

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

ING. GHEJU PETRU

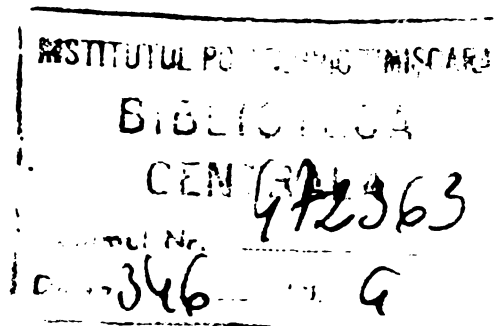
T E Z A D E D O C T O R A T

CONTRIBUTII LA STUDIUL INFLUENTEI CONSUMATORILOR FORMATI DIN MOTOARE
ASINCRONE ASUPRA CURENTELOR DE SCURTCIRCUIT DIN REATEAUA LOR DE ALI-
MENTARE, A COMPORTARII LOR IN TIMPUL SCURTCIRCUITELOR SI A DETERMI-
NARII PARAMETRIILOR MOTOARELOR.

CONDUCATOR STIINTIFIC

PROF.DR.ING. NOVAC IOAN

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA



TIMISOARA 1983

ANALIZA STADIULUI ACTUAL DE ABORDARE A PROBLEMEI COMPORTĂRII LA SCURT-CIRCUITE A CONSUMATORILOR FORMAȚI DIN MOTOARE ELECTRICE ȘI A INFLUENȚEI LOR ASUPRA CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT.

1.1. Necesitatea considerării influenței consumatorilor formați din motoare electrice asupra curenților de scurtcircuit.

Mărirea preciziei de calcul a proceselor tranzitorii din sistemul energetic, în general și a curenților de scurtcircuit, în particular, se poate face numai dacă se ia în considerare și influența consumatorilor asupra acestor procese, respectiv asupra curenților de scurtcircuit din sistem. Până nu demult, calculul curenților de scurtcircuit, deși era indicat în literatura de specialitate, era bazat pe luarea în considerare numai a contribuției generatorilor sincroși și eventual a motoarelor sincroși de putere mare, influența alți consumatori asupra curenților de scurtcircuit fiind, sau complet neglijată, sau considerată într-un mod cu totul aproximativ. Experiența de exploatare a instalațiilor electrice a arătat că aceasta a fost, la timpul ei, o metodă realistă de evaluare a valorilor curenților de scurtcircuit, dar coeficienții de siguranță admiși la proiectarea instalațiilor în trecut nu mai pot fi admiși și în prezent, din cauza unor considerente expuse în cele ce urmează.

Pentru instalațiile mai vechi nu se impunea o eliminare foarte rapidă a scurtcircuitelor. Ca urmare, timpii lungi de acționare ai protecțiilor și de declanșare ai întreruptoarelor, cu care erau echipate respectivele instalații, asigurau ca în momentul deschiderii contactelor întreruptoarelor orice contribuție din partea consumatorilor la curentul total de scurtcircuit să poată fi considerată complet amortizată.

Dezvoltarea rapidă a sistemelor energetice a avut drept urmare și creșterea rapidă și continuă a valorilor curenților de scurtcircuit. Pentru a asigura protecția echipamentului față de efectele acestor cureniți de valori mari și pentru a reduce la minim perturbarea sistemului, asigurând astfel stabilitatea lui, sînt necesari timpii de înlăturare ai scurtcircuitelor de valori tot mai mici. Acest lucru s-a realizat prin reducerea continuă a timpilor de funcționare ai protecțiilor, precum și a timpilor proprii de declanșare ai întreruptoarelor, ceea ce a dat posibilitatea să se obțină un timp total de înlăturare a scurtcircuitelor de ordinul a circa 4-5 perioade (80-100 ms). În acest interval de timp extrem de redus, contribuția consumatorilor la curentul total de scurtcircuit nu se mai poate considera complet amortizată și ca urmare trebuie luată în considerare la stabilirea puterii de rupere necesare a întreruptoarelor.

În continuare se va folosi în loc de terminologia "contribuția consumatorului format din motoare electrice la curentul total de scurtcircuit" și terminologia de "curentul de scurtcircuit provenit de la consumator" sau "curentul de scurt-

circuit provenit de la motoare".

În paralel cu perfecționarea echipamentului de protecție prin relee și a celui de comutație a avut loc o dezvoltare rapidă a unor ramuri ale industriei (chimică, petrochimică, metalurgică, de prelucrare a celulozei, etc.), în care marile combinate constituie puternici consumatori concentrați, formați în majoritate din motoare electrice. Același lucru s-a întâmplat și în cadrul serviciilor proprii ale marilor centrale termoelectrice, în componența cărora intră aproape în exclusivitate motoare electrice asincrone.

Concomitent cu creșterea numărului de motoare electrice, folosite pentru diferite acționări industriale, au crescut și puterile unitare ale acestora. Astfel în /40/ se arată că în marile combinate chimice puterea unitară nominală a motoarelor asincrone poate ajunge pînă la 25.000 kW.

Pentru studiul comportării în timpul scurtcircuitelor a consumatorilor formați din multe motoare electrice și pentru evaluarea curentului de scurtcircuit provenit de la aceștia, este de o mare importanță cunoașterea compoziției relative a consumatorilor din nodurile electrice. Aceasta este variabilă, fiind dependentă de ramura industrială alimentată din nodul respectiv. În orice caz, în ultimul timp se observă o tendință accentuată de creștere a ponderii motoarelor electrice asincrone în ansamblul consumatorilor din nodurile electrice. Astfel, în /57/ se arată că pentru un nod ce alimentează industrie minieră, ponderea motoarelor asincrone poate ajunge pînă la 74 % din totalul consumatorului; pentru un nod ce alimentează industrie constructoare de mașini sau industrie ușoară pînă la 75 %; pentru un nod ce alimentează industrie metalurgică pînă la 25-30 %; pentru unele noduri ce alimentează zone agricole și utilizări casnice pînă la 91 %. În /93/ se arată că în cadrul serviciilor proprii ale marilor termocentrale, ponderea motoarelor asincrone este de 80-90 % din totalul consumatorului.

În cazul cînd consumatorul este constituit dintr-un număr mare de motoare electrice de puteri mari, literatura de specialitate /10/, /57/, /132/ semnaleză faptul că în primele perioade ale scurtcircuitului contribuția acestui consumator la valoarea curentului total de scurtcircuit poate depăși contribuția celorlalte surse de alimentare ale acestuia. Pe de altă parte, în literatură, ca de exemplu în /132/, se semnaleză faptul că în ultimul timp pentru protecția motoarelor asincrone au început să se folosească tot mai des siguranțe fuzibile rapide, care elimină scurtcircuitul în mai puțin de $\frac{1}{2}$ perioadă, cînd valoarea curentului de scurtcircuit provenit de la motoare este maximă. Deoarece constanta de timp de amortizare a componentei aperiodice a curentului de scurtcircuit provenit de la consumatorul format din motoare asincrone este de același ordin de mărime cu constanta de timp de amortizare a componentei periodice a acestuia /10/, /43/, la stabilirea puterii de rupere necesare a întreruptoarelor sau fuzibilelor va trebui să se ia în considerare valoarea efectivă a curentului de scurtcircuit asimetric provenit de la motoarele asincrone. Aceasta va trebui calculată pentru momentul separării contactelor întreruptorului sau topirii fuzibilului.

În multe lucrări din literatura de specialitate anglo-saxonă /6/, /10/, /13/,

/19/, /132/ se poartă discuții, uneori contradictorii, privind raportul dintre capacitatea de închidere și cea de rupere a întreruptoarelor prevăzute să funcționeze în instalații ce alimentează consumatori formați din multe motoare asincrone. Oricum, capacitatea de închidere este strâns legată de valoarea curentului de șoc, deci implicit de constanta de timp de amortizare a componentei aperiodeice a curentului de scurtcircuit provenit de la consumatorul format din motoare asincrone.

În literatura franceză preocupările privind această problemă sînt relativ reduse, dar în /82/ se atrage atenția asupra faptului că întreruptoarele din instalațiile de tipul amintit mai sus trebuie să posedo o capacitate de închidere mărită, din cauza curentului de șoc de valoare ridicată care poate să apară.

În literatura sovietică /57/, /93/, /129/ curentul de șoc este corelat cu stabilitatea electrodinamică a întreruptoarelor și în general a aparatajului. În lucrările amintite este luată în considerare și influența curentului de scurtcircuit provenit de la consumatorii formați din multe motoare electrice asupra stabilității termice a aparatajului de comutație și a căilor de curent.

Preocupări similare se manifestă și în unele lucrări de specialitate publicate în țara noastră /90/, /95/, /96/, /97/, /112/.

În literatura germană /52/, /74/, /75/, /76/, /77/, /78/, /79/, /94/ autorii sînt preocupați de determinarea mărimilor care caracterizează curentul de scurtcircuit ce provine de la consumatorii formați din motoare asincrone.

Informații privind analiza contribuției la curentul total de scurtcircuit a consumatorilor formați din motoare sincrone există în relativ puține lucrări de specialitate /73/, /129/. În privința motoarelor sincrone sînt de relevat cîteva aspecte, care le deosebesc de motoarele asincrone sub aspectul contribuției lor la curentul total de scurtcircuit. Constantele de timp ale componentelor curentului de scurtcircuit provenit de la motoarele sincrone sînt mult mai mari decît cele ale componentelor curentului de scurtcircuit provenit de la motoarele asincrone și ca urmare amortizarea curentului de scurtcircuit provenit de la un motor sincron este mult mai redusă. Acesta face ca raportul dintre valoarea acestui curent în momentul separării contactelor întreruptorului și valoarea sa inițială să fie mult mai mare decît în cazul motoarelor asincrone. De aceea, dintre două motoare electrice de aceeași putere, unul sincron și altul asincron, cel sincron are o influență mai mare asupra puterii de rupere necesare a întreruptorului.

Un alt aspect ce trebuie relevat este faptul că, spre deosebire de motorul asincron, motorul sincron este excitat atît înainte de producerea scurtcircuitului, cît și în timpul acestuia. Din acest punct de vedere motorul sincron poate funcționa în regim supraexcitat sau subexcitat. Valoarea tensiunii electromotoare a motorului, deci și valoarea curentului de scurtcircuit provenit de la motor depinde de regimul de excitație al motorului.

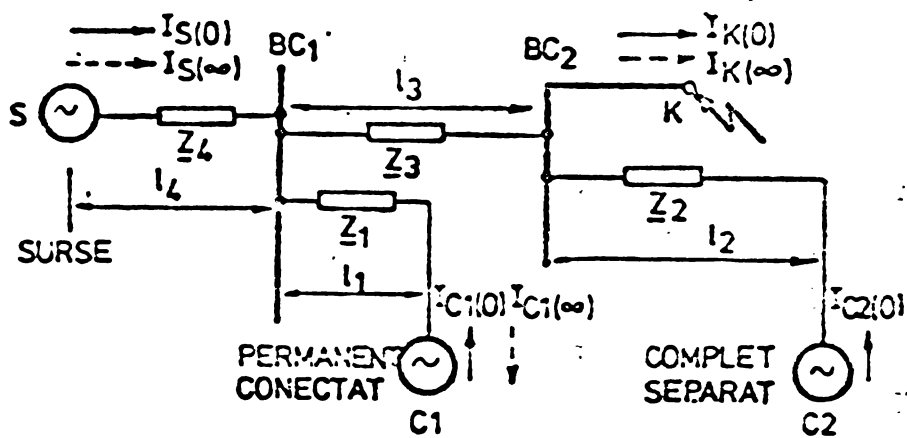
Din cele prezentate rezultă că, atît în scopul dimensionării corecte și economice a instalațiilor electrice energetice, cît și în scopul exploatării acestora prin reglaje mai exacte ale protecțiilor prin rele, este necesară o evaluare

cantitativă olt mai precisă a influenței consumatorilor formați din motoare electrice asupra curenților de scurtcircuit. Este necesar ca metodele de calcul folosite în acest scop să permită atât determinarea cât mai exactă a valorii inițiale a curentului de scurtcircuit provenit de la consumatorul format din motoare electrice, cât și modul de variație în timp a acestuia. De asemenea aceste metode trebuie să permită evaluarea efectelor acestui curent asupra instalațiilor electrice.

1.2. Clasificarea consumatorilor formați din motoare electrice, din punct de vedere a poziției lor față de locul de scurtcircuit și față de sursele de alimentare.

Analiza comportării în timpul scurtcircuitului a consumatorilor și stabilirea influenței lor asupra curentului de scurtcircuit trebuie să se facă în raport cu poziția acestora față de locul scurtcircuitului și față de sursele de alimentare. În /57/, /65/, /74/, /76/, /77/, /78/ se arată că din acest punct de vedere consumatorii se pot clasifica conform figurii 1.1 în :

- consumatorul C2 complet separat față de sursele de alimentare în timpul unui scurtcircuit în punctul K ;
- consumatorul C1 permanent conectat la sursele de alimentare, care în timpul scurtcircuitului în K își menține legătura cu sursele de alimentare și în unele cazuri poate prelua energie de la acestea și în timpul scurtcircuitului, chiar



dacă în acest timp tensiunea la bara lui de alimentare BC1 este mai scăzută decât în regiunea normală.

Poziția consumatorilor față de locul scurtcircuitului are o influență hotărâtoare asupra comportării lor în timpul scurtcircuitului, atât din punct de vedere al contribuției lor la valoarea totală a curentului în punctul de scurtcircuit, cât și din punct de vedere al valorilor curenților care circulă pe diferite ramuri spre locul de scurtcircuit.

Consumatorul C1 permanent conectat poate deveni sursă de alimentare a locului de scurtcircuit trifazat, caracterul participării sale la alimentarea locului de scurtcircuit depinzând de dis-

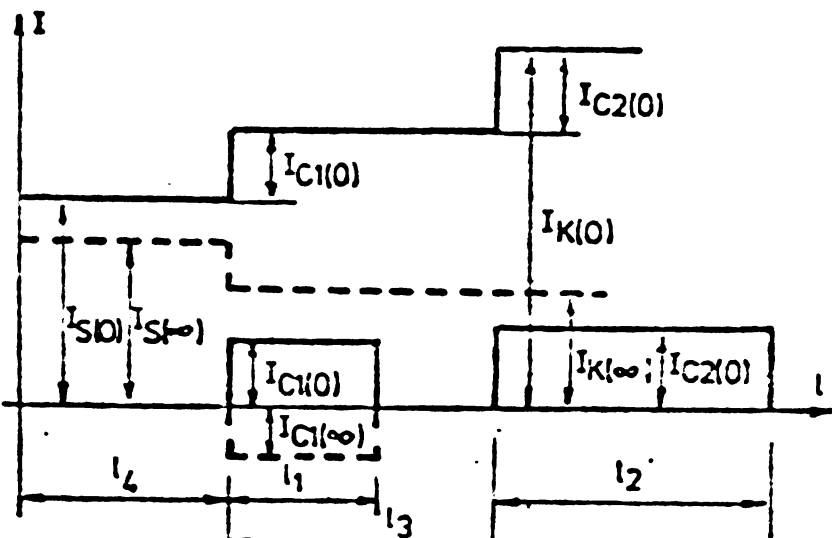


Fig.11 Clasificarea consumatorilor după poziția lor față de sursă și de locul scurtcircuitului.

tanța sa electrică față de acest punct și de compoziția sa relativă. În /65/ se afirmă că indiferent de distanța electrică a consumatorului permanent conectat față de locul scurtcircuitului trifazat, dacă în compoziția sa intră preponderent motoare electrice, în primele perioade ale scurtcircuitului el va alimenta locul scurtcircuitului. Această afirmație este argumentată prin faptul că la apariția scurtcircuitului trifazat în punctul K tensiunea la bara BC1 a consumatorului C1 scade brusc, această scădere fiind funcție de distanța electrică între bara BC1 și locul scurtcircuitului. Acest punct de vedere este combătut în lucrarea /57/, în care contraargumentele sînt susținute de încercările experimentale efectuate. În /57/ se specifică că dacă consumatorul permanent conectat C1 este la o distanță electrică mare față de locul scurtcircuitului, el are la bara sa BC1, încă din primele perioade ale scurtcircuitului, o tensiune remanentă de valoare apropiată de cea a regimului normal de funcționare. Ca urmare și în timpul scurtcircuitului acest consumator va absorbi curent de la surse, ceea ce conduce la micșorarea curentului total de scurtcircuit în punctul de defect, comparativ cu situația cînd consumatorul respectiv ar fi complet neglijat. Dacă consumatorul permanent conectat C1 este la o distanță electrică mică față de locul scurtcircuitului, tensiunea remanentă la bara sa BC1, încă din primele perioade ale scurtcircuitului, are valoare foarte redusă și ca urmare consumatorul permanent conectat devine o sursă suplimentară, care alimentează locul de defect, ceea ce conduce la mărirea curentului total de scurtcircuit în punctul de defect, comparativ cu situația cînd consumatorul respectiv ar fi complet neglijat.

