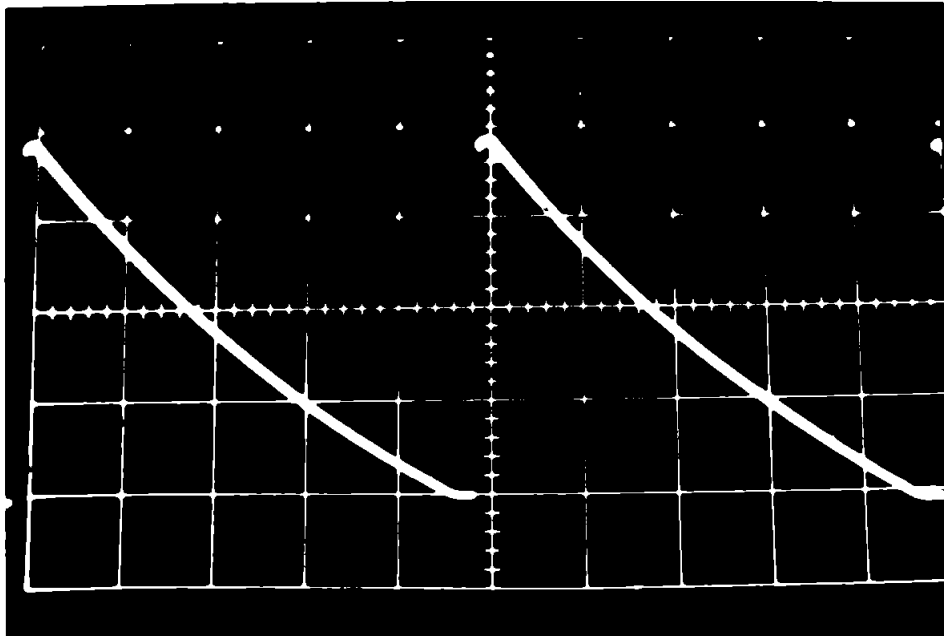


FIG. 105.

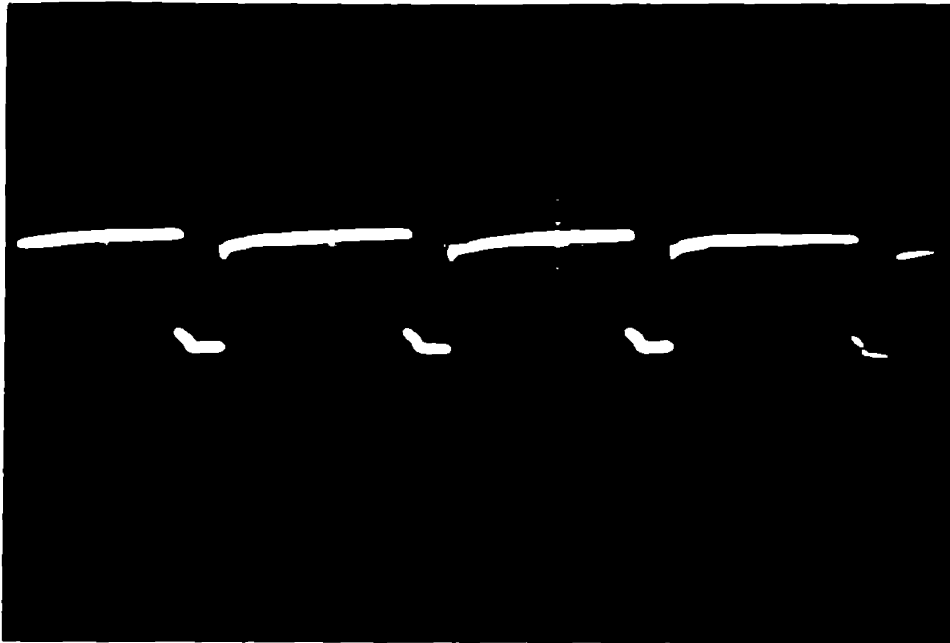


FIG. 106.

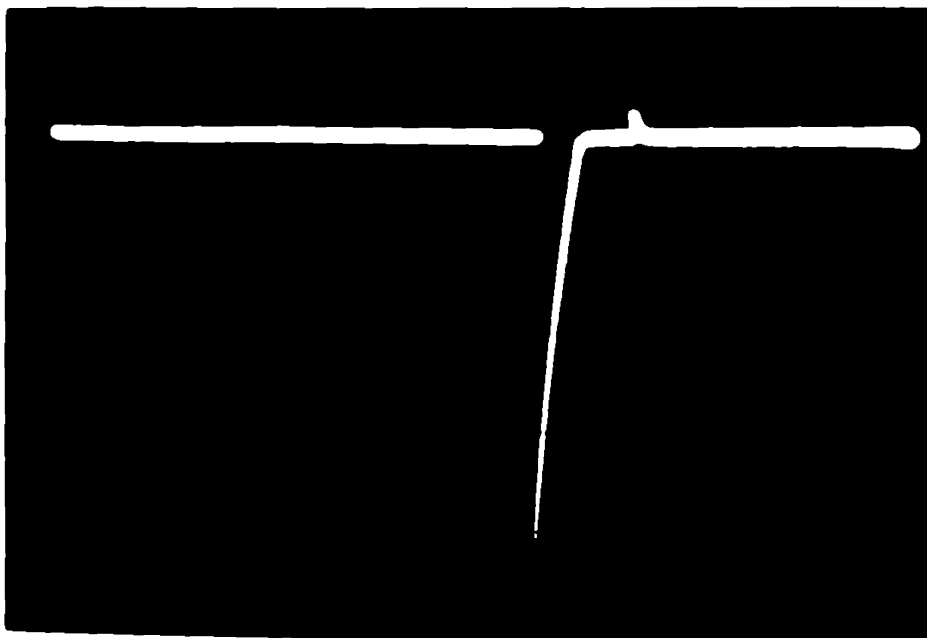


FIG. 107.

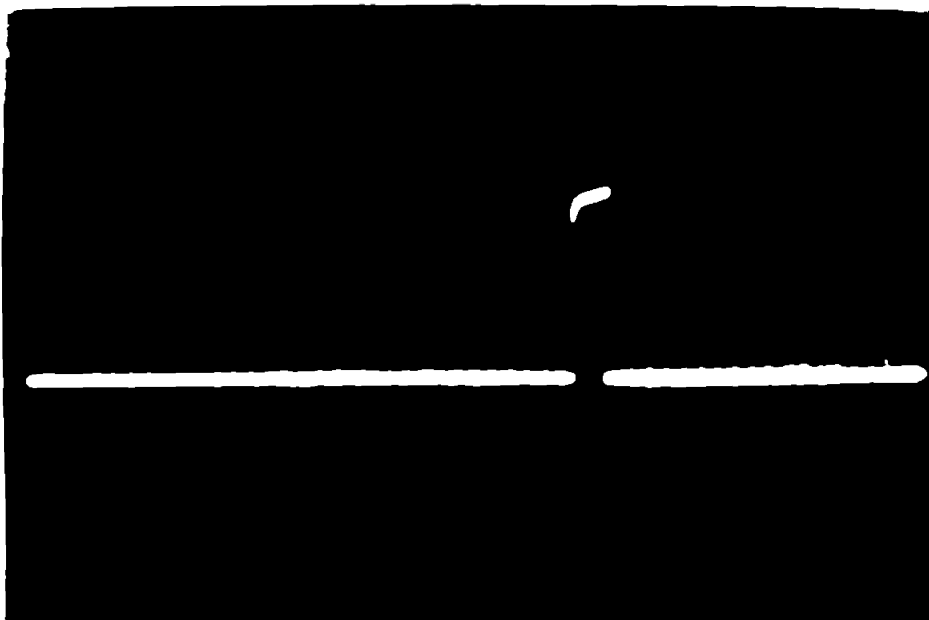


FIG. 108.

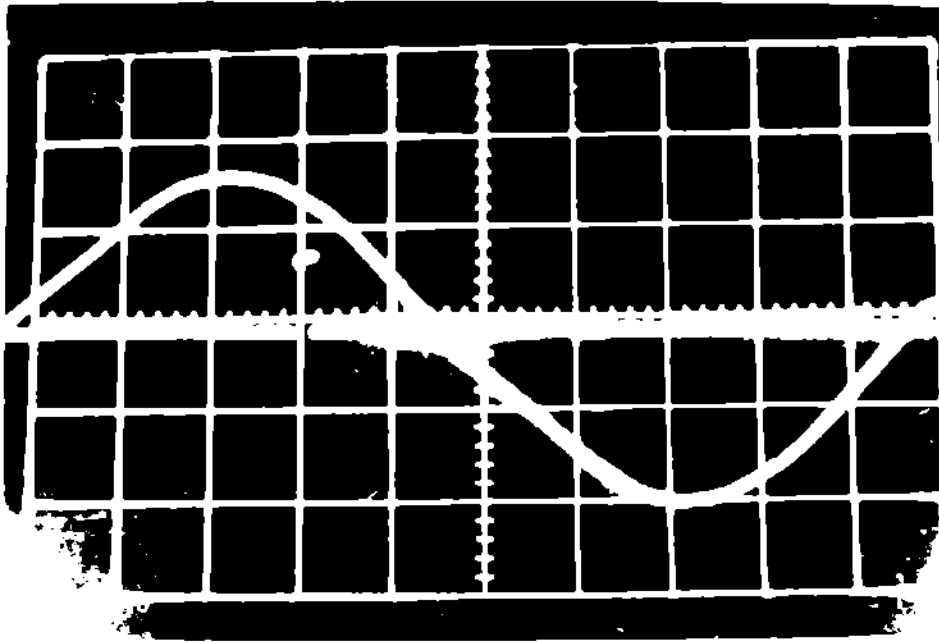


FIG. 109.