Consumatorul C2 complet separat devine întotdeauna sursă suplimentară de alimentare a locului de scurtcircuit trifazat, deoarece în momentul producerii scurtcircuitului tensiunea la bara sa BC2 scade brusc la zero. Valoarea curentului de scurtcircuit provenit de la acest consumator, precum și caracterul amortizării acestui curent, depinde de compoziția relativă a consumatorului, de puterea motoarelor electrice pe care le conține acesta și de distanța electrică față de locul de defect. Dacă consumatorul complet separat este compus în principal din motoare asincrone, efectul alimentării suplimentare a locului de defect de către consumator se manifestă cu pregnanță în primele perioade ale scurtcircuitului, din cauza amortizării relativ rapide a curentului de scurtcircuit provenit de la consumator. Dacă consumatorul complet separat este compus în principal din motoare sincrone de putere mare, efectul alimentării suplimentare a locului de defect de către consumator se manifestă un timp mai îndelungat, din cauza amortizării mult mai lente a curentului de scurtcircuit provenit de la consumator.

În fig.1.1. este indicată schematic și influența consumatorilor asupra valorilor curenților de scurtcircuit în momentul inițial al producerii scurtcircuitului, moment pentru care curenții au fost notați cu indicele inferior (0), și într-un moment foarte îndepărtat față de momentul producerii scurtcircuitului, moment pentru care curenții au fost notați cu indicele inferior (∞). A fost luată în considerare situația cînd consumatorul permanent conectat are la bara sa în primele perioade ale scurtcircuitului o tensiune remanentă de valoare redusă. În fig.1.1.

sînt puse în evidență pentru cele două momente valorile curenților de scurtcircuit proveniți de la consumatori, valoarea curentului total de scurtcircuit în punctul de defect K, precum și valorile curenților de-a lungul elementelor de legătură. Existența consumatorului permanent conectat conduce la micșorarea curentului total de scurtcircuit în punctul de scurtcircuit K după un timp îndelungat de la producerea scurtcircuitului, chiar dacă în primele perioade ale scurtcircuitului el a contribuit la mărirea curentului total de scurtcircuit în punctul K. Evident că această micșorare, respectiv mărirea a curentului total de scurtcircuit din punctul K este considerată comparativ cu situația în care consumatorul permanent conectat ar fi complet neglijat. De asemenea se observă că după trecerea unui timp îndelungat față de momentul producerii scurtcircuitului, consumatorul complet separat nu mai are nici un fel de influență asupra curentului total de scurtcircuit.

Din cele de mai sus rezultă că influența consumatorilor asupra curenților de scurtcircuit este foarte complexă, această complexitate fiind determinată de o serie de factori, dintre care se consideră a fi foarte importanți următorii:

- compoziția relativă a consumatorilor, fiind foarte important cazul cînd aceștia conțin un număr mare de motoare asincrone și sincrone de putere mare;
- poziția consumatorilor în raport cu locul scurtcircuitului și cu sursele de alimentare;
- modul de variație în timp a tensiunii remanente de la barele consumatorilor în timpul procesului de scurtcircuit;
- timpul care se ia în considerare față de momentul producerii scurtcircuitului.

1.3. Moduri și posibilități de abordare a problemei comportării în timpul scurtcircuitelor a consumatorilor formați din motoare electrice și a stabilirii influenței lor asupra curenților de scurtcircuit.

Problema comportării consumatorilor în timpul scurtcircuitelor și a determinării contribuțiilor acestora la valorile curenților de scurtcircuit a fost abordată pînă în prezent în literatura de specialitate sub diferite forme. Astfel au fost abordate următoarele moduri de tratare a problemei respective:

1) încercări experimentale în sistemele reale de alimentare ale consumatorilor formați din motoare electrice, avînd ca scop determinarea curenților de scurtcircuit proveniți de la consumatori și elaborarea de recomandări practice pentru calculul acestor curenți, recomandări bazate pe rezultatele experimentale obținute /6/, /10/, /13/, /40/, /45/, /52/, /57/, /76/, /82/, /93/, /94/, /129/, /132/;

2) încercări experimentale la scară redusă pe notcare model special construite sau pe motoare de putere mică /9/, /59/, /60/, /122/;

3) tratarea teoretică și modelarea pe calculatoare cifrice și analogice /38/ /43/, /45/, /59/, /60/, /61/, /67/, /74/, /77/, /78/, /79/, /80/, /105/, /122/.

1.3.1. Incercări experimentale în sistemele reale de alimentare ale consumatorilor și recomandări practice de calcul.

Incercările experimentale în sistemele reale de alimentare ale consumatorilor au arătat că în cele mai multe cazuri contribuțiile acestor consumatori la valorile curenților de scurtcircuit sînt foarte importante. De asemenea au scos în evidență importanța diferiților factori asupra acestor contribuții. Incercările experimentale la scară reală au fost efectuate fie în cadrul serviciilor proprii ale centralelor electrice, care conțin multe motoare electrice, fie în cadrul unor mari consumatori industriali, cu puternic caracter asincron. Pe baza rezultatelor obținute în urma încercărilor experimentale, unii autori au încercat să elaboreze recomandări sau metode practice de calcul, care să țină seama pe cît posibil de cît mai mulți factori care au influență asupra valorilor curenților de scurtcircuit proveniți de la consumatori. Unele din aceste metode, deoarece iau în considerare numai o serie din acești factori, sînt mai puțin precise.

1.3.1.1. Metoda sarcinii generalizate. Critica metodei.

Pentru calculul curenților de scurtcircuit proveniți de la consumatori, în /129/ se indică folosirea metodei sarcinii generalizate. Metoda constă în considerarea motoarelor și a celorlalți consumatori de energie sub forma unor sarcini generalizate, conectate în nodurile importante ale sistemului. În /129/ se afirmă că aceste sarcini generalizate se caracterizează prin parametri medii, obținuți pe baza structurii tip a consumatorilor din zona industrială respectivă și pe baza schemei tip a rețelei de alimentare a consumatorilor respectivi. Autorul nu dă însă nici un fel de indicație asupra modului cum pot fi obținuți efectiv acești parametri medii și nici asupra modului cum se poate obține structura tip a consumatorilor. În schimb afirmă că în momentul inițial al procesului tranzitoriu de scurtcircuit, sarcina generalizată poate fi caracterizată printr-o reactanță supratranzitorie $x_{s.g.}^{**}$ și o tensiune electromotoare supratranzitorie E_{sg}^{**} ale căror valori, în unități relative sînt:

$$(1.1) \quad x_{s.g.}^{**} = 0,35 \quad ; \quad E_{s.g.}^{**} = 0,85$$

Valorile de mai sus sînt raportate la puterea aparentă nominală S_n /MVA/ a sarcinii generalizate și la tensiunea nominală U_n /kV/ a treptei la care este conectată sarcina generalizată.

Incercările experimentale efectuate în diferite noduri, în care sînt racordați consumatori cu puternic caracter asincron /52/, au arătat că între rezultatele experimentale obținute pentru momentul inițial al scurtcircuitului și valorile obținute prin calcul, folosind metoda sarcinii generalizate, există diferențe foarte mari. Pentru anumite noduri diferențele pot atinge valori mai mari de 200%. La concluzii asemănătoare a ajuns în /36/ și autorul lucrării de față, făcînd o comparație între rezultatele experimentale obținute în /82/ și rezultatele obținute prin calcul, folosind metoda sarcinii generalizate. În /82/ se arată că s-au

efectuat încercări experimentale în stații de transformare de medie tensiune, pentru a scoate în evidență influența asupra valorilor curenților de scurtcircuit a consumatorilor constituiți în bună parte din motoare asincrone. Rezultatele acestor măsurători arată că valoarea curentului de șoc provenit de la consumatori de 15 kV și raportată la unitatea de putere, poate ajunge pînă la valoarea $i_{\text{șoc}}/S_n = 0,4 \text{ kA/MVA}$, iar valoarea relativă a curentului de șoc pentru cazul cînd motoarele asincrone reprezintă 83% din totalul consumatorului este aproximativ $i_{\text{șoc}}^* = 4$ (baza la care a fost raportat curentul de șoc este amplitudinea $\sqrt{2}I_n$ a curentului nominal al consumatorului). Conform metodei sarcinii generalizate, recomandate în /129/, rezultă:

$$(1.2) \quad i_{\text{șoc}} = \sqrt{2} k_{\text{șoc}} \frac{E_{\Delta.g.}^{**}}{x_{\Delta.g.}^{**}} \frac{S_n}{\sqrt{3} U_n} = k_{\text{șoc}} (\sqrt{2} I_n) \frac{E_{\Delta.g.}^*}{x_{\Delta.g.}^{**}}$$

unde I_n este valoarea efectivă a curentului nominal al sarcinii generalizate. Avînd în vedere recomandarea din /129/ ca pentru coeficientul de șoc al sarcinii generalizate să se admită valoarea $k_{\text{șoc}} = 1$ și luînd în considerare valorile (1.1) recomandate pentru parametrii sarcinii generalizate, pentru sarcini la tensiunea de 15 kV rezultă valorile:

$$(1.3) \quad i_{\text{șoc}}/S_n = 0,133 \text{ kA/MVA}; \quad i_{\text{șoc}}^* = i_{\text{șoc}}/\sqrt{2} I_n = 2,428$$

Comparînd aceste valori, obținute prin calcul, cu cele obținute experimental în /82/, rezultă abateri de 30% pentru $i_{\text{șoc}}/S_n$ și de 105% pentru $i_{\text{șoc}}^*$.

Din cele de mai sus rezultă că, în cazul cînd consumatorul este constituit în majoritate din motoare electrice, pentru studiul influenței lui asupra curenților de scurtcircuit, este inadecvat să fie considerat ca sarcină generalizată, caracterizată prin parametrii medii. Dacă totuși se consideră ca o sarcină generalizată, va trebui acordată o mare atenție stabilirii valorilor parametrilor care o caracterizează, ținînd seama de compoziția relativă a consumatorului. În acest scop în /57/ se recomandă ca nodurile în care sînt racordați consumatori importanți să se împartă după ramurile industriale pe care le deservește, deoarece în acest caz consumatorul prezintă oarecare omogenitate din punct de vedere al compoziției relative, al regimului de lucru și al caracterului procesului de producție realizat. Cînd în compoziția unui consumator intră motoare electrice de puteri mari și foarte mari, ele trebuie luate în considerare în mod individual, deoarece curenții de scurtcircuit proveniți de la ele sînt de valori mari.

1.3.1.2. Metoda motorului echivalent. Critica metodei.

Pe baza încercărilor efectuate asupra unor grupuri de motoare, în /10/ se recomandă o metodă aproximativă de calcul a curenților de scurtcircuit proveniți de la grupuri de motoare electrice. Pentru calculul componentei alternative a curentului de scurtcircuit provenit de la grup, autorii recomandă folosirea reactanțelor supratranzitorii ale motoarelor, iar în cazul cînd acestea nu sînt disponibile, admit și folosirea reactanțelor de pornire ale motoarelor. De ase-

menea recomandă tratarea independentă a motoarelor care în timpul scurtcircuitului devin consumator complet separat față de cele care rămân consumator permanent conectat. Pentru determinarea curentului de șoc autorii recomandă luarea în considerare a tuturor motoarelor, iar pentru determinarea capacității de deconectare a aparatajului numai a motoarelor care constituie consumatori complet separați.

Metoda propusă constă în înlocuirea unui grup de motoare racordate pe o bară comună cu un motor echivalent. Pentru cazul unui scurtcircuit trifazat la bara motoarelor, deci pentru cazul când acestea constituie un consumator complet separat în timpul scurtcircuitului, autorii recomandă relații de calcul pentru valoarea efectivă a componentei periodice, precum și pentru componenta aperiodică a curentului de scurtcircuit provenit de la grupul de motoare. În aceste relații intervin parametrii motorului echivalent, pentru care autorii indică modul de calcul. Astfel, sînt recomandate relații pentru calculul reactanței supratranzitorii a motorului echivalent și a constantelor de timp a componentei periodice, respectiv aperiodice a curentului de scurtcircuit provenit de la motorul echivalent. De asemenea se fac recomandări pentru calculul acestor parametri și în cazul când grupul de motoare, care constituie motorul echivalent, este racordat la bara pe care se produce scurtcircuitul, printr-un transformator de forță.

Trebuie subliniat că și metoda motorului echivalent așa cum este recomandată în /10/, ca și metoda sarcinii generalizate, este foarte aproximativă din motivele expuse în cele ce urmează. În primul rînd, autorii admit o variație simplu exponențială pentru contribuția fiecărui motor al grupului, lucru adevărat numai pentru motoarele cu o singură înfășurare rotorică. În al doilea rînd, modul de calcul al constantei de timp a componentei periodice a curentului de scurtcircuit a unui motor oarecare din grup este arbitrar. În al treilea rînd, pentru calculul constantei de timp echivalente a componentei periodice a curentului de scurtcircuit provenit de la motorul echivalent se admite o variație liniară a constantelor de timp ale motoarelor componente cu puterea acestora, ceea ce nu concordă întotdeauna cu realitatea.

Din motivele arătate mai sus, în /82/ se admite folosirea metodei motorului echivalent sub forma recomandată în /10/, numai dacă grupul de motoare este alcătuit din motoare identice. Când grupul este format din motoare avînd puteri și caracteristici diferite, în /82/ se recomandă calcularea curentului de scurtcircuit provenit de la grup ca sumă a curentilor proveniți de la motoarele grupului. Însăși autorii metodei motorului echivalent subliniază că această metodă, așa cum este recomandată spre folosire în /10/, permite doar o primă estimare a curentului de scurtcircuit provenit de la motoarele grupului, arătînd că diferențele cele mai mari între rezultatele obținute cu această metodă și rezultatele experimentale apar în primele două perioade ale scurtcircuitului.

1.3.2. Incercări experimentale pe motoare model, special construite sau

pe motoare de putere mică

În literatură /59/, /60/ există indicații de folosire a unor motoare model

pentru investigarea procesului de scurtcircuit trifazat la bornele acestora. Există însă rezerva că rezultatele obținute în acest mod sînt adesea neconvingătoare din cauza rapoartelor mari de reducere a dimensiunilor geometrice și a mărimilor electromagnetice, rapoarte care pot fi de ordinul 1:500 sau chiar 1:1000. De aceea, dacă se acceptă ideea investigării fenomenului respectiv pe motoare model, trebuie acordată o atenție deosebită proiectării și execuției modelului; iar după execuție trebuie făcută o comparație amănunțită între parametrii motorului care a fost modelat și parametrii modelului, pentru a constata dacă modelul este capabil să reproducă fidel comportarea în regimuri tranzitorii a motorului care a fost modelat. Pe de altă parte, ținînd seama de varietatea mare din punct de vedere constructiv a motoarelor electrice și în special a celor asincrone, este necesară construirea cîte unui model pentru fiecare tip constructiv de motor.

Unii autori /122/ au încercat să folosească motoarele de putere mică de fabricație serie pentru simularea fenomenelor din motoarele mari, care apar în timpul scurtcircuitelor la bornele acestora. După opiniile autorilor, rezultatele obținute nu sînt concludente, deoarece motoarele de puteri mari au constante de timp cu mult mai mari decît motoarele de puteri mici.

În /37/ autorul lucrării de față a făcut o investigație a posibilităților de utilizare a motoarelor de putere mică de fabricație serie drept modele pentru motoarele de putere mare, arătînd că aceste posibilități sînt extrem de limitate, motoarele de putere mică putînd fi utilizate ca modele numai în cazuri cu totul particulare. Autorul a arătat că în unele cazuri domeniul de utilizare a motoarelor de putere mică de fabricație serie ca modele pentru motoarele de puteri mari poate fi lărgit prin luarea unor măsuri speciale.

Din cele arătate mai sus, rezultă că este recomandabil ca încercările experimentale să se efectueze ori de cîte ori este posibil pe motoare reale.