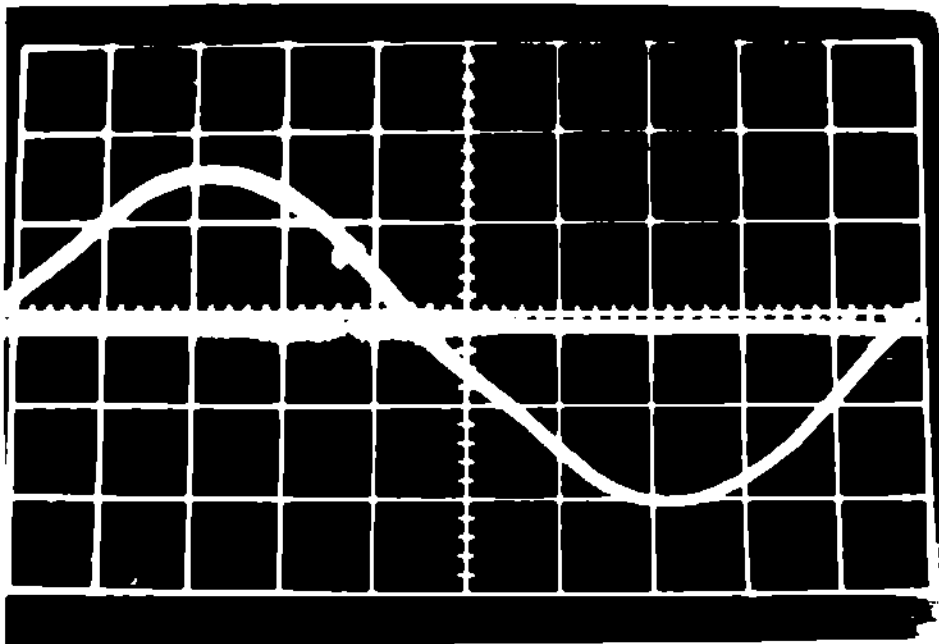


FIG. 110.

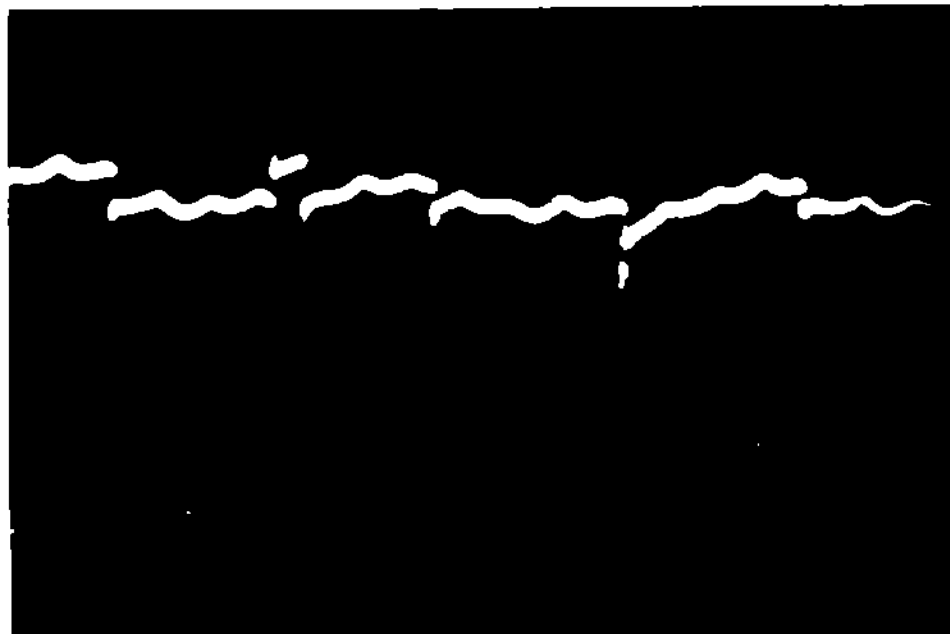


FIG. 111.

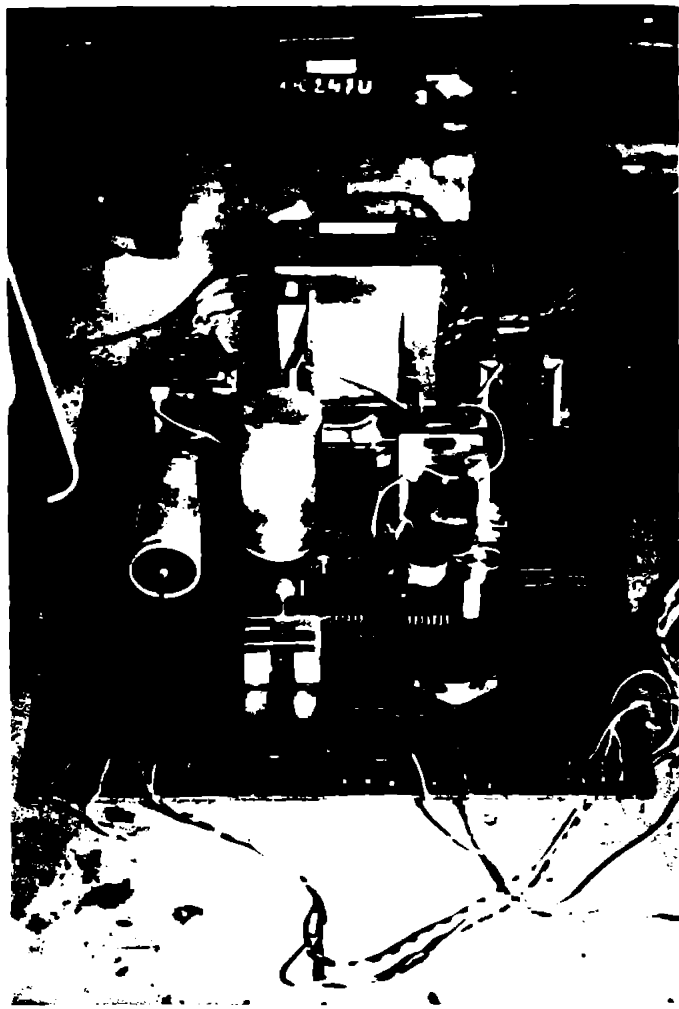


FIG. 112.

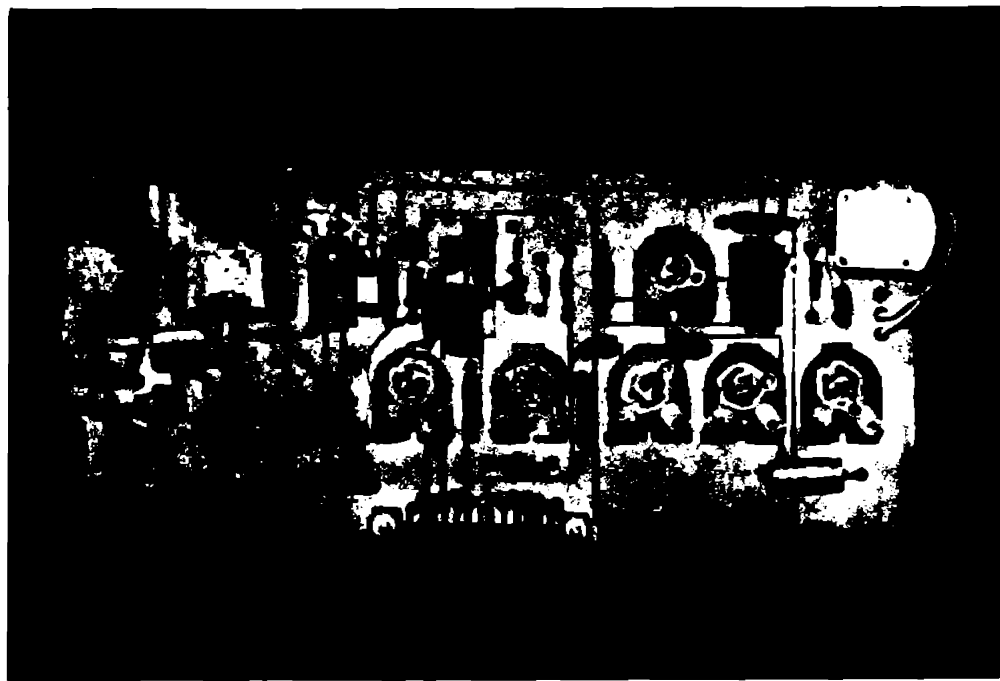


FIG. 113.

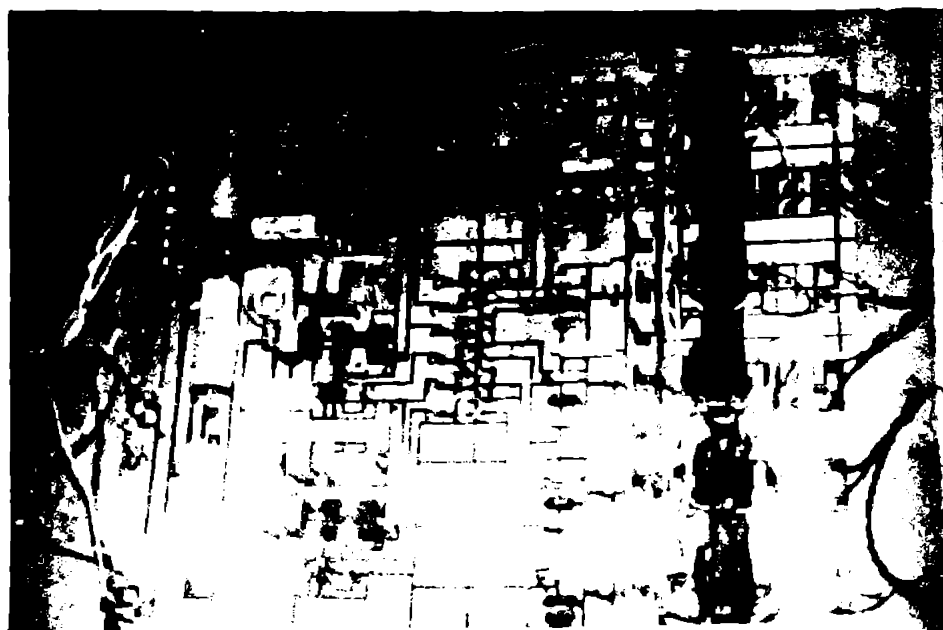


FIG. 114.



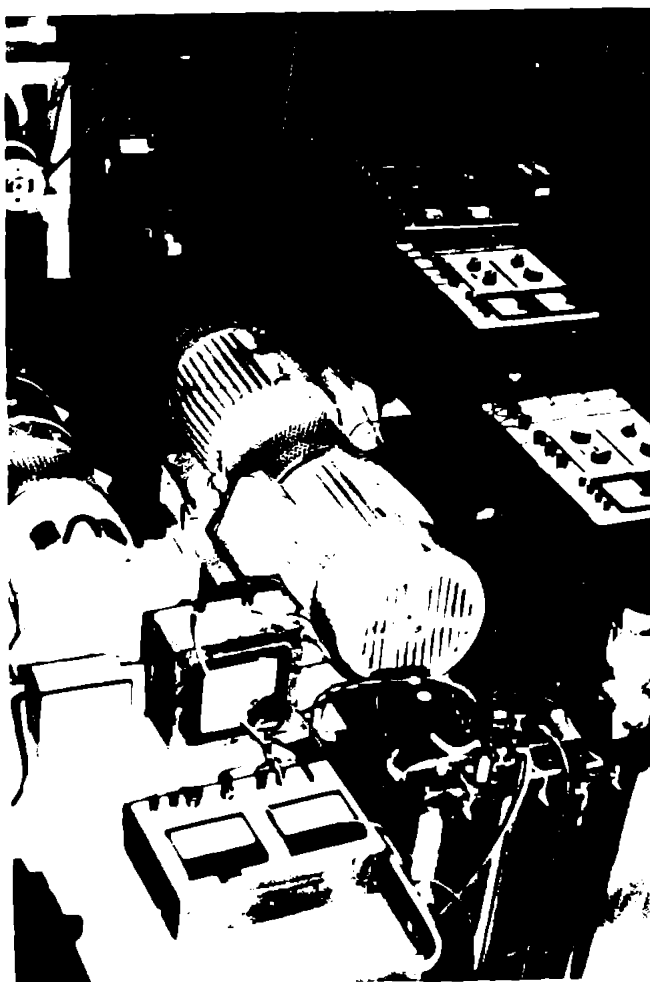
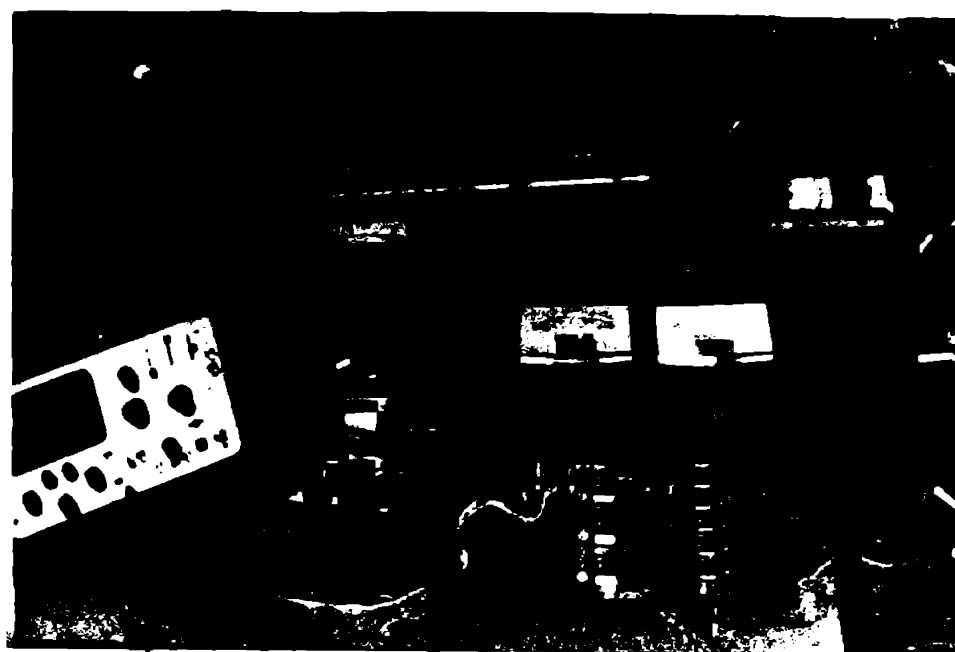


FIG.115.



Blocul de  
reglare și protec-  
ție

Blocul  
curselor de tensi-  
unii

Sistemul de for-  
mare, blocare și  
amplificare a im-  
pulsurilor

FIG.116.

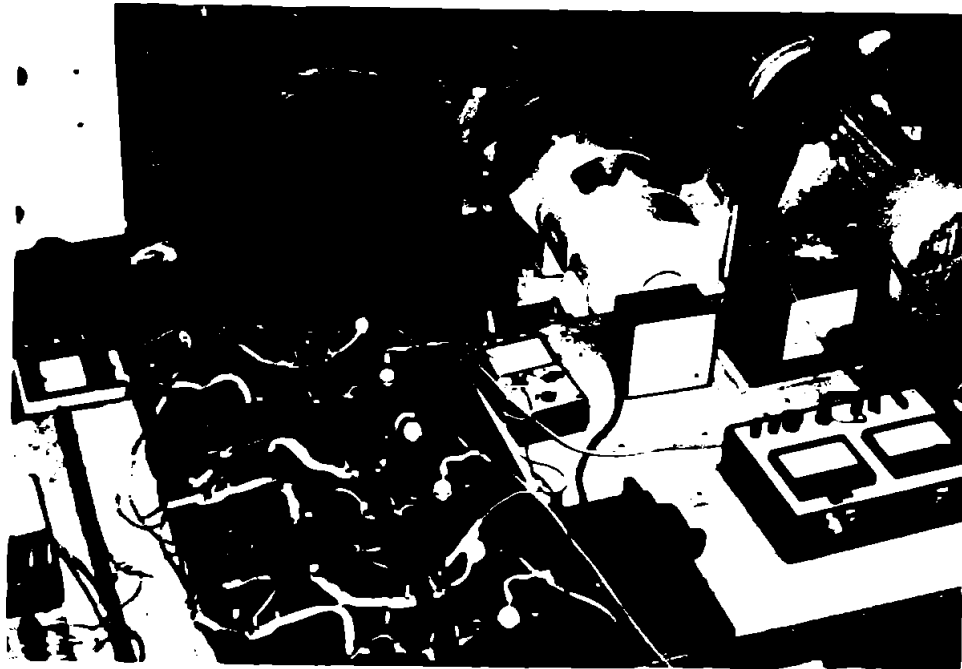


FIG. 117.