1.3.3. Tratarea teoretică și modelarea pe calculatoare cifrice și analogice

În literatura de specialitate /3/, /38/, /59/, /67/, /73/, /75/, /80/, /122/, tratarea analitică a problemei contribuției motoarelor electrice la curentul de scurtcircuit se limitează la considerarea unui singur motor, deoarece în cazul consumatorului format din mai multe motoare relațiile analitice devin extrem de complexe. În majoritatea acestor lucrări este considerat numai cazul motorului asincron cu rotor bobinat sau cu rotor avînd o singură colivie cu bare rotunde. În componența consumatorilor intră însă în proporție foarte mare motoare asincrone cu două colivii rotorice sau cu o colivie rotorică cu bare înalte, a căror comportare în timpul scurtcircuitului diferă substanțial de comportarea celor cu rotor bobinat sau cu rotor cu o singură colivie cu bare rotunde. De aceea unul din obiectivele lucrării de față este studiul analitic și experimental al comportării acestor tipuri de motoare asincrone în timpul scurtcircuitelor, obiectiv care a constituit o preocupare mai veche a autorului /30/, /31/, /32/, /33/, /34/, /35/.

Problema comportării în timpul scurtcircuitelor a consumatorilor formați din motoare electrice este strâns legată de problema stabilității dinamice a sistemelor ce conțin astfel de consumatori. Pentru studiul stabilității dinamice în timpul regimurilor tranzitorii (inclusiv a scurtcircuitelor) a consumatorilor formați din motoare electrice este folosită pe larg metoda modelării pe calculatoare cifrice /1/, /5/, /27/, /45/, /49/, /50/, /51/, /56/, /60/, /85/, /105/, etc. În majoritatea acestor lucrări autorii admit în modelele matematice ale motoarelor electrice ipoteze simplificatoare permise pentru analiza stabilității dinamice, dar nepermise pentru un calcul de precizie al curenților de scurtcircuit care provin de la motoare. Astfel, în modelele matematice ale motoarelor se neglijează tensiunile electromotoare de pulsație $d\Psi_d/dt$ și $d\Psi_q/dt$ din ecuațiile tensiunilor statorice. Această ipoteză simplificatoare conduce în final la reducerea numărului de ecuații diferențiale ale modelului, în schimb micșorează precizia calculelor.

Studii bazate pe modelarea pe calculatorul cifric a consumatorilor formați din motoare electrice în scopul determinării comportării acestora în timpul scurtcircuitelor și a curenților de scurtcircuit proveniți de la motoare au fost efectuate în /74/, /77/, /76/, /79/, /93/, /95/, /96/, /112/, /116/, /131/. În cea mai mare parte însă și aceste studii se referă numai la motoare asincrone cu rotor bobinat sau cu o singură cclivie cu bare rotunde.

Au fost întreprinse și studii de modelare pe calculatorul analogic /55/, /61/, /63/, /64/, /69/, /70/, /130/ a comportării motorului asincron în timpul proceselor tranzitorii. Acestea se limitează la modelarea unui singur motor, iar în multe din ele nu se ține seama de influența rezistenței circuitelor statorice asupra fenomenelor tranzitorii.

Capitolul 2

MODELE MATEMATICE ALE MOTOARELOR ASINCRONE PENTRU STUDIUL COMPORTĂRII ACESTORA ÎN REGIMURILE TRANZITORII DIN REȚEAUA LOR DE ALIMENTARE.

2.1. Clasificarea motoarelor asincrone din punct de vedere al comportării lor în timpul scurtcircuitelor.

Modelele matematice pentru motoarele asincrone, întâlnite în literatura de specialitate se referă în general la fiecare tip constructiv de motor/59/,/67/,/69/,/70/,/120/,/121/,/122/,/125/,/126/,/130/,etc. Având în vedere numai acele tipuri constructive de motoare asincrone care sînt folosite pe scară largă în industrie, în lucrarea de față acestea vor fi împărțite în două categorii din punct de vedere al comportării lor în timpul scurtcircuitelor.

Categoria I cuprinde motoarele asincrone a căror componentă periodică a curentului de scurtcircuit provenit de la ele se poate exprima cu destulă precizie din punct de vedere matematic ca o sumă a două componente, fiecare fiind descrisă de o funcție armonică amortizată exponențial. Prima componentă va fi denumită tranzitorie. Ea se amortizează cu o constantă de timp T' , denumită constantă de timp tranzitorie. Cea de a doua componentă va fi denumită supratranzitorie. Ea se amortizează cu constanta de timp T'' , denumită constantă de timp supratranzitorie. Parametrii caracteristici pentru motoarele asincrone din această categorie sînt reactanța tranzitorie X' și supratranzitorie X'' . Din această categorie fac parte motoarele asincrone cu două colivii rotorice și motoarele asincrone cu o colivie rotorică care prezintă pronunțat efectul pelicular (de exemplu motoarele cu o colivie cu bare înalte).

Categoria II cuprinde motoarele asincrone a căror componentă periodică a curentului de scurtcircuit provenit de la acestea poate fi exprimată cu destulă precizie din punct de vedere matematic printr-o singură funcție armonică amortizată exponențial. Această componentă unică va fi denumită tranzitorie. Ea se amortizează cu o constantă de timp T' , denumită constantă de timp tranzitorie. Un parametru caracteristic pentru motoarele din această categorie este reactanța tranzitorie X' . Din această categorie fac parte motoarele asincrone cu rotor bobinat și motoarele asincrone cu o singură colivie rotorică, care nu prezintă pronunțat efectul pelicular (de exemplu motoarele cu o colivie rotorică cu bare rotunde).

Ținând seama de această clasificare a motoarelor asincrone, prezintă avantaj existența pentru motorul asincron a unor modele matematice, respectiv a unor scheme echivalente, cu caracter mai general. Caracterul de generalizare al acestor modele, respectiv al schemelor echivalente, trebuie să conste în posibilitatea de a studia cu ajutorul lor, prin particularizări adecvate, comportarea în regimuri stabilizate și tranzitorii a motorului asincron, indiferent de tipul său constructiv, respectiv de categoria din care face parte.

Pentru stabilirea unor astfel de modele matematice se va lua în considerare mo-

torul asincron cu două colivii rotorice, ca fiind tipul constructiv cel mai complex de motor asincron folosit pe scară largă în industrie.

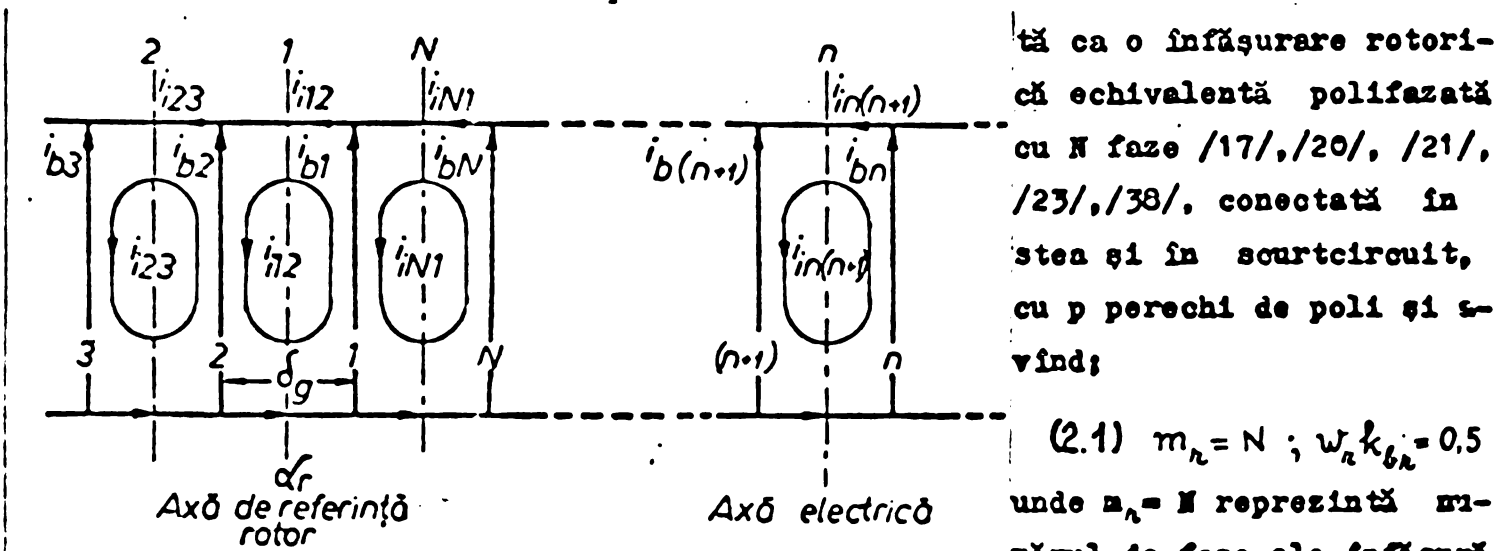
La stabilirea modelelor matematice ale motoarelor asincrone, folosite pentru studiul comportării acestora în regimurile tranzitorii din rețeaua lor de alimentare, se pot adopta o serie de ipoteze simplificatoare. În general, aceste ipoteze nu sînt admise la proiectarea motoarelor, dar sînt satisfăcătoare în ceea ce privește funcționarea lor în cadrul sistemelor electroenergetice /5/, /9/, /20/, /24/, /27/, /38/, /44/, /45/, /49/, /55/, /60/, /67/, /69/, /70/, /87/, /88/, /105/, /109/, /119/, /122/, etc. În acest sens în lucrarea de față sînt admise următoarele ipoteze simplificatoare: neglijarea fenomenelor de saturație, histereză și curenți turbionari din miezul magnetic; neglijarea efectului pelicular ce se manifestă în conductoarele plasate în creștăturile statorului și rotorului; considerarea unei mașini simetrice din punct de vedere electric, magnetic și constructiv; considerarea repartiției sinusoidale în întregul rotorului a inducției magnetice, adică considerarea numai a undelor spațiale fundamentale ale mărimilor învîrtitoare; neglijarea efectelor create de creștăturile statorului și rotorului.

O serie dintre factorii neluați în considerare la stabilirea modelului matematic, ca de exemplu considerarea saturației sau a efectului pelicular, pot fi luați în considerare ulterior, după stabilirea modelului matematic, prin aplicarea unor factori de corecție parametrilor ce intervin în model.

2.2. Modele matematice ale motoarelor asincrone din categoria I

2.2.1. Modele matematice ale motoarelor asincrone cu două colivii rotorice

Pentru stabilirea modelelor matematice ale motoarelor asincrone cu două colivii rotorice se va considera cazul cel mai frecvent întîlnit în industrie al motorului cu p perechi de poli și cu două colivii rotorice, fiecare dintre colivii avînd N bare. Colivile se consideră cu barele așezate în aceeași creștătură și cu inelele de scurtcircuitare separate. Fiecare colivie rotorică va fi considera-



tă ca o înfășurare rotorică echivalentă polifazătă cu N faze /17/, /20/, /21/, /23/, /38/, conectată în stea și în scurtcircuit, cu p perechi de poli și avînd:

$$(2.1) m_n = N ; w_n k_{bn} = 0.5$$

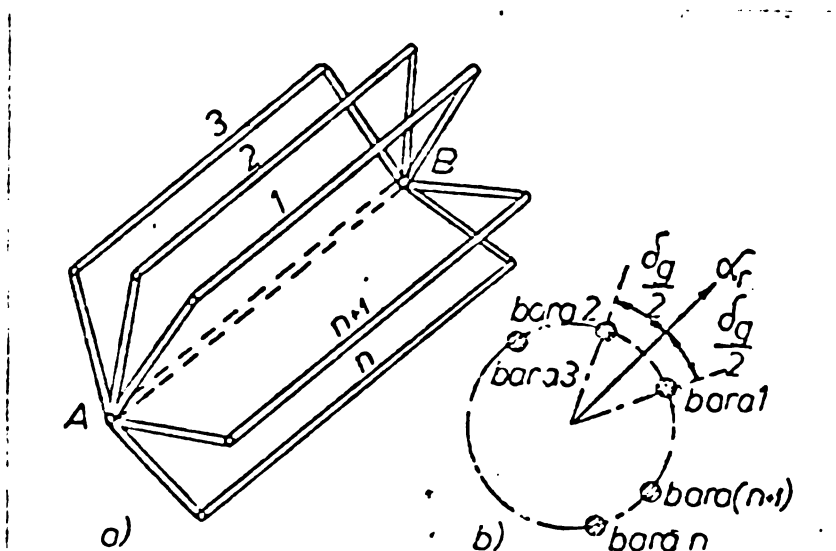
unde $m_n = N$ reprezintă numărul de faze ale înfășurării rotorice echivalente,

Fig.21. Explicativă pentru definirea circuitelor unei colivii rotorice.

w_n reprezintă numărul de spire al unei faze a acestei înfășurări, iar k_{bn} repr-

sintă factorul ei de înfășurare.

O fază oarecare n ($n = 1, 2, 3, \dots, N$) a înfășurării rotorice echivalente se consideră ca fiind formată din bara rotorică n și din cele două segmente inelare dintre bara n și bara $(n+1)$ (fig.2.1. și fig.2.2.), iar conductorul de închidere al tuturor fazelor este considerat conductorul fictiv de impedanță egală cu zero, care coincide cu axul rotorului (conductorul AB din figura 2.2.a.).



Unghiul geometric dintre două bare consecutive ale coliviei este δ_g , iar unghiul electric este δ_e .

Dacă i_{bn} ($n = 1, 2, 3, \dots, N$) este sistemul simetric de curenți de amplitudine $\sqrt{2}I$ care parcurg barele coliviei, iar $i_{in(n+1)}$ este sistemul simetric de curenți de amplitudine $\sqrt{2}I_1$ care parcurg segmentele inelare (a se vedea și fig 2.1.), atunci fazele înfășurării rotorice echivalente sînt considerate ca fiind parcurse de sistemul simetric de curenți i_n ($n = 1, 2, 3, \dots, N$) cu amplitudinea $\sqrt{2}I$ a curenților din bare și cu defazajele curenților $i_{in(n+1)}$ din segmentele inelare.

Fig 2.2. Înfoșurarea polifazăată conectată în stea, echivalență coliviei rotorice.

Dacă R_b , R_l sînt rezistența barei, respectiv a segmentului inelar, iar $L_{b\sigma}$, $L_{l\sigma}$ inductivitatea de dispersie a barei, respectiv a segmentului inelar, atunci rezistența R și inductivitatea L_σ a unei faze a înfășurării echivalente coliviei rotorice vor fi:

$$(2.2) \quad R = R_b + 2 R_l k_{ib}^2 = R_b + \frac{R_l}{2 \sin^2 \frac{\pi p}{N}}; \quad L_\sigma = L_{b\sigma} + 2 L_{l\sigma} k_{ib}^2 = L_{b\sigma} + \frac{L_{l\sigma}}{2 \sin^2 \frac{\pi p}{N}}$$

$$k_{ib} = \frac{I_i}{I} = \frac{1}{\sin \frac{\pi p}{N}}$$

unde k_{ib} este raportul de reducere al curenților.

Drept urmare a considerării coliviilor rotorice ca înfășurări polifazate, motorul asincron cu două colivii rotorice va avea trei înfășurări polifazate. Pentru a le identifica ușor, fiecăreia i se va atribui un indice de ordine $k = s, 1, 2$ ($k=s$ pentru înfășurarea statorică; $k=1$ pentru colivia rotorică superioară; $k=2$ pentru colivia rotorică inferioară). Pentru identificarea fazelor înfășurării de ordinul k se vor folosi doi indici inferiori, primul indicînd numărul fazei respective, iar cel de al doilea ordinul înfășurării căreia îi aparține faza respectivă. Astfel pentru cele trei faze ale înfășurării statorice se vor folosi indicii inferiori $1s, 2s, 3s$, iar pentru cele N faze ale înfășurării rotorice de ordinul k ($k=1, 2$) se vor folosi indicii inferiori $1k, 2k, 3k, \dots, nk, \dots, Nk$.

Pentru parametrii comuni tuturor celor trei faze ale înfășurării statorice se va folosi indicele dublu ss sau indicele inferior simplu s , dacă nu pot apare con-

fuzii; pentru parametrii comuni tuturor celor M faze ale înfășurării rotorice de ordinul k ($k=1;2$) se va folosi indicele inferior dublu kk sau indicele inferior k , dacă nu pot apare confuzii. Pentru parametrii barei unei faze rotorice se adaugă indicele inferior b , iar pentru parametrii segmentului inelar indicele inferior i .