FIG. 118. Vedere de ansamblu a instalației.

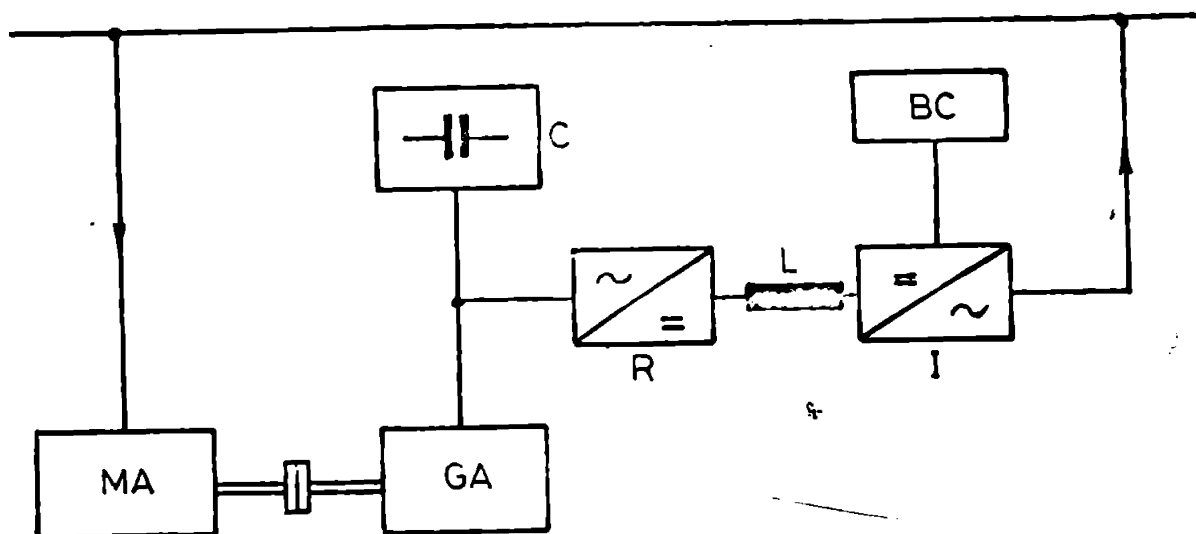


FIG.119.

- MA - motor asincron de încercare;
- GA - generator asincron de încălzire;
- C - baterie de condensatoare;
- R - redresor trifazat;
- L - bobină de netezire a curentului din circuitul intermediar al mutatorului;
- I - invertor trifazat;
- BC - bloc de comandă.

Se precizează că în calcule nu se consideră costul magi-  
nilor MA și GA, întrucât ele se iau împreună din lotul de ma-  
șini asincrone ce urmează a fi încercate.

Costul componentelor instalației în cazul încercării mo-  
toarelor asincrone de 10 kW este:

16.096,5 lei

Idem în cazul motoarelor de 160 kW:

60.069 lei

Respectiv: 74.609 lei în cazul motoarelor asincrone  
de 320 kW.

Costul manoperei: 18.241 lei.

Costul total al instalației în cazul încercării motoare-  
lor asincrone de 10 kW rezultă astfel:

$16.096,5 + 18.241 = 34.337,5$  lei

Idem pentru motoarele de 160 kW:

$60.069 + 18.241 = 78.310$  lei

Respectiv:

$$74.609 + 18.241 = 92.850 \text{ lei}$$

pentru motoarele de 320 kW.

Considerând că în decursul unui an sînt 56 zile nelucrătoare, rezultă numărul de zile lucrătoare astfel:

$$365 - 56 = 309 \text{ zile}$$

Cum la start se lucrează în două schimburi, aceasta înseamnă că instalația va funcționa zilnic la sarcină nominală  $2 \times 4 = 8$  ore.

Pentru durata de un an rezultă:

$$309 \times 8 = 2472 \text{ ore/an}$$

Conform figurii 102 rezultă că în cazul încălzirii unui motor de 10 kW se recuperează o putere de 7,05 kW/oră, în cazul motorului de 160 kW, 122,9 kW/oră iar în cazul motorului de 320 kW o putere de 270,36 kW/oră.

Dacă într-un an se recuperează:

$$2472 \times 7,05 = 17427,5 \text{ kWh/an}$$

în cazul încălzirii motoarelor de 10 kW,

$$2472 \times 122,9 = 303868,8 \text{ kWh/an}$$

în cazul motoarelor de 160 kW, respectiv:

$$2472 \times 270,36 = 668329,92 \text{ kWh/an}$$

în cazul încălzirii motoarelor de 320 kW.

Dacă se consideră costul unui kWh egal cu 0,55 lei, atunci se poate calcula costul energiei electrice recuperate pe durata de un an astfel:

$$17427,5 \times 0,55 = 9585,125 \text{ lei/an}$$

în cazul încălzirii motoarelor de 10 kW,

$$303868,8 \times 0,55 = 167094,84 \text{ lei/an}$$

în cazul motoarelor de 160 kW, respectiv:

$$668329,92 \times 0,55 = 367581,45 \text{ lei/an}$$

în cazul încălzirii motoarelor de 320 kW.

În această situație se poate calcula timpul în care se poate amortiza instalația de încălzire, după cum urmează:

$$34.337,5 : 9.585,125 = 3,58 \text{ ani}$$

în cazul motoarelor de 10 kW,

$78.310 : 167.094,84 = 0,47$  ani  
 în cazul motoarelor de 160 kW, respectiv:

$92.850 : 367.581,45 = 0,25$  ani  
 în cazul motoarelor de 320 kW.

2) Variante cea mai economică a instalației de încercare prezentată în figura 120.

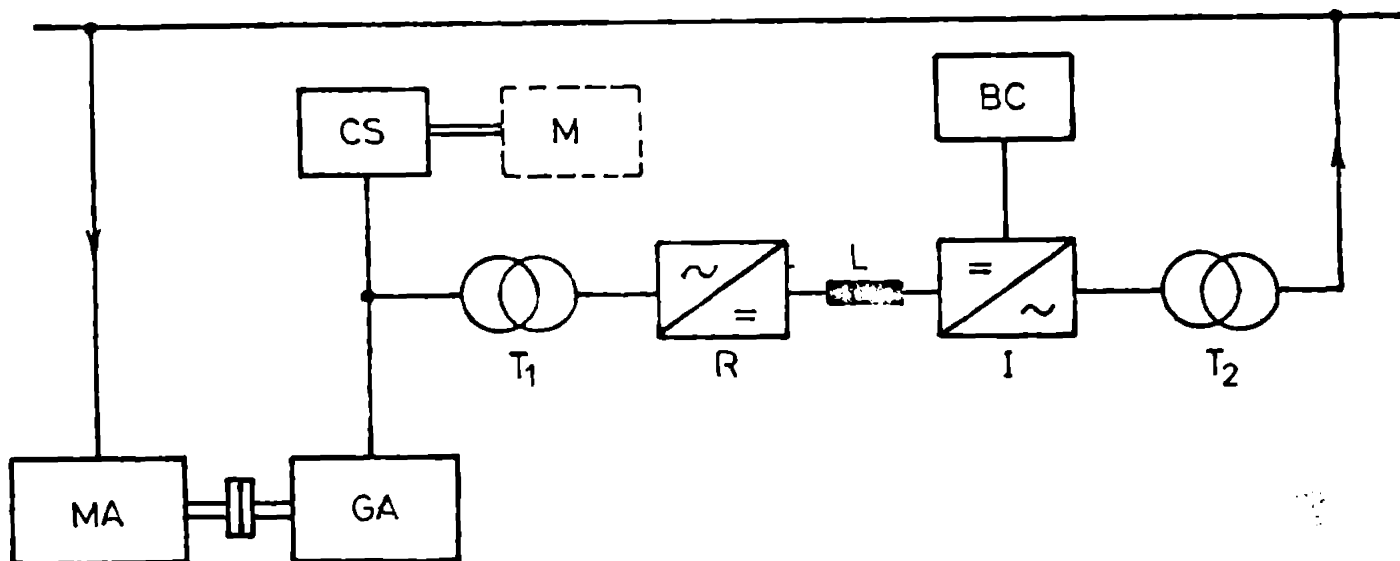


FIG.120.

În acest caz, față de schema anterioară, apar în plus cele două transformatoare de adaptare  $T_1$  și  $T_2$ , iar în locul bateriei de condensatoare apare compensatorul sincron CS antrenat, în perioada pornirii, de motorul auxiliar M.

De data aceasta costul componentelor instalației este după cum urmează:

45.544 lei  
 în cazul încercării motoarelor asincrone de 10 kW,  
 366.164 lei  
 în cazul motoarelor de 160 kW, respectiv:  
 516.164 lei  
 în cazul motoarelor de 320 kW.

Se consideră același cost al manoperei : 18.241 lei.

Costul total al instalației în cazul încercării motoarelor asincrone de 10 kW este:

$42.544 + 18.241 = 60.785$  lei,  
 în cazul motoarelor de 160 kW :  
 $366.164 + 18.241 = 384.405$  lei, res-

peotiv:

$$516164 + 18.241 = 534.405 \text{ lei}$$

in cazul motoarelor de 320 kW.

Avind cantitatea de energie electrică ce se recuperează pe durata unui an, precum și costul ei, se poate trece la calculul timpului de amortizare a instalației precum urmează:

$$60.785 : 9585,125 = 6,34 \text{ ani}$$

in cazul încercării motoarelor asincrone de 10 kW,

$$384.405 : 167094,84 = 2,29 \text{ ani}$$

in cazul motoarelor de 160 kW, respectiv:

$$534.405 : 367.581,45 = 1,45 \text{ ani}$$

in cazul motoarelor de 320 kW.

Analizând calculele efectuate se desprind, în principal, două concluzii importante:

- cantitatea de energie recuperată este cu atât mai mare cu cât motorul ce se încercă este de putere mai mare;

- cu cât motorul ce se încercă este mai mare, cu atât și timpul de amortizare a instalației de încercare este mai redus.

La figure 121 s-a prezentat variația puterii  $P_N$  a motoarelor încercate în funcție de durata de amortizare /ani/, după cum urmează: curba 1 - modul de variație în cazul folosirii variantei de încercare cea mai economică, respectiv curba 2 - în cazul folosirii variantei celei mai neeconomice.

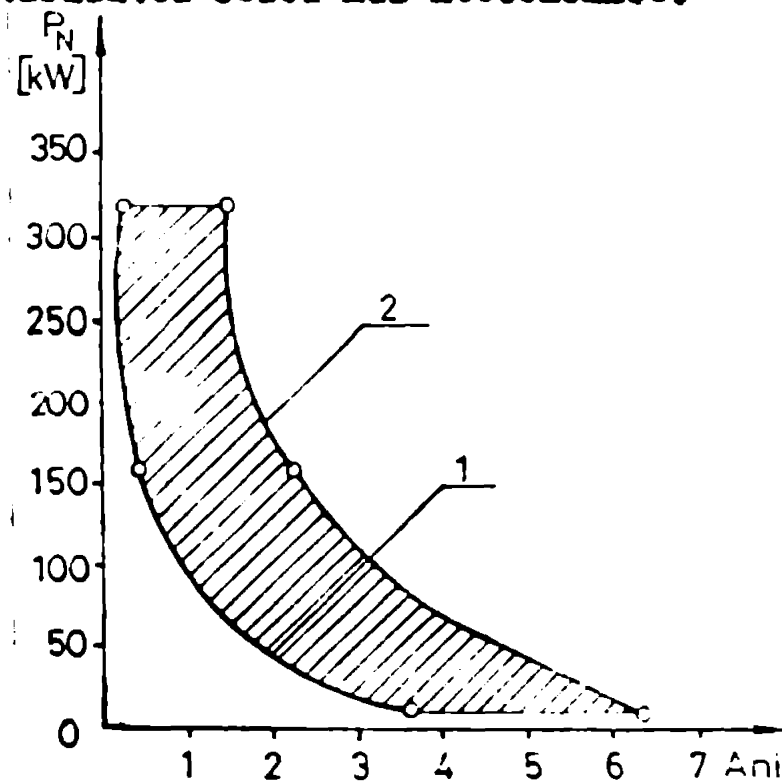


FIG. 121.

În cazul folosirii oricărei alte variante a instalației de încercare a motoarelor, curba de variație a puterii se va situa în suprafața hașurată, cuprinsă între cele două curbe extreme 1 și 2.

## Capitolul 5

### CONSIDERAȚII FINALE ȘI CONCLUZII

#### 5.1. Comparația schemei prezentate cu celelalte scheme recuperative cunoscute

De la început se precizează că schema, ce constituie obiectul tezei de doctorat, este modernă având în vedere utilizarea elementelor semiconductoare (diodă, tiristoare etc) care în raport cu mașinile electrice rotative sînt mai robuste, sigure în funcționare, ușor de întreținut, cu pierderi neglijabile, mai ieftine și cu durată mai mare de funcționare.

În comparație cu celelalte scheme recuperative cunoscute, în cazul acestei scheme nu se mai pune problema schimbării unui generator de încercare potrivit, deoarece de data aceasta generatorul respectiv se achiziționează odată cu motorul asincron care se încercă, din lotul de mașini ce urmează a fi încercate.

Cu instalația realizată, ce are la bază schema propusă, se poate încerca, cu recuperare de energie, o gamă largă de motoare asincrone sub aspectul puterii (3 kW - 1000 kW).

O componentă importantă a instalației o reprezintă blocul de comandă care nu trebuie schimbat sau modificat în funcție de mărimea mașinii încercate. La puteri mult diferite, trebuie schimbate numai diodele și tiristoarele de putere ce alcătuiesc redresorul, respectiv invertorul antetorului. În rest, compensatorul sincron, respectiv bateria de condensatoare trebuie să aibă capacitatea de a asigura puterea reactivă necesară creării cîmpului magnetic învîrtitor al generatorului asincron de încercare.

Cantitatea de energie recuperată este cu atât mai mare, cu cît puterea motorului ce se încercă este mai mare. Deoarece schema propusă, respectiv instalația realizată, este avantajoasă în cazul încercării motoarelor de mare putere.

Pierderile în instalație sînt minime.

Încercarea motorului, în procesul de încercare, de la motorul în gol la sarcina dorită, se realizează simplu.

La unele recuperative prezentate în Capitolul 1, în raport cu instalația concepută și realizată de autor, cu următoarele deosebituri mai importante:

- posibilitatea modificării funcționării în trepte limitate;
- nu se poate obține o modificare a turației în limite largi;
- constă, în general, din multe mașini, ceea ce strage după sine cost ridicat, întreținere grea și pretentioasă, randament și înveștăie scăzută;

- în majoritatea schemelor se obține o recuperare parțială de energie;

- la unele scheme se necesită mașini electrice speciale.

## 5.2. Contribuții ale doctorandului

1. A studiat un număr de 17 scheme de încercare a motoarelor asincrone dintre care 5 cu disipare totală a energiei sub formă de căldură în mediul ambiant și 12 cu recuperare de energie.

Acoste scheme au rezultat în urma studierii literaturii de specialitate din țară și străinătate și vizitelor efectuate la întreprinderile constructoare de mașini. Toate schemele au fost descrise și criticate sub aspect economic și funcțional.

Capitolul 1, în care se studiază schemele subînținute, poate fi considerat o monografie cu privire la schemele de încercare a motoarelor asincrone și apreciată ca atare.

2. Tezesa, respectiv instalația de încercare recuperativă, ce constituie subiectul tezei de doctorat este de concepție și realizare proprie. În funcție de tipul și puterea motorului încercat, autorul a dedus variante de folosire a instalației, însoțite de indicațiile și instrucțiunile de utilizare aferente.

3. A stabilit sistemul de ecuații ce caracterizează schemele propuse, cu particularitățile ce rezultă pentru fiecare variantă de folosire.

4. A conceput și realizat pentru instalația de încercare



propusă, blocul de comandă ce face și obiectul unei inovații /57/. Se precizează că pentru realizare, au fost folosite componente electronice indigene, fără a se apela la import. Proiectarea și amplasarea componentelor a-a făcut astfel încât să rezulte un consum minim de energie și o utilizare economică a spațiului în scopul obținerii unui volum minim.

5. A realizat într-un mod ingenios autoturul instalației, în sensul că atât redresorul cât și invertorul au fost amplasați pe aceeași placă izolantă, rezultând astfel o judicioasă și economică utilizare a spațiului.

6. A dedus ecuația de dependență dintre alunecările a două mașini asincrone cuplate rigid, una funcționând în regim de motor, iar cealaltă ca generator. A prezentat modul de rezolvare a ecuației respective, precum și ordinoگرام logic de rezolvare pe calculatorul FELIX C-256.

7. A elaborat un program de calcul, pe calculator, pentru determinarea caracteristicilor de funcționare ale motoarelor asincrone.

8. A stabilit expresia tensiunilor la bornele redresorului, invertorului și autoturului. A reprezentat grafic variația celor trei tensiuni pentru diverse unghiuri de comandă a tiristorilor ce compun invertorul.

9. A dedus expresia curentului și a puterii din circuitul intermediar al autoturului, precum și reprezentarea grafică a acestor mărimi, în funcție de unghiul de comandă, având ca parametru tensiunea  $U$  din nodul X.