Un circuit statoric corespunde unei faze statorice, avînd axa de simetrie ca axă electrică. Unghiul electric format de axele electrice a două circuite statorice succesive este $2\pi/3$ radiani. Drept axă de referință pentru circuitele statorice (α_s) se consideră axa electrică a fazei 1s. Un circuit al înfășurării rotorice de ordinul k ($k=1;2$) corespunde unei faze a acestei înfășurări. Drept axă de referință pentru circuitele celor două înfășurări rotorice (α_r) se consideră axa de referință a primei faze s color două înfășurări (fig.2.2b). Unghiul electric format de cele două axe de referință (α_s) și (α_r) se notează cu γ_r .

2.2.1.1. Modelul matematic cu ecuațiile în sistemul natural de coordonate.

Pentru stabilirea ecuațiilor modelului matematic al motorului asincron cu două colivii rotorice în sistemul natural de coordonate se consideră configurația în-lănțuirilor magnetice din fig.2.3. Inductivitățile corespunzătoare în-lănțuirilor

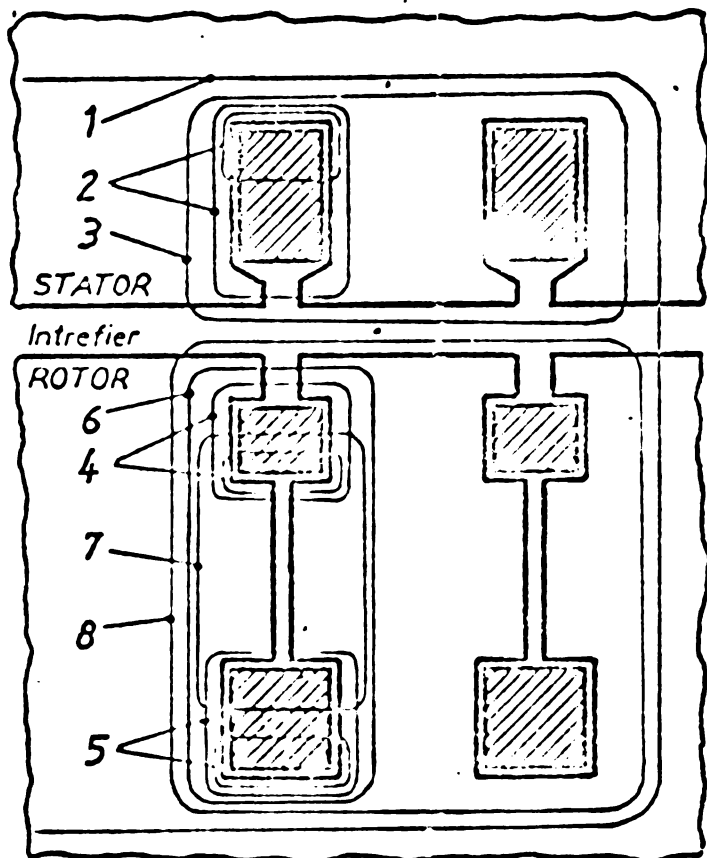


Fig. 2.3. Configurația în-lănțuirilor magnetice ale motorului asincron cu două colivii rotorice.

din fig.2.3 sînt centralizate în tabelul 2.1, împreună cu simbolurile folosite și cu denumirile lor după recomandările din /20/, /21/, /22/, /23/, /107/. Simbolurile folosite pentru rezistențele circuitelor statorice și pentru cele ale circuitelor rotorice în tabelul 2.1.

Deoarece tipul de motor considerat conține trei înfășurări polifazate și fiecare înfășurare este un ansamblu de mai multe faze (circuite), la stabilirea configurației în-lănțuirilor din fig. 2.3 s-a făcut distincție între următoarele categorii de cîmp magnetic, în raport cu o înfășurare oarecare k , adică cu ansamblul de faze ale acesteia /20/, /21/. Astfel:

Primă categorie de cîmp are liniile de cîmp care în-lănțuie numai fazele înfășurării k , numit cîmp propriu de dispersie al înfășurării k . Deoarece înfășurarea k are un număr oarecare de faze, cîmpului propriu de dispersie al înfășurării k îi corespund următoarele inductivități:

- inductivitatea proprie de dispersie a fazei, corespunzătoare acelei părți a cîmpului propriu de dispersie al înfășurării k , care în-lănțuie numai faza respectivă;

T a b e l u l 2.1.

Inlăn- țuirea din fig.2,3.	Inductivitatea co- rrespunzătoare în- lănțuirii	Denumirea și caracterul inductivității
1	2	3
1	L_{ssh}	Inductivitatea proprie principală a unei faze a înfășurării statorice
	L_{11h}	Inductivitatea proprie principală a unei faze a înfășurării rotorice 1
	L_{22h}	Inductivitatea proprie principală a unei faze a înfășurării rotorice 2
	$L_{s1h} = L_{1sh}$	Inductivitatea mutuală principală între o fază a înfășurării statorice și o fază a înfășurării rotorice 1 (valoare maximă)
	$L_{s2h} = L_{2sh}$	Inductivitatea mutuală principală între o fază a înfășurării statorice și o fază a înfășurării rotorice 2 (valoare maximă)
	$L_{12h} = L_{21h}$	Inductivitatea mutuală principală dintre o fază a înfășurării rotorice 1 și o fază a înfășurării rotorice 2 (valoare maximă)
2	$L_{s\sigma}$	Inductivitatea proprie de dispersie a fazei înfășurării statorice
3	$L_{s\delta\sigma}$	Inductivitatea proprie mutuală de dispersie a înfășurării statorice (valoare maximă)
4	$L_{1\sigma} = L_{1b\sigma} + \frac{L_{11\sigma}}{2 \sin^2 \frac{\pi p}{N}}$	$L_{1\sigma}$ - inductivitatea proprie de dispersie a fazei înfășurării rotorice 1;
		$L_{1b\sigma}$ - inductivitatea proprie de dispersie a barei înfășurării rotorice 1;
		$L_{11\sigma}$ - inductivitatea proprie de dispersie a segmentului inelar de scurtcircuitare dintre două bare vecine ale înfășurării rotorice 1.
5	$L_{2\sigma} = L_{2b\sigma} + \frac{L_{21\sigma}}{2 \sin^2 \frac{\pi p}{N}}$	$L_{2\sigma}$ - inductivitatea proprie de dispersie a fazei înfășurării rotorice 2;
		$L_{2b\sigma}$ - inductivitatea proprie de dispersie a barei fazei înfășurării rotorice 2;
		$L_{21\sigma}$ - inductivitatea proprie de dispersie a segmentului inelar de scurtcircuitare dintre două bare vecine ale înfășurării rotorice 2.
6	$L'_{12\sigma} = \frac{L_{12\sigma}}{2 \sin^2 \frac{\pi p}{N}}$	Inductivitatea mutuală de dispersie de dublă înlănțuire corespunzătoare deschiderii creștăturii rotorice
		$L_{12\sigma}$ - inductivitatea mutuală de dispersie de dublă înlănțuire între un segment inelar de scurtcircuitare a înfășurării rotorice 1 și un segment inelar de scurtcircuitare a înfășurării rotorice 2 ; cele două segmente inelare scurtcircuitând barele din aceleași creștături. $L'_{12\sigma}$ - inductivitate cu aceeași semnificație ca $L_{12\sigma}$ dar redusă la curentul fazei rotorice și corespunzătoare celor două segmente inelare care intră în componența fazei respective
7	$L_{12m\sigma} = L_{21m\sigma}$	Inductivitatea mutuală de dispersie de dublă înlănțuire între bara înfășurării rotorice 1 și bara înfășurării rotorice 2
8	$L_{12\delta\sigma}$	Inductivitatea mutuală de dispersie de dublă înlănțuire, corespunzătoare dispersiei întrefierului, între faze ale înfășurării rotorice 1 și 2 (valoare maximă)

- inductivitatea proprie mutuală de dispersie a înfășurării k, corespunzătoare acelei părți a câmpului propriu de dispersie al înfășurării k, care înlănțește

47236
546

numai faze ale înfășurării k.

A doua categorie de câmp are liniile de câmp care înfășuie două sau mai multe faze din două înfășurări diferite, dar nu din toate înfășurările, numit câmp mutual de dispersie între cele două înfășurări. Acestui câmp îi corespund inductivitățile mutuale de dispersie de dublă înfășurare.

T a b e l u l 2.2.

Simbolul rezistenței	Denumirea rezistenței
R_s	Rezistența unei faze a înfășurării statorice
$R_{11} = R_{1b} + \frac{R_{1i}}{2 \sin^2 \frac{\pi p}{N}}$	R_{11} - rezistența unei faze a înfășurării rotorice 1
	R_{1b} - rezistența barei fazei înfășurării rotorice 1
	R_{1i} - rezistența unui segment inelar de scurtcircuitare dintre două bare vecine ale înfășurării rotorice 1
$R_{22} = R_{2b} + \frac{R_{2i}}{2 \sin^2 \frac{\pi p}{N}}$	R_{22} - rezistența unei faze a înfășurării rotorice 2
	R_{2b} - rezistența barei fazei înfășurării rotorice 2
	R_{2i} - rezistența unui segment inelar de scurtcircuitare dintre două bare vecine ale înfășurării rotorice 2

A treia categorie de câmp are liniile de câmp care înfășuie toate fazele ale tuturor înfășurărilor și se numește câmp principal sau util. Acestui câmp îi corespunde inductivitatea proprie principală, când ne referim la o fază și inductivitatea mutuală principală când ne referim la două faze.

Pentru scrierea ecuațiilor motorului asincron cu două colivii rotorice în sistemul natural de coordonate s-a adoptat asocierea sensurilor pozitive pentru mărimile electrice și magnetice conform dipolului receptor, atât pentru circuitele statorice cât și pentru cele rotorice. Drept sens pozitiv al cuplurilor aplicate la arborele motorului s-a considerat sensul de rotație al rotorului. Cu aceste convenții au fost găsite (anexa 2.1) ecuațiile modelului matematic al motorului asincron cu două colivii rotorice în sistemul natural de coordonate. Sub formă matricială acestea sînt:

$$(2.3) \quad [u] = \frac{d}{dt} [\psi] + [R][i]; \quad (2.4) \quad [\psi] = [L][i]; \quad (2.5) \quad M = \frac{p}{2} [i]_t \left(\frac{d}{dt} [L] \right) [i]$$

$$(2.6) \quad \frac{J}{p} \frac{d^2 \gamma_r}{dt^2} = M + M_m$$

unde: $[u]$ este matricea tensiunilor circuitelor înfășurării statorice și înfășurărilor rotorice echivalente ale celor două colivii; $[\psi]$ este matricea înfășurărilor magnetice ale aceluiași circuite; $[i]$ este matricea curenților circuitelor; $[R]$ este matricea rezistențelor circuitelor statorice și rotorice; $[L]$ este matricea inductivităților circuitelor statorice și rotorice; J este momentul de inerție resultant al maselor în mișcarea de rotație; M este cuplul electromagnetic dezvoltat de motor, considerat pozitiv când este în sensul de rotație al rotorului; M_m este cuplul mecanic la arborele motorului, considerat pozitiv când este în sensul de rotație al rotorului; γ_r este unghiul electric dintre axa de referință a circuitelor statorice și axa de referință a circuitelor rotorice; t este un indice inferior afectat unor matrici și indicînd că matricea respectivă este o

matrice transpusă.

Matricile care intervin în ecuațiile modelului matematic au următoarele forme:

$$[U]_t = [U_A]_t [U_{N1}]_t [U_{N2}]_t ; [i]_t = [i_A]_t [i_{N1}]_t [i_{N2}]_t ; [\Psi]_t = [\Psi_A]_t [\Psi_{N1}]_t [\Psi_{N2}]_t$$

$$[U_A]_t = \begin{matrix} 1s & 2s & 3s \\ U_{1s} & U_{2s} & U_{3s} \end{matrix} ; [i_A]_t = \begin{matrix} 1s & 2s & 3s \\ i_{1s} & i_{2s} & i_{3s} \end{matrix} ; [\Psi_A]_t = \begin{matrix} 1s & 2s & 3s \\ \Psi_{1s} & \Psi_{2s} & \Psi_{3s} \end{matrix} ;$$

$$[U_{N1}] = \begin{matrix} 11 & 21 & \dots & n1 & \dots & N1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \end{matrix} ; [U_{N2}] = \begin{matrix} 12 & 22 & \dots & n2 & \dots & N2 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \end{matrix} ;$$

$$[i_{N1}] = \begin{matrix} 11 & 21 & \dots & n1 & \dots & N1 \\ i_{11} & i_{21} & \dots & i_{n1} & \dots & i_{N1} \end{matrix} ; [i_{N2}] = \begin{matrix} 12 & 22 & \dots & n2 & \dots & N2 \\ i_{12} & i_{22} & \dots & i_{n2} & \dots & i_{N2} \end{matrix} ;$$

$$[\Psi_{N1}] = \begin{matrix} 11 & 21 & \dots & n1 & \dots & N1 \\ \Psi_{11} & \Psi_{21} & \dots & \Psi_{n1} & \dots & \Psi_{N1} \end{matrix} ; [\Psi_{N2}] = \begin{matrix} 12 & 22 & \dots & n2 & \dots & N2 \\ \Psi_{12} & \Psi_{22} & \dots & \Psi_{n2} & \dots & \Psi_{N2} \end{matrix} ;$$

$$[R] = \begin{matrix} [R_A] & & \\ & [R_{N1}] & \\ & & [R_{N2}] \end{matrix}$$

$$[L] = \begin{matrix} [L_{A1}] & [L_{AN1}] & [L_{AN2}] \\ [L_{N11}] & [L_{N1N1}] & [L_{N1N2}] \\ [L_{N21}] & [L_{N2N1}] & [L_{N2N2}] \end{matrix}$$

$$[R_A] = \begin{matrix} 1s & 2s & 3s \\ R_A & & \\ & R_A & \\ & & R_A \end{matrix} \begin{matrix} 1s \\ 2s \\ 3s \end{matrix}$$

(2.7)

$$[R_{N1}] = \begin{matrix} 11 & 21 & \dots & n1 & \dots & N1 \\ R_{11} & & & & & \\ & R_{11} & & & & \\ & & & R_{11} & & \\ & & & & & R_{11} \end{matrix}$$

$$[R_{N2}] = \begin{matrix} 12 & 22 & \dots & n2 & \dots & N2 \\ R_{22} & & & & & \\ & R_{22} & & & & \\ & & & R_{22} & & \\ & & & & & R_{22} \end{matrix}$$

$$[L_{A1}] = \begin{matrix} 1s & 2s & 3s \\ (L_{A1\sigma} + L_{A1s}h) & (L_{A1\sigma} + L_{A1s}h) \cos \frac{2\pi}{3} & (L_{A1\sigma} + L_{A1s}h) \cos \frac{4\pi}{3} \\ (L_{A1\sigma} + L_{A1s}h) \cos(-\frac{2\pi}{3}) & (L_{A1\sigma} + L_{A1s}h) & (L_{A1\sigma} + L_{A1s}h) \cos \frac{2\pi}{3} \\ (L_{A1\sigma} + L_{A1s}h) \cos(-\frac{4\pi}{3}) & (L_{A1\sigma} + L_{A1s}h) \cos(-\frac{2\pi}{3}) & (L_{A1\sigma} + L_{A1s}h) \end{matrix} \begin{matrix} 1s \\ 2s \\ 3s \end{matrix}$$

$$[L_{AN1}] = \begin{matrix} 11 & 21 & \dots & n1 & \dots & N1 \\ L_{A11} \cos \delta_e & L_{A11} \cos(\delta_e + \delta_e) & \dots & L_{A11} \cos[\delta_e + (n-1)\delta_e] & \dots & L_{A11} \cos[\delta_e + (N-1)\delta_e] \\ L_{A11} \cos(\delta_e - \frac{2\pi}{3}) & L_{A11} \cos(\delta_e + \delta_e - \frac{2\pi}{3}) & \dots & L_{A11} \cos[\delta_e + (n-1)\delta_e - \frac{2\pi}{3}] & \dots & L_{A11} \cos[\delta_e + (N-1)\delta_e - \frac{2\pi}{3}] \\ L_{A11} \cos(\delta_e - \frac{4\pi}{3}) & L_{A11} \cos(\delta_e + \delta_e - \frac{4\pi}{3}) & \dots & L_{A11} \cos[\delta_e + (n-1)\delta_e - \frac{4\pi}{3}] & \dots & L_{A11} \cos[\delta_e + (N-1)\delta_e - \frac{4\pi}{3}] \end{matrix} \begin{matrix} 1s \\ 2s \\ 3s \end{matrix}$$

$$[L_{AN2}] = \begin{matrix} 12 & 22 & \dots & n2 & \dots & N2 \\ L_{A21} \cos \delta_e & L_{A21} \cos(\delta_e + \delta_e) & \dots & L_{A21} \cos[\delta_e + (n-1)\delta_e] & \dots & L_{A21} \cos[\delta_e + (N-1)\delta_e] \\ L_{A21} \cos(\delta_e - \frac{2\pi}{3}) & L_{A21} \cos(\delta_e + \delta_e - \frac{2\pi}{3}) & \dots & L_{A21} \cos[\delta_e + (n-1)\delta_e - \frac{2\pi}{3}] & \dots & L_{A21} \cos[\delta_e + (N-1)\delta_e - \frac{2\pi}{3}] \\ L_{A21} \cos(\delta_e - \frac{4\pi}{3}) & L_{A21} \cos(\delta_e + \delta_e - \frac{4\pi}{3}) & \dots & L_{A21} \cos[\delta_e + (n-1)\delta_e - \frac{4\pi}{3}] & \dots & L_{A21} \cos[\delta_e + (N-1)\delta_e - \frac{4\pi}{3}] \end{matrix} \begin{matrix} 1s \\ 2s \\ 3s \end{matrix}$$

$$[L_{N11}] = \begin{matrix} 1s & 2s & 3s \\ L_{111} \cos \delta_e & L_{111} \cos[\delta_e - \frac{2\pi}{3}] & L_{111} \cos[\delta_e - \frac{4\pi}{3}] \\ L_{111} \cos(\delta_e + \delta_e) & L_{111} \cos[\delta_e + \delta_e - \frac{2\pi}{3}] & L_{111} \cos[\delta_e + \delta_e - \frac{4\pi}{3}] \\ L_{111} \cos[\delta_e + (n-1)\delta_e] & L_{111} \cos[\delta_e + (n-1)\delta_e - \frac{2\pi}{3}] & L_{111} \cos[\delta_e + (n-1)\delta_e - \frac{4\pi}{3}] \\ L_{111} \cos[\delta_e + (N-1)\delta_e] & L_{111} \cos[\delta_e + (N-1)\delta_e - \frac{2\pi}{3}] & L_{111} \cos[\delta_e + (N-1)\delta_e - \frac{4\pi}{3}] \end{matrix} \begin{matrix} 1s \\ 2s \\ n1 \\ N1 \end{matrix}$$