La baza studiului și realizării instalației prezentate stau cele 13 lucrări științifice publicate ale autorului, un contract cu întreprinderea Electromotor din Târgușora, o inovație, precum și cele 117 materiale bibliografice din țară și străinătate.

### 5.3. Concluzii

1. Tema tratată în cadrul tezei de doctorat se înscrie în contextul preocupărilor autorului de a găsi metode și mijloace de reducere a consumului de energie într-un domeniu mare consumator de energie cum este cel al construcțiilor de mașini, în general, al stărilor de încălzire mașini electrice, în special. Instalația concepută, realizată și experimentată vine să

contribuie în mare măsură la realizarea dezideratului propus.

2. Cu prilejul sesiunilor de comunicații științifice și congrese naționale unde s-au prezentat lucrări în domeniul mașinilor și mașinilor electrice, lucrările subsemnatului cu privire la instalația analizată în prezenta teză, au suscitat interes din partea multor participanți, solicitând informații suplimentare și chiar asistență tehnică în scopul realizării unor astfel de instalații la întreprinderile respective.

3. Tema IX din contractul nr. 142/1960 încheiat cu Întreprinderea Electromotor din Timișoara, de care a răspuns subsemnatul, a cuprins documentația necesară realizării unei instalații recuperative pentru încercări motoare asincrone, urmând a se realiza odată cu construirea laboratorului electric, când vor fi luate în fabricație motoare asincrone de putere medie și mare.

4. Solicitări pentru realizarea unei astfel de instalații, în afară de Întreprinderile Electromotor din Timișoara și Electroputere din Craiova, sînt din partea Întreprinderii Constructoare de Mașini din Reșița, Întreprinderii de Mașini Electrice din Budești și Întreprinderii de reparații mașini electrice din București.

5. Instalația prezentată, așa cum rezultă din studiul teoretic și experimental, poate fi utilizată la încercarea motoarelor asincrone de orice putere, cu precizarea că, cantitatea de energie recuperată este cu atât mai mare cu cât puterea motorului încercat este mai mare.

6. Principiul avantaj al instalației constă în faptul că de data aceasta nu mai trebuie adăugat un generator de încălzire potrivit, întrucît acesta se achiziționează împreună cu motorul ce urmează a fi încercat, din lotul de mașini.

7. Funcționarea instalației este stabilă. Astfel, dacă dintr-un motiv oarecare compensatorul sincron tinde să se oprească, generatorul sincron va ceda un surplus de putere activă, ca urmare a creșterii alunecării sale, care va asigura accelerarea compensatorului pînă la turația și frecvența corespunzătoare regimului de funcționare stabil.

Dacă compensatorul va tinde să accelereze, în urma schimbării de putere activă de la acesta la generator, rotorul compen-

motorului va fi frinat pînă la turația corespunzătoare funcționării stabile.

8. Instalația prezintă o siguranță mare în funcționare. Astfel, dacă în circuitul comun al generatorului și compensatorului apare un scurtcircuit, simultan are loc anularea cîmpului magnetic învîrtitor al generatorului și ca urmare, motorul se descarcă.

9. Turația compensatorului sincron este independentă de turația motorului sincron ce se încarcă.

10. Instalația oferă pe lăcășii simple de modificare a încălzirii motorului ce se încarcă.

11. Cu această instalație pot fi dotate laboratoarele de mașini și acționări electrice din cadrul facultăților de electrotehnică din țară, în scopul efectuării unor lucrări de laborator privind încercarea motoarelor sincrone în diverse condiții, precum și realizarea de lucrări complexe în care se îmbină clasicele mașini electrice cu componente electronice.

12. Instalația reprezintă un prototip ce poate sta la temelie încheierii unor contracte cu întreprinderile constructoare de mașini electrice, în scopul realizării unor standuri de încercare recuperativă a motoarelor asincrone.

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

1. Andreescu, P.L., Bazele electrotehnicii. Editura Didactică și Pedagogică București, 1972
2. Anrot, A. Elemente de matematică pentru inginerii din electrotehnică și telecomunicații. Editura Tehnică București, 1966
3. Bobușiu, I., Opradeck, B. Determinarea în condiții uzuale a caracteristicilor mecanice la mașinile e-sincrone. Institutul de Documentare Tehnică București 1970
4. Bolobanias, B., Diekert, T., Teoria modernă a circuitelor. Traducere din literatură americană. Editura Tehnică București, 1974.
5. Bershard, J.K. Inițiere în tiristoare. Editura Tehnică București, 1974.
6. Boldea, I. Încercările mașinilor electrice. Centrul de Multiplicare al I.P. "Traian Vuia" Timișoara, 1960.
7. Boldea, I., Atanasiu, Gh., Analiza unitară a mașinilor electrice. Editura Academiei R.S.R. București, 1983
8. Boțan, H.V. Bazele calculului secționărilor electrice. Editura Tehnică București, 1970.
9. Boțan, H.V. Comanda sistemelor de secționare electrice. Editura Tehnică București, 1977.
10. Brăsovean, M., Acționări electromecanice. Editura Didactică și Pedagogică București, 1967.
11. Brăsovean, M., Berceia, S., Bogheviu N., Bolonen, A., Trifa, V., Acționări electrice. Aplicații industriale. Editura Tehnică București, 1977.
12. Bulucea, S., Vais, M., Profețe, M., Circuite integrate liniare. Editura Tehnică București, 1975
13. Călin, C., Mașini electrice. Teorie și încercări. Editura Didactică și Pedagogică București, 1982
14. Ciocăneanu, A., Mașini și acționări electrice. Reprezentanța Universității din Craiova, 1974.

15. Orban, A., **Maşini electrice. Editura Universităţii Româneşti Craiova, 1978.**
16. Gheorghiu, F., Sulino, A., Bocu, E., **Electronica industrială. Editura Didactică şi Pedagogică Bucureşti, 1981.**
17. Charlton, P.K., **Electronic Circuits. Mc Graw Hill, New York, 1971.**
18. Cioabă, I., Rădulescu, N., Cristea, V., **Maşini electrice. Instrucţiuni de proiectare. Editura Universităţii Româneşti Craiova, 1981.**
19. Ciugudean, T., Ersch, H., **Proiectarea transformatoarelor electrice. Institutul Politehnic Timişoara, 1966.**
20. Constantin, P., Madu, O., **Transistoare unijoncţiune. Aplicaţii. Editura Tehnică Bucureşti, 1978.**
21. Carăţeanu, V., Bergman, I., **Curs de încercări de maşini electrice Iasi, 1958.**
22. Danuş, R., Tunsoiu, A., Iobog, L., Tomescu, M., **Electronica. Editura Didactică şi Pedagogică Bucureşti, 1979.**
23. Dan, I., Rescan, A., **Recreare cu semiconductoare. Editura Tehnică Bucureşti, 1975.**
24. Dances, I., **Programarea calculatoarelor numerice pentru rezolvarea problemelor cu caracter tehnic şi de cercetare ştiinţifică. Editura Dacia Cluj-Napoca, 1975.**
25. Dănilă, Th., Bocu, N., Boişin, V., **Dispozitive şi circuite electronice. Editura Didactică şi Pedagogică Bucureşti, 1982.**
26. Dewan, J.R., Birmingham, A., **Power Semiconductor Circuits. John Wiley and Sons, Inc, New-York, 1975.**
27. Diaconescu, M., Greur, I., **Matematică. Baze teoretice şi elemente de proiectare. Institutul Politehnic Iaşi, 1978.**
28. Eima, I., **Materiale şi dispozitive semiconductoare. Editura Didactică şi Pedagogică Bucureşti,**

198a

CA

29. Borden, T., **Mașini electrice. Editura Didactică și pedagogică București, 1977**
30. Brăzăneanu, O., **Metodă pentru încercarea în sarcină a mașinilor asincrone. Inventie Nr.43682.**
31. Crobășin, I., **Proctrasovetelnăe ustonovki nizkoi cistotă. Izdatelstvo "Energia" Moskva, 1965.**
32. Dușă, Gh., **Mașini electrice. Încercări și regimuri de funcționare. Universitatea din Brașov, 1977.**
33. Esibian, S., **Stend dles ispitania elektrodvigateli. Promyshlennia Energetika, URSS. Nr.6, 1958.**
34. Filipino, I., **Încercările mașinilor electrice. Iași, 1973.**
35. Francus, A., Măruș, H., Cămpăanu, A., Condruș, M., Tocoș, M., **Mașini și sisteme de acționări electrice. Probleme fundamentale. Editura Tehnică București, 1978.**
36. Francus, A., Măgureanu, R., Tocoș, M., **Mașini și acționări electrice. Culegere de probleme. Editura Didactică și Pedagogică București, 1980.**
37. Francus, A., Ionescu, M., Măgureanu, R., Ștefănescu, M., **Mașini și acționări electrice. Indrumar de laborator. Litografia Institutului Politehnic București, 1979.**
38. Jerybet, T., Dival, I., Ișra, G., **Utilizarea redresoarelor comandate în acționări electrice. Editura Tehnică București, 1967.**
39. Mărlăuș, St., **Electronică și automatizare. Institutul Politehnic "Traian Vuia" Cluj-Napoca, 1977.**
40. Ștefăniță, S.I., **Mașini electrice. Probleme și aplicații industriale. Editura Tehnică București, 1966.**
41. Ștefăniță, S.I., Francus, A., **Tratat de mașini electrice. Vol. 1-4. Editura Academiei R.S.R. 1966-1972.**
42. Golbenberg, I., **Teoria și calculul circuitului de impulsuri. Editura Tehnică București, 1972.**

43. Dray, P., Bazele electronicii moderne. Editura Tehnică București, 1973.
44. Heșcu, V., Schemă electrică pentru încercarea motoarelor asincrone la cuplu constant. Buletin științific și tehnic al I.P. Timișoara, Fasc. 2, 1982
45. Heșcu, V., Studiul unei scheme cu compensator sincron de încercare a motoarelor asincrone. Buletin științific și tehnic al I.P. Timișoara, Fasc. 1, 1982.
46. Heșcu, V., Schemă recuperativă pentru încercarea motoarelor asincrone. Conferința Națională de Electrotehnică și Electroneuenergetică Timișoara, 17-18 sept. 1982
47. Heșcu, V., Dependența dintre elanșurile a două mașini asincrone identice cuplate rigid, funcționând una în regim de motor, iar cealaltă ca generator. Buletin științific și tehnic al I.P. Timișoara, Fasc. 1, 1982.
48. Heșcu, V., Schemă electrică recuperativă MAGANUCS pentru încercarea motoarelor asincrone. Comunicată la Simpozionul de Mașini electrice asociate cu convertoare statice, București, 18-19 nov. 1983.
49. Heșcu, V., Electric scheme for testing the asynchronous motors with or without energy recuperation. The third National Conference on Electrical Drives, May 28-30, Brno, 1982.
50. Heșcu, V., Cercetări cu privire la comanda unui inverter dintr-o schemă recuperativă de încercare a motoarelor asincrone. Conferința Națională de Acționări Electrice. Craiova, sept. 1984.
51. Heșcu, V., Studiul unui motor dintr-o schemă de încercare a motoarelor asincrone cu recuperare de energie.

- Conferința Națională de Electrotehnică și Electroenergetică Craiova, sept. 1984.
52. Heșca, V., Studiul experimental al sistemului cu compensator sincron de încălzire a motoarelor asincrone. Buletin științific și tehnic al I.P. Timișoara, Fasc. 1, 1979.
53. Heșca, V., Stand for testing asynchronous motors at constant speed. Buletin științific și tehnic al I.P. Timișoara, Tom 26(42), 1983
54. Heșca, V., Asupra unei scheme de încercare a motoarelor asincrone. Lucrările I.C.P.E. Nr.29, București, 1974
55. Heșca, V., On a scheme with energy recuperation for asynchronous motors testing. The Second National Conference on Electrical Drives, May 16-17, 1980. Proceedings Cluj-Napoca.
56. Heșca, V., Studiul experimental al unei scheme electrice cu recuperare de energie pentru încercarea motoarelor asincrone de mare putere. Buletin științific și tehnic al I.P. Timișoara, Fasc. 2, 1980.
57. Heșca, V., Bloc de comandă, reglare și protecție pentru un stand de încercare motoare asincrone cu recuperare de energie. Certificat de Inovator Nr.202/21.06.1985
58. Haraden, D.L., Golden, B.V., Power Semiconductor Applications. IEEE Press, New-York, 1972
59. Hofmann, J., Kurzschlussinferktor als Belastungsschleife. Electric, Sept 21, 1959.
60. Jerve, G.A., Încercările mașinilor electrice rotative. Editura Tehnică București, 1972.
61. ugan, C., Circuite și coperți convenționale. Editura Junimea Iași, 1983
62. Keleşan, A., Inceș, K., Matatecare. Editura Științifică și Pedagogică București, 1978.
63. Keleşan, A., Inceș, K., Matatecare. Aplicații. Editura Di-



- didactică și Pedagogică București, 1980.
64. Kelemen, A., Acționări electrice. Editura Didactică și Pedagogică București, 1976.
65. Kelemen, A., Inoș, M., Electronica de putere. Editura Didactică și Pedagogică București, 1983.
66. Kovacs, K.P., Analiza regimurilor tranzitorii ale mașinilor electrice. Editura Tehnică București, 1980.
67. Kron, A.W., Prüffeldmessungen an grossen Aussenmaschinen. ZfP-A, Bd. 90, Heft 12, 1969.
68. Kümmel, F., Elektrische Antriebstechnik. Springer Verlag Berlin-New York, 1971.
69. Labunțov, V.A., Tugov, N.M., Tiristoare de putere. Regimuri dinamice de exploatare. Editura Tehnică București, 1983.
70. Levin, V.I., Shema nagrușcînăh ispâtanii asinronnăh ostârehpolinănah elektrodvigatelai noșoinostiu avîșe lee kv. Vestnik Elektromășinnoști Nr.2, 1983.
71. Matias, I., Convertoare electrice. Litografia Universității din Brașov, 1983.
72. Maxin, G., Dispozitive electronice. Vol. 1 și 2. Litografia I.S. Iași, 1976.
73. Meyer, M., Tiristoarele în practică. Mutatoare cu comutație forțată. Editura Tehnică București, 1970.
74. Nicu, E., Acționări electrice și automatizări. București, 1980.
75. Nitrofan, G., Generatoare de impulsuri și tensiune liniar variabilă. Editura Tehnică București, 1980.
76. Nöltgen, G., Tiristoarele în practică. Mutatoare cu comutație de la rețea. Editura Tehnică

București, 1970.

77. Kure, M., Popescu, V., **Electronica industrială**. Institutul Politehnic "Traian Vuia" Sialocara, 1973.
78. Margay, I.M., **Thyristor Control of A.C. Motors**. Pergamon Press, London, 1973
79. Müller, R., **Venerungen im Bau von Leistungswagen Anlagen**. Bulletin Cerlixon Nr. 339, April 1960
80. Nedelcu, V., **Regipurile de funcționare ale mașinilor de curent alternativ**. Editura Tehnică București, 1968
81. Keumann, K., Stumpe, G.A., **Thyristoren**. B.G. Teubner, Stuttgart, 1969.
82. Novac, I., **Mașini electrice**. Institutul Politehnic Timișoara, 1969.
83. Novac, I., ș.a., **Mașini și acționări electrice**. Editura Didactică și Pedagogică București, 1982
84. Nürnberg, W., **Die Prüfung Elektrischer Maschinen**. Springer Verlag Berlin, 1999.
85. Renner, I., **Electronica industrială**. Editura Didactică și Pedagogică București, 1972.
86. Ranshaw, R.D., Kolejka, J., Otsuki, K., **Testing of large induction motors from small capacity supplies**. IAS Ann. Meet. IEEE Ind. Appl. Soc. 1973
87. Ranshaw, R., **Power electronics, thyristor controlled Power for Electric Motors**. Chapman and Hall, London, 1973
88. Raske, F., **Scriebuch über Elektromaschinenbau**. Handb. für Entwickler, Technischer Verlag Herbert Grub, Berlin, 1971.
89. Răduți, C., Niculescu, E., **Mașini electrice fabricate în România**. Editura Tehnică București, 1981
90. Richter, H., **Mașini electrice**. Editura Tehnică București, 1968
91. Saal, C., Săbă, W., **Sisteme de acționare electrice. Determinarea parametrilor de funcționare**. Editura Tehnică, București, 1981.

92. Scheffold, E., Die Prüfung Elektrischer Maschinen. LMA, MFO, 43, Nr.2, 1964.
93. Scheffold, E., Die Prüfung Elektrischer Maschinen. EMA, MFO, 43, Nr.5, 1964
94. Seracin, E., Acționări electrice. Centrul de multiplicare al Institutului Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, 1980.
95. Seracin, E., Popovici, D., Tehnica acționărilor electrice. Editura Tehnică București, 1985
96. Sirotin, A.A., Comanda automată a acționărilor electrice. Editura Tehnică București, 1961.
97. Sora, I., Acționări electrice și automatizări. Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, 1978.
98. Iăncuș, M., Pericean, S., Electronica și automatizare. Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, 1978.
99. Tits, G., Cure de automatizare. Institutul Politehnic București, 1977.
100. Toro, V., Parker, S.R., Principles of Control Systems Engineering. Mc Graw Hill New York, 1960.
101. Iretiakev, M.M., Испытания электродвигателя малой мощности. Москва, 1966.
102. Tuncsoiu, Gh., Acționări și automatizări electrice. Editura Didactică și Pedagogică București, 1968.
103. Tuncsoiu, Gh., Seracin, E., Sași, C., Acționări electrice. Editura Didactică și Pedagogică București, 1982.
104. Vătășescu, A., Circuite cu semiconductoare în industrie. Amplificatoare și oscilatoare. Editura Tehnică București, 1971.
105. Vătășescu, A., Dispozitive semiconductoare. Editura Tehnică București, 1975.
106. Zilberman, B.Z., Modernizarea acționărilor electrice. Editura Tehnică București, 1963.