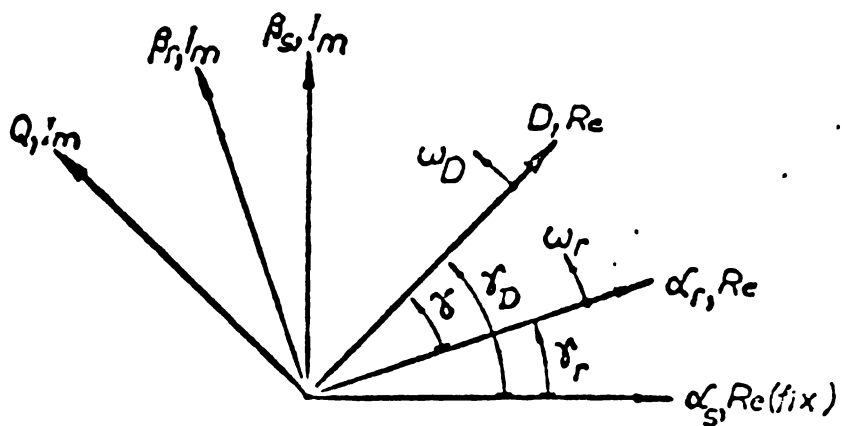
(2.7)

$$\begin{aligned}
 [L_{N2A}] &= \begin{matrix} & 1s & & 2s & & 3s & & \\ \begin{matrix} 1s \\ 2s \\ \vdots \\ ns \\ \vdots \\ N2 \end{matrix} & \begin{matrix} L_{23h} \cos[\delta_r] \\ L_{23h} \cos[\delta_r + \delta_e] \\ \vdots \\ L_{23h} \cos[\delta_r + (n-1)\delta_e] \\ \vdots \\ L_{23h} \cos[\delta_r + (N-1)\delta_e] \end{matrix} & \begin{matrix} L_{23h} \cos[\delta_r - \frac{2\pi}{3}] \\ L_{23h} \cos[\delta_r + \delta_e - \frac{2\pi}{3}] \\ \vdots \\ L_{23h} \cos[\delta_r + (n-1)\delta_e - \frac{2\pi}{3}] \\ \vdots \\ L_{23h} \cos[\delta_r + (N-1)\delta_e - \frac{2\pi}{3}] \end{matrix} & \begin{matrix} L_{23h} \cos[\delta_r - \frac{4\pi}{3}] \\ L_{23h} \cos[\delta_r + \delta_e - \frac{4\pi}{3}] \\ \vdots \\ L_{23h} \cos[\delta_r + (n-1)\delta_e - \frac{4\pi}{3}] \\ \vdots \\ L_{23h} \cos[\delta_r + (N-1)\delta_e - \frac{4\pi}{3}] \end{matrix} & \begin{matrix} 12 \\ 22 \\ \vdots \\ n2 \\ \vdots \\ N2 \end{matrix} \end{matrix} \\
 [L_{N11}] &= \begin{matrix} & 11 & & 21 & & n1 & & N1 & & \\ \begin{matrix} 11 \\ 21 \\ \vdots \\ n1 \\ \vdots \\ N1 \end{matrix} & \begin{matrix} (L_{120r} + L_{120c} + L_{121c} + L_{122c} + L_{11h}) \\ (L_{120r} + L_{11h}) \cos(-\delta_e) \\ \vdots \\ (L_{120r} + L_{11h}) \cos((1-n)\delta_e) \\ \vdots \\ (L_{120r} + L_{11h}) \cos((1-N)\delta_e) \end{matrix} & \begin{matrix} (L_{120r} + L_{11h}) \cos \delta_e \\ (L_{120r} + L_{11h}) \cos(2\delta_e) \\ \vdots \\ (L_{120r} + L_{11h}) \cos(2-n)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120r} + L_{11h}) \cos(2-N)\delta_e \end{matrix} & \begin{matrix} (L_{120r} + L_{11h}) \cos(n-1)\delta_e \\ (L_{120r} + L_{11h}) \cos(n-2)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120r} + L_{11h}) \cos(n-n)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120r} + L_{11h}) \cos(n-N)\delta_e \end{matrix} & \begin{matrix} (L_{120r} + L_{11h}) \cos(N-1)\delta_e \\ (L_{120r} + L_{11h}) \cos(N-2)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120r} + L_{11h}) \cos(N-n)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120r} + L_{11h}) \cos(N-N)\delta_e \end{matrix} & \begin{matrix} 11 \\ 21 \\ \vdots \\ n1 \\ \vdots \\ N1 \end{matrix} \end{matrix} \\
 [L_{N22}] &= \begin{matrix} & 12 & & 22 & & n2 & & N2 & & \\ \begin{matrix} 12 \\ 22 \\ \vdots \\ n2 \\ \vdots \\ N2 \end{matrix} & \begin{matrix} (L_{120r} + L_{120c} + L_{121c} + L_{122c} + L_{123c} + L_{124c}) \\ (L_{120r} + L_{123c}) \cos(-\delta_e) \\ \vdots \\ (L_{120r} + L_{123c}) \cos((1-n)\delta_e) \\ \vdots \\ (L_{120r} + L_{123c}) \cos((1-N)\delta_e) \end{matrix} & \begin{matrix} (L_{120r} + L_{123c}) \cos \delta_e \\ (L_{120r} + L_{123c}) \cos(2\delta_e) \\ \vdots \\ (L_{120r} + L_{123c}) \cos(2-n)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120r} + L_{123c}) \cos(2-N)\delta_e \end{matrix} & \begin{matrix} (L_{120r} + L_{123c}) \cos(n-1)\delta_e \\ (L_{120r} + L_{123c}) \cos(n-2)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120r} + L_{123c}) \cos(n-n)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120r} + L_{123c}) \cos(n-N)\delta_e \end{matrix} & \begin{matrix} (L_{120r} + L_{123c}) \cos(N-1)\delta_e \\ (L_{120r} + L_{123c}) \cos(N-2)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120r} + L_{123c}) \cos(N-n)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120r} + L_{123c}) \cos(N-N)\delta_e \end{matrix} & \begin{matrix} 12 \\ 22 \\ \vdots \\ n2 \\ \vdots \\ N2 \end{matrix} \end{matrix} \\
 [L_{N12}] &= \begin{matrix} & 12 & & 22 & & n2 & & N2 & & \\ \begin{matrix} 12 \\ 22 \\ \vdots \\ n2 \\ \vdots \\ N2 \end{matrix} & \begin{matrix} (L_{120c} + L_{121c} + L_{122c} + L_{123c} + L_{124c} + L_{125c} + L_{126c}) \\ (L_{120c} + L_{126c}) \cos(-\delta_e) \\ \vdots \\ (L_{120c} + L_{126c}) \cos((1-n)\delta_e) \\ \vdots \\ (L_{120c} + L_{126c}) \cos((1-N)\delta_e) \end{matrix} & \begin{matrix} (L_{120c} + L_{126c}) \cos \delta_e \\ (L_{120c} + L_{126c}) \cos(2\delta_e) \\ \vdots \\ (L_{120c} + L_{126c}) \cos(2-n)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120c} + L_{126c}) \cos(2-N)\delta_e \end{matrix} & \begin{matrix} (L_{120c} + L_{126c}) \cos(n-1)\delta_e \\ (L_{120c} + L_{126c}) \cos(n-2)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120c} + L_{126c}) \cos(n-n)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120c} + L_{126c}) \cos(n-N)\delta_e \end{matrix} & \begin{matrix} (L_{120c} + L_{126c}) \cos(N-1)\delta_e \\ (L_{120c} + L_{126c}) \cos(N-2)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120c} + L_{126c}) \cos(N-n)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120c} + L_{126c}) \cos(N-N)\delta_e \end{matrix} & \begin{matrix} 12 \\ 22 \\ \vdots \\ n2 \\ \vdots \\ N2 \end{matrix} \end{matrix} \\
 [L_{N21}] &= \begin{matrix} & 11 & & 21 & & n1 & & N1 & & \\ \begin{matrix} 12 \\ 22 \\ \vdots \\ n2 \\ \vdots \\ N2 \end{matrix} & \begin{matrix} (L_{120c} + L_{121c} + L_{122c} + L_{123c} + L_{124c} + L_{125c} + L_{126c} + L_{21m} + L_{21h}) \\ (L_{120c} + L_{21h}) \cos(-\delta_e) \\ \vdots \\ (L_{120c} + L_{21h}) \cos((1-n)\delta_e) \\ \vdots \\ (L_{120c} + L_{21h}) \cos((1-N)\delta_e) \end{matrix} & \begin{matrix} (L_{120c} + L_{21h}) \cos \delta_e \\ (L_{120c} + L_{21h}) \cos(2\delta_e) \\ \vdots \\ (L_{120c} + L_{21h}) \cos(2-n)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120c} + L_{21h}) \cos(2-N)\delta_e \end{matrix} & \begin{matrix} (L_{120c} + L_{21h}) \cos(n-1)\delta_e \\ (L_{120c} + L_{21h}) \cos(n-2)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120c} + L_{21h}) \cos(n-n)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120c} + L_{21h}) \cos(n-N)\delta_e \end{matrix} & \begin{matrix} (L_{120c} + L_{21h}) \cos(N-1)\delta_e \\ (L_{120c} + L_{21h}) \cos(N-2)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120c} + L_{21h}) \cos(N-n)\delta_e \\ \vdots \\ (L_{120c} + L_{21h}) \cos(N-N)\delta_e \end{matrix} & \begin{matrix} 12 \\ 22 \\ \vdots \\ n2 \\ \vdots \\ N2 \end{matrix} \end{matrix}
 \end{aligned}$$

Unghiul δ_e din matricele (2.7) este unghiul electric dintre două bare consecutive a celiviei și $\delta_e = 2\pi/N$.

2.2.1.2. Modele matematice cu ecuațiile în sistemul de coordonate D, Q, 0

Este convenabil ca studiul proceselor tranzitorii ale sistemelor electrice care sînt formate din mașini sincrone și asincrone să se facă folosind aceeași metodă de analiză atât pentru rețeaua de interconexiune cît și pentru ambele categorii de mașini. Pentru mașina sincronă, în literatura de specialitate se utilizează pe scară largă ecuațiile din teoria celor două axe (ecuațiile Park). Sistemul de coordonate d, q, 0 folosit în ecuațiile Park este un sistem rigid legat de rotorul mașinii. Într-o serie de lucrări /45/, /46/, /69/, /70/, /87/, /88/, /126/ se folosește atât pentru mașinile sincrone cît și pentru cele asincrone un sistem de coordonate unic care se rotește cu viteză unghiulară constantă și arbitrară. În lucrarea de față acest sistem de coordonate va fi denumit D, Q, 0. Ideea folosirii unui astfel de sistem aparține lui Kron /71/, /72/, care utilizează sistemul de coordonate D, Q, 0 sincron (se rotește cu viteză constantă de sincronism). Marele avantaj al folosirii sistemului de coordonate D, Q, 0 pentru toate elementele sistemului electric (mașini electrice și rețeaua de interconexiune) constă în aceea că la rezolvarea setului format din sistemele de ecuații ale acestor elemente interconectate nu sînt necesare transformări de coordonate ca în cazul folosirii sistemelor de coordonate d, q, 0, legate rigid de rotorul fiecărei mașini. În plus, prin particularizarea unor mărimi din ecuațiile unui element, scrise în sistemul de coordonate D, Q, 0 se pot obține imediat ecuațiile elementului respectiv în orice sistem de coordonate: D, Q, 0 sincron; d, q, 0 rigid legat de rotor sau $\alpha_r, \beta_r, 0$ (sistemul de coordonate Park sau semiholonomic); d, q, 0 rigid legat de stator sau $\alpha_s, \beta_s, 0$ (sistemul de coordonate static). Folosirea unuia sau altuia dintre sistemele de coordonate amintite este funcție de natura elementului studiat ca entitate in-



dependență, precum și funcție de natura fenomenelor tranzitorii studiate. Se subliniază că axele D, d, α_s, α_r sînt în cuadratură electrică respectiv cu axele Q, q, β_s, β_r .

Rotorul se rotește față de stator cu o viteză căreia îi corespunde pulsația unghiulară ω_r , unghiul electric dintre axa statorică α_s și axa rotorică α_r fiind γ_r ; sistemul de coordonate D, Q, 0 se rotește față de sistemul de coordonate static α_s, β_s al statorului cu o viteză căreia îi corespunde pulsația unghiulară ω_D , unghiul electric dintre axa α_s și axa D fiind γ_D și față de sistemul de coordonate rigid legat de rotor α_r, β_r cu o viteză căreia îi corespunde pulsația unghiulară relativă ω_{pr} , unghiul electric dinter axa rotorică α_r și axa D fiind γ . (fig.2.4). Se poate deci scrie:

Fig.2.4. Caracterizarea sistemului de coordonate D, Q față de sistemele de coordonate α_s, β_s și α_r, β_r .

torică α_s și axa rotorică α_r fiind γ_r ; sistemul de coordonate D, Q, 0 se rotește față de sistemul de coordonate static α_s, β_s al statorului cu o viteză căreia îi corespunde pulsația unghiulară ω_D , unghiul electric dintre axa α_s și axa D fiind γ_D și față de sistemul de coordonate rigid legat de rotor α_r, β_r cu o viteză căreia îi corespunde pulsația unghiulară relativă ω_{pr} , unghiul electric dinter axa rotorică α_r și axa D fiind γ . (fig.2.4). Se poate deci scrie:

$$(2.8) \quad \omega_D = \frac{d\gamma_D}{dt}; \quad \omega_r = \frac{d\gamma_r}{dt}; \quad \omega_{pr} = \frac{d\gamma}{dt}$$

Intre unghiurile electrice și pulsațiile unghiulare definite mai sus există următoarele relații de legătură:

$$(2.9) \quad \gamma = \gamma_D - \gamma_r ; \quad \omega_{Dr} = \omega_D - \omega_r$$

Dacă ω este pulsația unghiulară sincronă se pot defini următoarele alunecări;

$$(2.10) \quad \lambda = \frac{\omega - \omega_r}{\omega} ; \quad \lambda_D = \frac{\omega - \omega_D}{\omega}$$

Decareceteate sistemele de coordonate de mai sus sînt carteziene, fiecărui a i se poate asocia un plan complex cu axa reală Re (sau +1), orientată după axele α_s , α_r , D și cu axa imaginară Im (sau +j), orientată după axele β_s , β_r , Q.

2.2.1.2.1. Modele matematice cu ecuațiile în sistemul de coordonate D,Q,0 și cu mărimi rotorice reduse la stator.

În general în literatura de specialitate /17/,/20/,/21/,/64/,/69/,/70/,/87/,/88/,/105/,/108/,/109/,/117/,/119/,/120/,/122/ se folosesc ecuațiile mașinii asincrone cu mărimi rotorice reduse la stator, deoarece în acest caz se poate aplica foarte rapid metoda "per-unit" pentru exprimarea mărimilor electrice și magnetice, precum și a parametrilor mașinii. Pentru scrierea ecuațiilor în sistemul D,Q,0 cu mărimile rotorice reduse la stator s-a folosit metoda indicată în /17/. Toate mărimile care se referă la circuitele înfășurărilor rotorice echivalente ale celor două celivii s-au redus la numărul de faze și numărul de spire pe fază ale înfășurării statorice.

Coefficientul de reducere al curenților care parcurg circuitele unei înfășurări rotorice s-au determinat pe baza egalității amplitudinilor armonicilor fundamentale ale inducției magnetice din întrefier, create de înfășurarea rotorică redusă și de cea neredusă, în sectorul corespunzător acțiunii celor două înfășurări. Cu alte cuvinte curenții rotorici reduși, trecînd prin circuitele înfășurării rotorice, trebuie să producă aceeași amplitudine a armonicii fundamentale a inducției magnetice în întrefier ca și curenții reali din circuitele înfășurării rotorice nereduse. Coeficientul de reducere al tensiunilor aplicate circuitelor înfășurărilor rotorice s-a determinat pe baza egalității puterilor circuitelor înfășurărilor reduse și a circuitelor înfășurărilor nereduse. În acest fel au rezultat următoarele expresii pentru coeficienții de reducere:

$$(2.11) \quad k_I = \frac{I^n}{I} = \frac{m_s \omega_s k_{bs} k_{ds}}{m_r \omega_r k_{br} k_{dr}} ; \quad k_U = k_\Psi = \frac{U}{U^n} = \frac{\Psi}{\Psi^n} = \frac{m_r}{m_s} k_I ; \quad k_L = k_R = k_Z = k_I k_U = \frac{L}{L^n} = \frac{R}{R^n} = \frac{Z}{Z^n}$$

unde: n este un indice superior afectat mărimilor nereduse ale circuitelor înfășurării rotorice; k_I este coeficientul de reducere al curenților circuitelor rotorice; $k_U = k_\Psi$ este coeficientul de reducere al tensiunilor, respectiv al înălțărilor circuitelor rotorice; $k_L = k_R = k_Z$ este coeficientul de reducere al inductivităților, respectiv rezistențelor, respectiv impedanțelor circuitelor rotorice; m_s (m_r) este numărul fazelor înfășurării statorice (rotorice); ω_s (ω_r) este numărul spirelor unei faze a înfășurării statorice (rotorice); k_{bs} (k_{br}) este factorul de înfășurare al înfășurării statorice (rotorice); k_{ds} (k_{dr}) este raportul dintre am-

plitudinea armonicilor fundamentale a inducției din întrefier, producă de armonică fundamentală a tensiunii magnetotoare a înfășurării statorice (rotorice) și valoarea maximă a inducției.

În ipoteza că rotorul motorului asincron cu două colivii rotorice nu are creștăturile înclinate, iar barele celor două colivii sînt dispuse în aceeași creștătură, rezultă că înfășurările rotorice îndeplinesc condiția (2.1), iar întrefierul este constant și ca urmare:

$$(2.12) \quad k_I = \frac{3w_s k_{bs}}{0,5N} ; \quad k_U = k_\Psi = \frac{w_s k_{bs}}{0,5} ; \quad k_L = k_R = k_Z = \frac{3}{N} \left(\frac{w_s k_{bs}}{0,5} \right)^2$$

Ecuațiile modelului matematic al motorului asincron cu două colivii rotorice în sistemul de coordonate D, Q, 0 cu mărimile rotorice reduse la stator au fost obținute folosind transformarea de coordonate din sistemul natural de coordonate în sistemul D, Q, 0 și conceptul de fazor reprezentativ spațio-temporal [8], [33], [87], [83]. Astfel dacă \bar{V}_{Ds} , respectiv \bar{V}_{Bk} ($k=1;2$) reprezintă fazorii reprezentativi ai tensiunilor, curenților sau înălțăuirilor circuitelor înfășurării statorice, respectiv ai circuitelor celor două înfășurări rotorice reduse la stator, atunci transformarea de coordonate care a fost folosită este exprimată prin relațiile:

- pentru circuitele înfășurării statorice:

$$(2.13) \quad \bar{V}_{Bs} = V_{Ds} + jV_{Qs} = \left(\frac{2}{3} \sum_{\nu=1}^3 v_{\nu s} \bar{a}^{(\nu-1)} \right) \exp[-j\gamma_D] ; \quad (2.14) \quad V_{Os} = \left(\frac{1}{3} \sum_{\nu=1}^3 v_{\nu s} \right)$$

- pentru circuitele înfășurărilor rotorice echivalente ale celor două colivii:

$$(2.15) \quad \bar{V}_{Bk} = V_{Dk} + jV_{Qk} = \left(\frac{2}{N} k_U \sum_{n=1}^N v_{nk} \bar{p}^{(n-1)} \right) \exp[-j(\gamma_D - \delta_r)] ; \quad (2.16) \quad \bar{V}_{Ok} = \left(\frac{1}{N} k_U \sum_{n=1}^N v_{nk} \right)$$

unde operatorii \bar{a} și \bar{p} au expresiile:

$$(2.17) \quad \bar{a} = \exp[j2\pi/3] ; \quad \bar{p} = \exp[j2\pi/N]$$

iar $v_{\nu s}$ ($\nu=1,2,3$), respectiv v_{nk} ($n=1,2,\dots,N$) reprezintă tensiunile, curenții sau înălțăuirile circuitelor înfășurării statorice, respectiv ale circuitelor celor două înfășurări rotorice din ecuațiile (2.3) și (2.4); V_{Ds} , V_{Qs} , V_{Os} reprezintă componenta după axa D, componenta după axa Q și componenta homopolară ale aceluiași mărimi statorice; V_{Dk} , V_{Qk} , V_{Ok} ($k=1;2$) reprezintă componentele după axa D, după axa Q și componentele homopolare ale aceluiași mărimi ale circuitelor celor două înfășurări rotorice reduse la stator; k_V este un coeficient care pentru curenți ia valoarea $k_V=1/k_I$, iar pentru tensiuni și înălțăuiri ia valoarea $k_V=k_U=k_\Psi$.

Modelul matematic obținut în urma acestei transformări de coordonate a fost denumit modelul MA-2C-DC (motor asincron, două colivii, sistem de coordonate D, Q, 0, cu mărimi complexe), iar ecuațiile sale sub formă matricială, deduse în anexa 2.1, sînt:

$$(2.18) \quad [\bar{u}_s] = [\bar{\partial}]_D [\bar{\Psi}_s] + [R_s] [\bar{i}_s] \quad (2.19) \quad \omega [\bar{\Psi}_s] = [X_s] [\bar{i}_s]$$

$$(2.20) \quad M = \frac{3}{2} p \operatorname{Re} [j \bar{\Psi}_{Bs} \bar{i}_{Bs}^*] \quad (2.21) \quad - \frac{j\omega}{p} \frac{d^1}{dt} = M + M_m$$

unde $[\bar{\partial}]_D$ este un operator complex de derivare, iar simbolul * semnifică o mărimă complex conjugată.

Matricile din ecuațiile modelului MA-2C-DC au următoarea formă:

$$\begin{bmatrix} \bar{u}_B \end{bmatrix}_t = \begin{bmatrix} \bar{u}_{B3} & u_{03} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{\psi}_B \end{bmatrix}_t = \begin{bmatrix} \bar{\psi}_{B3} & \psi_{03} & \bar{\psi}_{B1} & \psi_{01} & \bar{\psi}_{B2} & \psi_{02} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{y}_B \end{bmatrix}_t = \begin{bmatrix} \bar{y}_{B3} & y_{03} & \bar{y}_{B1} & y_{01} & \bar{y}_{B2} & y_{02} \end{bmatrix}$$

(2.22)

$$\begin{bmatrix} R_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_3 & & & & & \\ & R_3 & & & & \\ & & R_1 & & & \\ & & & R_1 & & \\ & & & & R_2 & \\ & & & & & R_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} X_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_3 & & X_{31} & & X_{32} & \\ & X_{03} & & & & \\ X_{13} & & X_1 & & X_{12} & \\ & & & X_{01} & & X_{012} \\ X_{23} & & X_{21} & & X_2 & \\ & & & X_{012} & & X_{32} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{d} \end{bmatrix}_D = \begin{bmatrix} \partial + j\omega(1-s_D) & & & & & \\ & \partial & & & & \\ & & \partial + j\omega(s-s_D) & & & \\ & & & \partial & & \\ & & & & \partial + j\omega(s-s_D) & \\ & & & & & \partial \end{bmatrix}$$

unde ∂ este operatorul de derivare în raport cu timpul ($\partial = d/dt$), iar elementele matricilor $\begin{bmatrix} R_B \end{bmatrix}$ și $\begin{bmatrix} X_B \end{bmatrix}$ sînt definite prin relațiile:

$$\begin{aligned} R_1 &= k_2 R_{11}; R_2 = k_2 R_{22}; X_3 = \omega(L_{10} + \frac{3}{2}L_{1\delta\sigma} + \frac{3}{2}L_{1s1h}); X_{31} = \omega \frac{N}{2} k_I L_{11h}; X_{13} = \omega \frac{3}{2} k_\psi L_{13h}; \\ X_{12} &= \omega \frac{N}{2} k_I L_{12h}; X_{03} = \omega \frac{3}{2} k_\psi L_{23h}; X_{31} = X_{13}; X_{12} = X_{21}; \\ (2.23) \quad X_1 &= \omega k_2 (L_{1\sigma} + L_{12\sigma} + L'_{12i\sigma} + \frac{N}{2}L_{12\delta\sigma} + \frac{N}{2}L_{11h}); X_2 = \omega k_2 (L_{2\sigma} + L_{12\sigma} + L'_{12i\sigma} + \frac{N}{2}L_{12\delta\sigma} + \frac{N}{2}L_{22h}); \\ X_{21} &= \omega k_2 (L_{12\sigma} + L'_{12i\sigma} + \frac{N}{2}L_{12\delta\sigma} + L_{12m\sigma} + \frac{N}{2}L_{12h}); X_{12} = \omega k_2 (L_{12\sigma} + L'_{12i\sigma} + \frac{N}{2}L_{12\delta\sigma} + L_{12m\sigma} + \frac{N}{2}L_{12h}); \\ X_{21} &= X_{12}; X_{01} = \omega L_{1\sigma}; X_{01} = \omega k_2 (L_{1\sigma} + L_{12\sigma} + L'_{12i\sigma}); X_{02} = \omega k_2 (L_{2\sigma} + L_{12\sigma} + L'_{12i\sigma}); \\ X_{012} &= \omega k_2 (L_{12\sigma} + L'_{12i\sigma} + L_{12m\sigma}); X_{021} = \omega k_2 (L_{12\sigma} + L'_{12i\sigma} + L_{21m\sigma}); X_{012} = X_{021}. \end{aligned}$$

Egalitățile $X_{31} = X_{13}$; $X_{32} = X_{23}$; $X_{21} = X_{12}$; $X_{012} = X_{021}$ din relațiile (2.23) rezultă dacă se au în vedere egalitățile $L_{1sh} = L_{s1h}$; $L_{2sh} = L_{s2h}$; $L_{21m\sigma} = L_{12m\sigma}$; $L_{21h} = L_{12h}$ (a se vedea tabelul 2.1) și dacă se ține seama de relațiile (2.12) de definire a coeficienților k_I și k_ψ .

Dacă în modelul MA-2C-DC se operează înlocuirea $s_D = 0$ ($\omega_D = \omega$), adică se înlocuiește operatorul $\begin{bmatrix} \bar{d} \end{bmatrix}_D$ cu operatorul $\begin{bmatrix} \bar{d} \end{bmatrix}_S$, se obține modelul matematic MA-2C-SC al motorului asincron cu două colivii în sistemul de coordonate D,Q,0 sincron; iar dacă se operează înlocuirea $s_D = s$ ($\omega_D = \omega_r$), adică se înlocuiește operatorul $\begin{bmatrix} \bar{d} \end{bmatrix}_D$ cu operatorul $\begin{bmatrix} \bar{d} \end{bmatrix}_P$, se obține modelul matematic MA-2C-PC al motorului asincron cu două colivii în sistemul de coordonate Park (d,q,0 rigid legat de rotor). Operatorii $\begin{bmatrix} \bar{d} \end{bmatrix}_S$ și $\begin{bmatrix} \bar{d} \end{bmatrix}_P$ au forma:

$$(2.24) \quad \begin{bmatrix} \bar{d} \end{bmatrix}_S = \begin{bmatrix} \partial + j\omega & & & & & \\ & \partial & & & & \\ & & \partial + j1\omega & & & \\ & & & \partial & & \\ & & & & \partial + j\Delta\omega & \\ & & & & & \partial \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{d} \end{bmatrix}_P = \begin{bmatrix} \partial + j\omega(1-s) & & & & & \\ & \partial & & & & \\ & & \partial & & & \\ & & & \partial & & \\ & & & & \partial & \\ & & & & & \partial \end{bmatrix}$$

Intrucît motoarele asincrone folosite în scopuri industriale au atît înfăşurarea statorică, cît şi colivile rotorice simetrice din punct de vedere construc-tiv, iar înfăşurarea statorică nu are neutrul accesibil, în regimuri tranzitorii nu apar curenţi homopolari ($\bar{J}_{0s} = \bar{J}_{01} = \bar{J}_{02} = 0$) /84/, /85/, /100/. De aceea pen-tru studierea acestor regimuri se poate renunţa la ecuaţiile aferente mărimilor homopolare din modelele MA-2C-DC, MA-2C-SC, MA-2C-PC.

În scopul găsirii unei scheme echivalente a motorului asincron cu două colivii rotorice, care să corespundă modelului MA-2C-DC s-a eliminat matricea înlănţuirii-lor $[\bar{\Psi}_B]$ din ecuaţiile (2.18), (2.19), rezultînd ecuaţia matricială:

$$(2.25) \quad [\bar{U}_B] = \frac{1}{\omega} [\bar{\partial}]_0 [X_B] [\bar{J}_B] + [R_B] [\bar{J}_B]$$

echivalentă modelului MA-2C-DC.