107. x <sup>x</sup> x Metode noi utilizate la incercarea maşinilor electrice. Institutul de Documentare Tehnică Bucureşti, 1966
108. x <sup>x</sup> x Cercetări experimentale asupra comportării diverselor variante constructive de maşini asincrone şi sincrone în perioada pornirii. Institutul de Documentare Tehnică Bucureşti, 1965
109. x <sup>x</sup> x Manualul inginerului electrician. Vol.2. Editura Tehnică Bucureşti, 1954
110. x <sup>x</sup> x Uj medzier inducţiei motorok visegálátára. Elektrotechnika, KFT. 51, Nr. 1-2. 1961
111. x <sup>x</sup> x Diode şi tiristoare. Catalog I.I.N.S. - Hânceasa
112. x <sup>x</sup> x Circuite integrate logice. Catalog I.I.N.S. - Hânceasa.
113. x <sup>x</sup> x Rezistenţe. Catalog I.C.E.F. Curtea de Argeş
114. x <sup>x</sup> x Condensatoare. Catalog I.C.E.F. Curtea de Argeş
115. x <sup>x</sup> x Condensatoare. Catalog Teaneton, Iaşi.
116. x <sup>x</sup> x Circuite cu tranzistoare în industrie. Prezentare. Docens. Editura Tehnică, Bucureşti, 1964
117. x <sup>x</sup> x Echipamente modulare cu semiconductoare de putere. Elaborat de I.F.A. Bucureşti.
-

C u p r i n s

	pag.
INTRODUCERE	1
CAPITOLUL 1	
METODE DE ÎNCĂRCARE ȘI SCHEME DE ÎNCĂRCARE A MOTOARELOR ASINCRONE UTILIZATE ÎN PRESENT	
1.1. Metode de încărcare a motoarelor asincrone	6
1.2. Scheme de încărcare a motoarelor asincrone	8
1.2.1. Scheme de încărcare a motoarelor asincrone cu disipare totală a energiei	9
1.2.1.1. Scheme pentru încărcarea motoarelor asincrone folosind generatorul de curent continuu (Gcc)	9
1.2.1.1.1. Cazul folosirii Gcc cu excitație independentă	9
1.2.1.1.2. Cazul folosirii Gcc cu excitație derivativă	10
1.2.1.1.3. Cazul folosirii Gcc conectat la o rețea de tensiune variabilă	11
1.2.1.2. Scheme de încărcare a motoarelor asincrone folosind generatorul sincron	11
1.2.1.3. Scheme de încărcare a motoarelor asincrone cu generator sincron și compensator sincron	13
1.2.2. Scheme de încărcare a motoarelor asincrone cu recuperare totală sau parțială a energiei	17
1.2.2.1. Scheme în care drept generator	

	pag.
de încălzire este folosită mașina asincronă cu rotor în celivie	17
1.2.2.1.1. Schemă transmisiei prin curea între motorul de încălzire și generatorul de încălzire	17
1.2.2.1.2. Folosirea generatorului asincron cu poli conta- bili	18
1.2.2.1.3. Combinarea celor două pro- cedee	19
1.2.2.2. Scheme în care drept generator de în- călzire este folosită mașina asincronă cu inele	19
1.2.2.2.1. Schemă de încălzire în opo- ziție	19
1.2.2.2.2. Schemă cu generator asincron cu turație sincronă inferi- oară celei a motorului asin- cron de încălzire	19
1.2.2.3. Scheme de încălzire recuperativă a mo- toarelor asincrone folosind mașini de curent continuu și alternativ	20
1.2.2.3.1. Scheme în care motorul de în- călzire se alimentează cu ten- siune constantă	20
1.2.2.3.1.1. Scheme cu două mașini de curent continuu și un generator asincron	20
1.2.2.3.1.2. Schemă de încălzi- re folosită la 220V. Rețipa	21
1.2.2.3.2. Scheme în care motorul de în- călzire se alimentează cu ten- siune variabilă	23
1.2.2.3.2.1. Scheme celor opt mașini	23
1.2.2.3.2.2. Schemă complexă	

	pag.
pentru încercarea cercetării relelor asincrone de și de cu- rent continuu	24
1.2.2.3.3. Scheme de încercare a motoarelor asincrone de mare putere cu ajutorul mașinilor de putere mi- că	27
1.2.2.3.3.1. Scheme cu doi mașini cuplate ne- censic cu mo- torul de în- cercare	27
1.2.2.3.3.2. Scheme cu coul lega- turi de mașini co- nectate în paralel	28
1.2.2.3.4. Scheme de încercare a motoarelor asincrone folosind mașini elec- trice speciale	30
1.2.2.3.4.1. Scheme de încercare cu mașina trifazată cu colec- tor	30
1.2.2.3.4.2. Scheme de încercare în opozi- ție cu grup con- vertisor de frec- vență	31

	pag.
<b>CAPITOLUL 2</b>	
<b>INSTALLAȚIE RECUPERATIVĂ DE ÎNCERCARE A MOTORA- NELOR ASINCRONE PROPUȘA DE AUTOR</b>	<b>34</b>
2.1. Prezentarea instalației	34
2.2. Pornirea instalației	36
2.3. Situațiile în care poate fi făcut un motor asincron	38
2.4. Variante de folosire a instalației propuse de autor	41
2.5. Studiul teoretic al variantelor de folosire a instalației propuse de autor	47
2.5.1. Variante cea mai simplă și economică ( $T_1$ , $T_2$ , $R_0$ )	47
2.5.2. Variante cu transformatorul de adaptare $T_2$ intercalat între rețea și inverter (B)	51
2.5.3. Variante cu reostatul $R_0$ în circuitul in- termediar al motorului	52
2.5.4. Variante cu transformatorul de adaptare $T_1$ intercalat între nodul N și rețea (A)	53
2.5.5. Variante cu transformatoarele de adaptare $T_1$ și $T_2$ și reostatul $R_0$ din circuitul in- termediar al motorului	54
2.5.6. Convertirea cuscțiilor	55
2.6. Studii concrete cu precizări și exemplificări	62
2.6.1. Variante prezentată în figura 25	63
2.6.2. Variante prezentată în figura 26	67
2.6.3. Variante prezentată în figura 27	68
2.6.4. Variante prezentată în figura 28	68
2.6.5. Variante prezentată în figura 29	70
2.7. Dependente dintre clasele de magistrelor M1 și M2	71
2.7.1. Reducerea ecuației de dependență	71
2.7.2. Rezolvarea ecuației de dependență	75
2.8. Dimensionarea instalației	77
<b>CAPITOLUL 3</b>	
<b>MOTORUL DE BLOCUL DE COMANDĂ AL INSTALLAȚIEI DE ÎNCERCARE A MOTORILOR ASINCRONE PROPUȘA DE AUTOR</b>	<b>81</b>
3.1. Motorul	81



	Pag.
3.1.1. Reducerea expresiei tensiunii redresate la bornele convertorului A	82
3.1.2. Reducerea expresiei tensiunii redresate la bornele convertorului B	84
3.1.3. Reducerea expresiei tensiunii la bornele motorului	84
3.1.4. Calculul valorii medii a tensiunii redresate	86
3.1.5. Calculul valorii medii a tensiunii motorului	87
3.1.6. Expresia tensiunii la bornele motorului în cazul real de funcționare	89
3.1.7. Curentul mediu din circuitul intermediar al motorului	91
3.1.8. Puterea din circuitul intermediar al motorului	93
3.2. Blocul de comandă	94
3.2.1. Sistemul de formare, blocare și amplificarea a impulsurilor	94
3.2.2. Sistemul de reglare și protecție	104
3.2.3. Surse de tensiuni	106
 <b>CAPITOLUL 4</b>	
<b>VALIDAREA EXPERIMENTALĂ ȘI EFICIENȚA ECONOMICĂ A INSTALAȚIEI RECUPERATIVE PROPUSE</b>	
4.1. Validarea experimentală a instalației	107
4.2. Eficiența economică a instalației recuperative propuse	137
 <b>CAPITOLUL 5</b>	
<b>CONSIDERAȚII FINALE ȘI CONCLUZII</b>	
5.1. Confruntarea schemei prezentate cu celelalte scheme recuperative cunoscute	148
5.2. Contribuția ale doctorandului	149
5.3. Concluzii	150
 <b>BIBLIOGRAFIE</b>	 153
<b>cuprins</b>	<b>162</b>