Avînd în vedere că la motorul asincron cu două colivii rotorice luat în consi-derare, barele coliviilor rotorice sînt plasate în aceeaşi creştătură a rotorului, cu o distanţă relativ mică între ele, s-a admis că înfăşurarea statorică, barele coliviei superioare şi barele coliviei inferioare sînt înlănţuite de un flux util comun (fig.2.3 şi tabelul 2.1) şi avînd în vedere relaţiile (2.12) de definire a coeficienţilor de reducere k_I, k_ψ, k_Z rezultă următoarele egalităţi:

$$(2.26) \quad \frac{N}{2} k_I L_{11h} = \frac{3}{2} k_\psi L_{15h} = \frac{N}{2} k_I L_{12h} = \frac{3}{2} k_\psi L_{20h} = \frac{N}{2} k_Z L_{11h} = \frac{N}{2} k_Z L_{22h} = \frac{N}{2} k_Z L_{12h} = \frac{N}{2} k_Z L_{21h} = \frac{3}{2} L_{23h} = M$$

Dacă se notează:

$$(2.27) \quad X_m = \omega M ; X_{1\sigma} = \omega \left(L_{1\sigma} + \frac{3}{2} L_{15\sigma} \right) ; X_{1\sigma} = \omega k_Z L_{1\sigma} ; X_{2\sigma} = \omega k_Z L_{2\sigma} ; \\ X_{12\sigma} = \omega k_Z \left(L_{12\sigma} + L'_{12\sigma} + \frac{N}{2} L_{12\delta\sigma} \right) ; X_{12m\sigma} = \omega k_Z L_{12m\sigma} = \omega k_Z L_{21m\sigma}$$

atunci reactanţele matricii $[X_B]$ din ecuaţiile (2.19), (2.25) se pot scrie sub forma:

$$(2.28) \quad X_{11} = X_{14} = X_{12} = X_{21} = X_m ; X_{12} = X_{21} = X_m + X_{12\sigma} + X_{12m\sigma} ; X_4 = X_m + X_{4\sigma} ; \\ X_1 = X_m + X_{1\sigma} + X_{12\sigma} ; X_2 = X_m + X_{2\sigma} + X_{12\sigma}$$

Folosind relaţiile (2.28) şi renunţînd la ecuaţiile aferente mărimilor homopo-

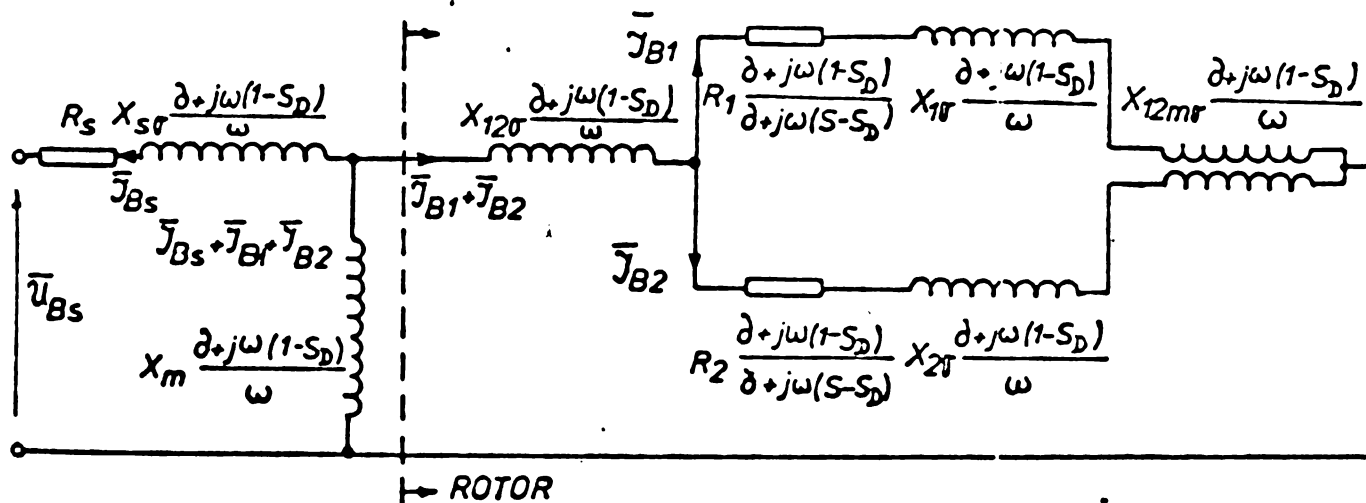


Fig.2.5. Schema echivalentă a motorului asincron cu două colivii rotorice, corespunzătoare modelului matematic MA-2C-DC.

lare din ecuaţia matricială (2.25), pe baza acestei ecuaţii matriciale a rezultat schema echivalentă din fig.2.5 a motorului asincron cu două colivii rotorice, co-

respunzătoare modelului MA-2C-DC.

Se pot găsi și schezele corespunzătoare modelelor MA-2C-SC și MA-2C-PC, dacă în scheza din fig.2.5 se fac particularizările $s_D = 0$, respectiv $s_D = s$.

2.2.1.2.2. Modele matematice cu ecuațiile în sistemul de coordonate D,Q,0 și cu mărimile rotorice reduse la stator și raportate la axele de coordonate D,Q.

Prezintă interes ca matricea de reactanță $[X_B]$ din modelele matematice MA-2C-DC, MA-2C-SC, MA-2C-PC să aibă o formă în care reactanțele mutuale să fie egale. Acest lucru s-a putut obține prin scrierea ecuațiilor modelelor în funcție de noi variabile. În acest scop s-au folosit următoarele schimbări de variabile:

$$(2.29) \quad \begin{aligned} \tilde{X}_m &= \frac{X_{A1}X_{A2}}{X_{12}} = \frac{X_m^2}{X_{12}}; \quad \tilde{X}_1 = X_1 \left(\frac{\tilde{X}_m}{X_{A1}}\right)^2; \quad \tilde{R}_1 = R_1 \left(\frac{\tilde{X}_m}{X_{A1}}\right)^2; \quad \tilde{X}_2 = X_2 \left(\frac{\tilde{X}_m}{X_{A2}}\right)^2; \quad \tilde{R}_2 = R_2 \left(\frac{\tilde{X}_m}{X_{A2}}\right)^2; \quad \tilde{X}_{01} = X_{01} \left(\frac{\tilde{X}_m}{X_{A1}}\right)^2 \\ \tilde{X}_{02} &= X_{02} \left(\frac{\tilde{X}_m}{X_{A2}}\right)^2; \quad \tilde{X}_{12} = X_{012} \frac{\tilde{X}_m}{X_{12}}; \quad \tilde{\Psi}_{B1} = \frac{\tilde{X}_m}{X_{A1}} \Psi_{B1}; \quad \tilde{\Psi}_{01} = \frac{\tilde{X}_m}{X_{A1}} \Psi_{01}; \quad \tilde{Y}_{B1} = \frac{X_{B1}}{\tilde{X}_m} \bar{Y}_{B1}; \\ \tilde{Y}_{01} &= \frac{X_{01}}{\tilde{X}_m} \bar{Y}_{01}; \quad \tilde{\Psi}_{B2} = \frac{\tilde{X}_m}{X_{A2}} \Psi_{B2}; \quad \tilde{\Psi}_{02} = \frac{\tilde{X}_m}{X_{A2}} \Psi_{02}; \quad \tilde{Y}_{B2} = \frac{X_{B2}}{\tilde{X}_m} \bar{Y}_{B2}; \quad \tilde{Y}_{02} = \frac{X_{02}}{\tilde{X}_m} \bar{Y}_{02} \end{aligned}$$

Cu noile variabile a fost găsit (anexa 2.2) modelul matematic constituit din următorul set de ecuații și denumit modelul MA-2C-DCR, cu mărimile rotorice reduse la stator și raportate la axele D,Q:

$$(2.30) \quad [\bar{u}_B] = [\bar{\partial}]_D [\tilde{\Psi}_B] + [\tilde{R}_B] [\tilde{Y}_B]; \quad (2.31) \quad \omega [\tilde{\Psi}_B] = [\tilde{X}_B] [\tilde{Y}_B];$$

$$(2.32) \quad M = \frac{3}{2} p \operatorname{Re} [j \tilde{\Psi}_{B0} \tilde{Y}_{B0}^*]; \quad (2.33) \quad -\frac{j\omega}{p} \frac{ds}{dt} = M + M_m$$

unde matricile din ecuațiile (2.30), (2.31) au următoarele forme:

$$[\bar{u}_B]_t = \begin{bmatrix} \bar{u}_{B1} & \bar{u}_{B2} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad [\tilde{\Psi}_B]_t = \begin{bmatrix} \tilde{\Psi}_{B1} & \tilde{\Psi}_{01} & \tilde{\Psi}_{B2} & \tilde{\Psi}_{02} \end{bmatrix};$$

$$[\tilde{Y}_B]_t = \begin{bmatrix} \tilde{Y}_{B1} & \tilde{Y}_{01} & \tilde{Y}_{B2} & \tilde{Y}_{02} \end{bmatrix}$$

(2.34)

$$[\tilde{R}_B] = \begin{bmatrix} R_s & & & & & \\ & R_s & & & & \\ & & \tilde{R}_1 & & & \\ & & & \tilde{R}_1 & & \\ & & & & \tilde{R}_2 & \\ & & & & & \tilde{R}_2 \end{bmatrix}; \quad [\tilde{X}_B] = \begin{bmatrix} X_s & & & & & \\ & X_{01} & & & & \\ \tilde{X}_m & & \tilde{X}_1 & & \tilde{X}_m & \\ & & & \tilde{X}_{01} & & \tilde{X}_{012} \\ \tilde{X}_m & & \tilde{X}_m & & \tilde{X}_2 & \\ & & & & & \tilde{X}_{02} \end{bmatrix}$$

Dacă în ecuațiile modelului MA-2C-DCR se înlocuiește operatorul $[\bar{\partial}]_D$ cu operatorul $[\bar{\partial}]_s$ se obține modelul MA-2C-SCR, având ecuațiile în sistemul de coordonate D,Q,0 sincron și mărimile rotorice reduse la stator și raportate la axele D,Q, iar dacă se înlocuiește operatorul $[\bar{\partial}]_D$ cu operatorul $[\bar{\partial}]_p$ se obține modelul MA-2C-PCR, având ecuațiile în sistemul de coordonate Park și mărimile rotorice reduse la stator și raportate la axele d,q. Operatorii $[\bar{\partial}]_s$, $[\bar{\partial}]_p$ sînt dați de relațiile (2.22)..

Modelele matematice cu mărimile rotorice reduse la stator și raportate la axele D,Q prezintă următoarele avantaje față de modelele fără mărimi rotorice raportate la axele D,Q:

- numărul parametrilor este mai mic, deoarece toate reactanțele mutuale sînt egale;
- parametrii raportați la axele D,Q se pot determina experimental pe baza măsurătorilor la bornele 1s, 2s, 3s ale statorului.

Pentru găsirea schemei echivalente a motorului asincron cu două colivii rotorice, corespunzătoare modelului MA-2C-DCR, se definesc următoarele reactanțe de dispersie de calcul:

$$(2.35) \quad \tilde{X}_{1\sigma} = X_{1\sigma} - \tilde{X}_m; \quad \tilde{X}_{1r} = X_{1r} - \tilde{X}_m; \quad \tilde{X}_{2\sigma} = X_{2\sigma} - \tilde{X}_m$$

iar ecuațiile (2.30), (2.31) ale modelului MA-2C-DCR se înlocuiesc cu ecuația matricială echivalentă:

$$(2.36) \quad [\tilde{u}_B] = \frac{1}{\omega} [D] [\tilde{x}_B] [\tilde{j}_B] + [\tilde{R}_B] [\tilde{j}_B]$$

Folosind relațiile (2.35) și renunțînd la ecuațiile aferente mărimilor homopolare din ecuația matricială (2.36), pe baza acestei ecuații matriciale a rezultat schema echivalentă din fig.2.6 a motorului asincron cu două colivii rotorice corespunzătoare modelului MA-2C-DCR.

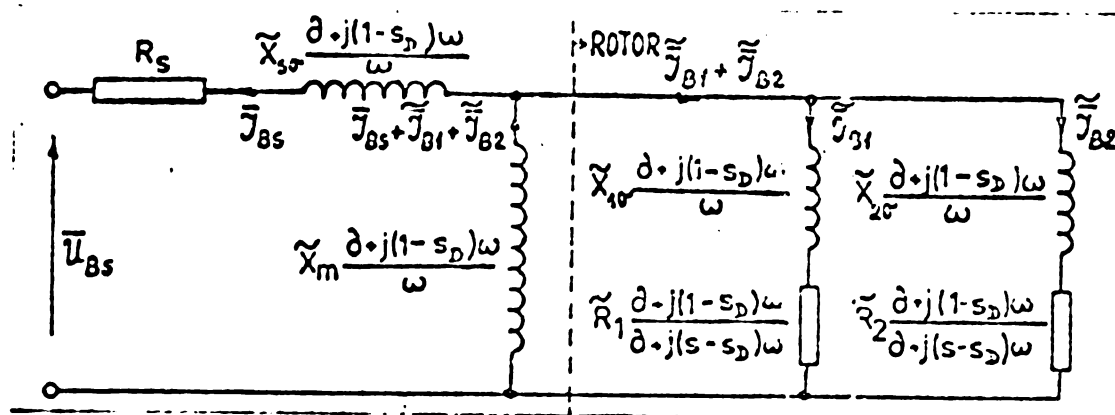


Fig. 2.6. Schema echivalentă a motorului asincron cu două colivii rotorice corespunzătoare modelului MA-2C-DCR.

Schemele echivalente corespunzătoare modelelor MA-2C-SCR, respectiv MA-2C-PCR se pot deduce din schema din fig.2.6, dacă în aceasta se fac particularizările $s_D = 0$, respectiv $s_D = s$.

2.2.1.2.3. Modele matematice cu ecuațiile în sistemul de coordonate D,Q,θ și cu mărimile în unități relative (U.R. sau "per-unit")

Dacă toate mărimile din ecuațiile modelelor MA-2C-DC, MA-2C-SC, MA-2C-PC, MA-2C-DCR, MA-2C-SCR, MA-2C-PCR se raportează la un sistem de mărimi de bază, rezultă ecuațiile, respectiv schemele echivalente ale modelelor MA-2C-DC-UR, MA-2C-SC-UR, MA-2C-PC-UR, MA-2C-DCR-UR, MA-2C-SCR-UR, MA-2C-PCR-UR cu mărimi în unități relative. Astfel dacă V este o mărime care apare în model și V_β este mărimea de bază de aceeași natură fizică, atunci mărimea din model în unități relative (U.R.) este:

$$(2.37) \quad v = \frac{V}{V_{\beta}}$$

Drept mărimi de bază se aleg:

$$(2.38) \quad \begin{aligned} U_p &= \sqrt{2} U_{nf}; \quad I_p = \sqrt{2} I_n; \quad \omega_p = \omega; \quad \psi_p = U_p / \omega_p; \quad \tau_p = 1 / \omega_p; \quad Z_p = U_p / I_p = U_{nf} / I_n = Z_n; \\ L_p &= Z_p / \omega_p; \quad \Omega_p = \omega_p / p = \Omega; \quad P_p = \frac{3}{2} U_p I_p = 3 U_{nf} I_n = S_n; \quad M_p = P_p / \omega_p = S_n / \Omega = p S_n / \omega \end{aligned}$$

unde: U_{nf} este valoarea efectivă a tensiunii nominale de fază a motorului; I_n este valoarea efectivă a curentului nominal; S_n este puterea aparentă nominală a motorului; Ω este turația nominală de sincronism.

Dacă toate mărimile exprimate în U.R. se notează conform relației (2.37) cu litere minuscule, afară de timp care se notează cu τ și de operatorul de derivare în raport cu timpul care se notează cu $\partial^\tau = d/d\tau$ se poate arăta că:

$$(2.39) \quad \ell = x; \quad \tau = \omega t; \quad \omega(\partial^\tau) = \partial; \quad \varphi = xi$$

unde: ℓ reprezintă inductivitatea în U.R.; x reprezintă reactanța în U.R.; φ reprezintă înălțuirea în U.R.

De exemplu, dacă ecuațiile (2.30), ..., (2.33) ale modelului MA-2C-DCR se scriu cu mărimile în unități relative, se va obține modelul MA-2C-DCR-UR, constituit din ecuațiile:

$$(2.40) \quad \begin{bmatrix} \bar{u}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial^\tau \end{bmatrix}_D \begin{bmatrix} \tilde{\varphi}_B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{r}_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{i}_B \end{bmatrix} \quad (2.41) \quad \begin{bmatrix} \tilde{\varphi}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{l}_B \end{bmatrix}$$

$$(2.42) \quad m = \operatorname{Re} \left\{ j \tilde{\varphi}_{B\lambda} \tilde{i}_{B\lambda}^* \right\} \quad (2.43) \quad -t_m \frac{ds}{d\tau} = m + m_m$$

unde matricile din ecuațiile (2.40), (2.41) au forma:

$$\begin{bmatrix} \bar{u}_B \end{bmatrix}_t = \begin{bmatrix} \bar{u}_{B\lambda} & u_{0\lambda} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \tilde{\varphi}_B \end{bmatrix}_t = \begin{bmatrix} \tilde{\varphi}_{B\lambda} & \varphi_{0\lambda} & \tilde{\varphi}_{0\lambda} & \tilde{\varphi}_{01} & \tilde{\varphi}_{02} & \varphi_{02} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{l}_B \end{bmatrix}_t = \begin{bmatrix} \tilde{l}_{B\lambda} & l_{0\lambda} & \tilde{l}_{0\lambda} & \tilde{l}_{01} & \tilde{l}_{02} & l_{02} \end{bmatrix}$$

$$(2.44) \quad \begin{bmatrix} \tilde{r}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_\lambda & & & & & \\ & r_\lambda & & & & \\ & & \tilde{r}_1 & & & \\ & & & \tilde{r}_1 & & \\ & & & & \tilde{r}_2 & \\ & & & & & \tilde{r}_2 \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \tilde{x}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_\lambda & & \tilde{x}_m & & & \\ & x_{0\lambda} & & & & \\ \tilde{x}_m & & \tilde{x}_1 & & \tilde{x}_m & \\ & & & \tilde{x}_{01} & & \tilde{x}_{02} \\ \tilde{x}_m & & \tilde{x}_m & & \tilde{x}_2 & \\ & & & \tilde{x}_{02} & & \tilde{x}_{02} \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} \partial^\tau \end{bmatrix}_D = \begin{bmatrix} \partial^\tau + j(1-s_D) & & & & & \\ & \partial^\tau & & & & \\ & & \partial^\tau + j(1-s_D) & & & \\ & & & \partial^\tau & & \\ & & & & \partial^\tau + j(1-s_D) & \\ & & & & & \partial^\tau \end{bmatrix}$$

iar t_m este constanta de timp de lansare a motorului în U.R., fiind dată de relația:

$$(2.45) \quad t_m = T_m / \tau_p = \omega T_m = 2h$$

unde constanta de timp de lansare T_m [s] a motorului este dată la rîndul ei de re-

latia:

$$(2.46) \quad T_m = J\Omega^2/s_n = J\Omega/M_\beta = 2H$$

$H[s]$ fiind constanta de inerție, iar h constanta de inerție în U.R.

Operatorii $[\bar{\partial}^\tau]_s$, respectiv $[\bar{\partial}^\tau]_p$ corespunzător modelului MA-2C-SCR-UR, respectiv modelului MA-2C-PCR-UR se obțin din operatorul $[\bar{\partial}^\tau]_D$ dat de relația (2.44), în care se face particularizarea $s_D = 0$, respectiv $s_D = s$.

Schemele echivalente corespunzătoare modelelor MA-2C-LC-UR, respectiv MA-2C-DCR-UR sînt cele din fig.2.5, cu observația că toate mărimile din schemă sînt exprimate în U.R, inclusiv ω , care în U.R. devine egal cu unitatea.

2.2.2. Modele matematice ale motoarelor asincrone cu rotor cu o colivie cu bare înalte.

Se știe că parametrii proprii ai coliviei rotorice cu bare înalte a unui motor asincron nu sînt mărimi constante, fiind puternic influențați de efectul pelicular și deci modificîndu-se odată cu alunecarea motorului. Considerarea acestei modificări în ecuațiile modelului matematic este destul de dificilă. Din acest motiv este avantajos ca în aceste ecuații să intervină parametrii echivalenți constanți. În acest scop motorul cu o colivie rotorică cu bare înalte se echivalează cu un motor cu două colivii rotorice, parametrii proprii fiecărei colivii în parte fiind constanți. Metoda de echivalare s-a stabilit pornindu-se de la următoarele considerente:

- Ecuațiile modelului matematic MA-2C-DCR al unui motor asincron cu două colivii rotorice, avînd parametrii proprii fiecărei colivii în parte constanți și toate mărimile reduse la stator și raportate la axele D, Q sînt date de relațiile (2.30), ..., (2.33), iar dacă mărimile sînt exprimate și în unități relative, de relațiile (2.40), ..., (2.43). Schema echivalentă a unui astfel de motor este dată în fig.2.6. Se observă că schema echivalentă a rotorului este de forma unui lanț format din doi cuadripoli cu parametrii constanți $\tilde{X}_{1\sigma}$, $\tilde{X}_{2\sigma}$, \tilde{R}_1 , \tilde{R}_2 .

- Considerarea unor parametrii constanți în ecuațiile modelelor matematice ale motorului asincron cu o colivie rotorică cu bare înalte poate fi realizată pe baza alcătuirii unei scheme echivalente a rotorului, sub forma unui lanț de cuadripoli, în care rezistențele și reactanțele sînt mărimi constante. Structura cuadripolilor componenți ai lanțului considerat (fig.2.7) diferă de la autor la autor /64/, /92/, /115/, /116/, /124/, /125/, /130/. Gradul de precizie al unei astfel de scheme echivalente este determinat de numărul de cuadripoli (sau bucle) considerat din lanț.

- Studiile efectuate în /64/, /115/, /124/, /125/, /130/ au arătat că limitarea schemei echivalente a rotorului la două bucle oferă suficientă precizie pentru studiul proceselor tranzitorii în motoarele asincrone cu o colivie rotorică cu bare înalte.

- Avînd în vedere similitudinea dintre schema echivalentă a rotorului cu două colivii din fig.2.6 și schema echivalentă a rotorului cu o colivie cu bare

nalte din fig.2.7.c, pentru stabilirea modelului matematic al motorului cu o colivie rotorică cu bare înalte se va lua în considerare pentru rotorul acestui tip

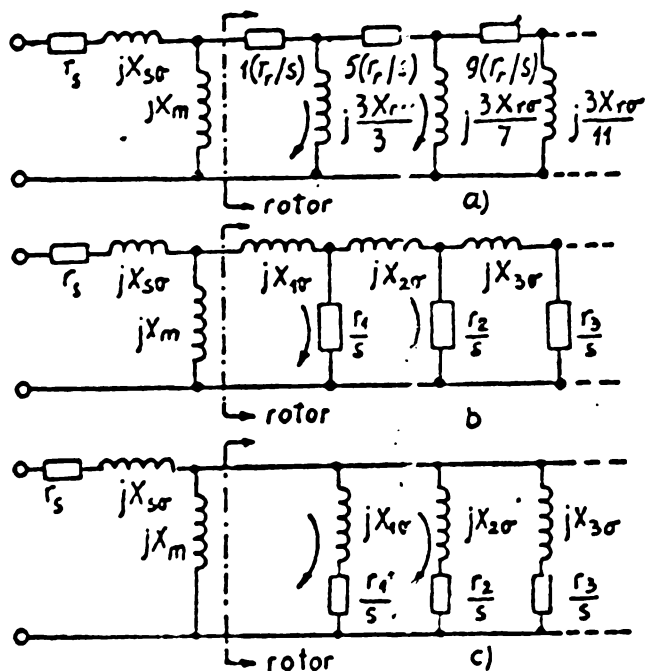


Fig.2.7. Structura lanțului de cuadripoli al schemei echivalente a rotorului cu bare înalte:
 a) după [92]; b) după [64], [124], [125], [130]
 c) după [115], [116].

de motor schema echivalentă limitată la două bucle din fig.2.7.c. În acest fel schema echivalentă a rotorului cu două colivii și cea a rotorului cu o colivie cu bare înalte vor fi identice ca structură.

- Din cele de mai sus rezultă că motorul cu o colivie rotorică cu bare înalte poate fi înlocuit printr-un motor echivalent cu două colivii rotorice. Schema echivalentă a motorului echivalent este cea din fig.2.6.

Dacă se face echivalarea celor două tipuri de motoare în felul arătat, rezultă că toate modelele matematice stabilite în cap.

2.2.1 pentru motorul asincron cu două colivii rotorice sînt valabile și pentru motorul asincron cu o colivie cu bare înalte.

Problema care trebuie rezolvată este de a determina pentru motorul echivalent valorile parametrilor constanți, proprii fiecărei colivii în parte, necesari atât în ecuațiile modelelor matematice, cît și în schema echivalentă a acestui motor. Bineînțeles că acești parametri vor trebui determinați în funcție de parametrii motorului real cu o colivie rotorică cu bare înalte.

În /92/, /125/, /130/ se indică o metodă de determinare a parametrilor motorului echivalent în funcție de parametrii motorului real, dar metoda respectivă necesită cunoașterea variației parametrilor proprii ai coliviei mașinii reale în funcție de alunecare. În /59/ se folosesc pentru determinarea parametrilor proprii ai celor două colivii ale motorului echivalent relații de calcul destul de complexe, care apelează la configurația geometrică a barelor și creștăturilor coliviei rotorice.

În cap.3.1.5. autorul a stabilit o metodă de determinare pentru motorul echivalent a parametrilor constanți proprii fiecărei colivii în parte, în funcție de o serie dintre parametrii tranzitorii determinați experimental ai motorului real.

2.3. Modele matematice ale motoarelor asincrone din categoria II

După cum s-a specificat, în prezenta lucrare se consideră ca făcînd parte din categoria II motoarele asincrone cu o singură colivie rotorică, care nu prezintă pronunțat efectul pelicular (de exemplu cu bare rotunde) sau cele cu rotorul bobinat. Ca urmare, modelele matematice ale motoarelor asincrone din această categorie, care au deci o singură înfășurare rotorică, se pot obține prin particularizarea adecvată a modelelor matematice ale motoarelor asincrone din categoria I, care au două înfășurări rotorice. Această particularizare se realizează egalînd

cu zero toți curenții, respectiv toate înălțuirile magnetice corespunzătoare celei de a doua înfășurări rotorice în toate modelele matematice ale motorului asincron cu două colivii rotorice. Pentru analiza regimurilor tranziterii ale motoarelor asincrone din categoria II prezintă interes modelele matematice prezentate în cele ce urmează.

2.3.1. Modele matematice cu ecuații în sistemul de coordonate D, Q, 0 și cu mărimile rotorice reduse la stator și raportate la axele D, Q.

Modelul matematic MA-1C-DCR al motoarelor asincrone din categoria II este constituit din ecuațiile (2.30), (2.31), (2.32), (2.33) în care matricile componente au următoarele forme:

$$\begin{aligned}
 \left[\bar{u}_B \right]_t &= \begin{bmatrix} \bar{u}_{B3} & u_{m1} & 0 & 0 \end{bmatrix}; & \left[\bar{j}_B \right]_t &= \left[\bar{j}_B \right]_t = \begin{bmatrix} \bar{j}_{B3} & j_{o3} & \bar{j}_{B1} & j_{o1} \end{bmatrix}; & \left[\bar{\psi}_B \right]_t &= \left[\bar{\psi}_B \right]_t = \begin{bmatrix} \bar{\psi}_{B3} & \psi_{o3} & \bar{\psi}_{B1} & \psi_{o1} \end{bmatrix}; \\
 \left[\bar{R}_B \right] &= \left[R_B \right] = \begin{bmatrix} R_s & & & \\ & R_s & & \\ & & R_1 & \\ & & & R_1 \end{bmatrix}; & \left[\bar{X}_B \right] &= \left[X_B \right] = \begin{bmatrix} X_s & & X_m & \\ & X_{o3} & & \\ X_m & & X_1 & \\ & & & X_{o1} \end{bmatrix}; \\
 \left[\bar{\partial} \right]_D &= \begin{bmatrix} \partial + j\omega(1-s_D) & & & \\ & \partial & & \\ & & \partial + j\omega(s-s_D) & \\ & & & \partial \end{bmatrix}
 \end{aligned}
 \tag{2.47}$$

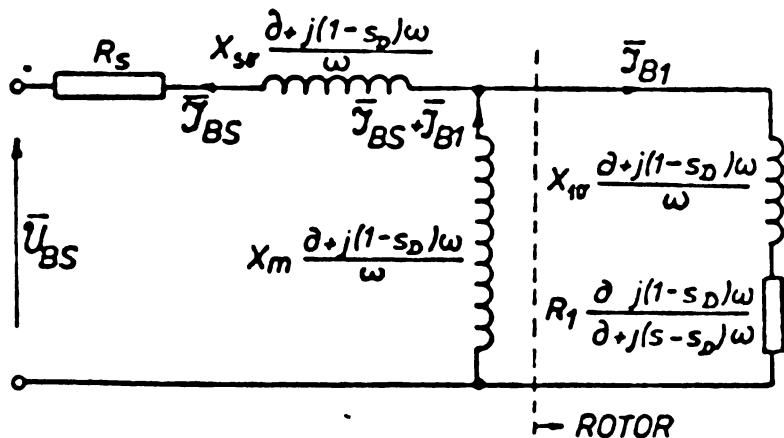
Semnificația mărimilor și parametrilor din ecuațiile modelului și din relațiile (2.47) este aceeași ca și în cazul motorului asincron cu două colivii rotorice. În cazul motoarelor asincrone din categoria II există egalitățile;

$$\left[\bar{j}_B \right]_t = \left[\bar{j}_B \right]_t; \quad \left[\bar{\psi}_B \right]_t = \left[\bar{\psi}_B \right]_t; \quad \left[\bar{R}_B \right] = \left[R_B \right]; \quad \left[\bar{X}_B \right] = \left[X_B \right]
 \tag{2.48}$$

deoarece în acest caz există o singură înfășurare rotorică și deci $\tilde{X}_m = X_m$. De aici rezultă că în cazul acestor motoare:

$$\tilde{R}_1 = R_1; \quad \tilde{X}_1 = X_1; \quad \tilde{X}_{o1} = X_{o1}; \quad \tilde{X}_{3\sigma} = X_{3\sigma} = X_s - X_m; \quad \tilde{X}_{1\sigma} = X_{1\sigma} = X_1 - X_m
 \tag{2.49}$$

Ecuațiile modelelor MA-1C-SCR, respectiv MA-1C-PCR se obțin din ecuațiile modelului MA-1C-DCR, prin înlocuirea operatorului $[\bar{\partial}]_D$ cu operatorul $[\bar{\partial}]_S$, respectiv cu operatorul $[\bar{\partial}]_P$, celelalte matrici rămânând neschimbate. Operatorii $[\bar{\partial}]_S$, respectiv $[\bar{\partial}]_P$ se obțin din operatorul $[\bar{\partial}]_D$ dat de (2.47) în care se face $s_D = 0$, respectiv $s_D = s$.



Schema echivalentă a motoarelor asincrone din categoria II, corespunzătoare modelului MA-1C-DCR, prin înlocuirea operatorului $[\bar{\partial}]_D$ cu operatorul $[\bar{\partial}]_S$, respectiv cu operatorul $[\bar{\partial}]_P$, celelalte matrici rămânând neschimbate. Operatorii $[\bar{\partial}]_S$, respectiv $[\bar{\partial}]_P$ se obțin din operatorul $[\bar{\partial}]_D$ dat de (2.47) în care se face $s_D = 0$, respectiv $s_D = s$.

Fig 28. Schema echivalentă a motoarelor asincrone de categoria II, corespunzătoare modelului MA-1C-DCR.

corespunzătoare modelului MA-1C-DCR, cu ecuațiile având mărimile rotorice redu-

se la stator și raportate la axele D,Q este indicată în fig.2.8, în care, dacă se face $s_D = 0$ se obține schema echivalentă corespunzătoare modelului MA-1C-SCR, iar dacă se face $s_D = s$ se obține schema echivalentă a modelului MA-1C-PCR.

2.3.2. Modele matematice cu ecuații în sistemul de coordonate D,Q,θ și cu mărimile în unități relative (U.R.)

Modelul MA-1C-DCR-UR cu mărimile în unități relative este constituit din ecuațiile (2.40), (2.41), (2.42), (2.43) în care toate mărimile sînt în U.R., iar matricile componente au următoarele forme:

$$(2.50) \quad \begin{aligned} \left[\bar{u}_B \right]_t &= \begin{bmatrix} \bar{u}_{D1} & u_{Q1} & 0 & 0 \end{bmatrix}; & \left[\bar{\psi}_B \right]_t &= \left[\bar{\psi}_B \right]_t = \begin{bmatrix} \bar{\psi}_{B1} & \psi_{Q1} & \bar{\psi}_{B1} & \psi_{Q1} \end{bmatrix}; & \left[\bar{i}_B \right]_t &= \left[\bar{i}_B \right]_t = \begin{bmatrix} \bar{i}_{D1} & i_{Q1} & \bar{i}_{D1} & i_{Q1} \end{bmatrix} \\ \\ \left[\bar{r}_B \right] &= \left[r_B \right] = \begin{bmatrix} r_A & & & \\ & r_A & & \\ & & r_1 & \\ & & & r_1 \end{bmatrix} & \left[\bar{x}_B \right] &= \left[x_B \right] = \begin{bmatrix} x_A & & x_m & \\ & x_{Q1} & & \\ x_m & & x_1 & \\ & & & x_{Q1} \end{bmatrix} \\ \\ \left[\bar{\partial}^\tau \right]_D &= \begin{bmatrix} \partial^{\tau+j(1-s_D)} & & & \\ & \partial^\tau & & \\ & & \partial^{\tau+j(1-s_D)} & \\ & & & \partial^\tau \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Trecerea de la modelul MA-1C-DCR-UR la modelele MA-1C-SCR-UR, respectiv MA-1C-PCR-UR, se face particularizînd în operatorul $\left[\bar{\partial}^\tau \right]_D$ valorile lui s_D ($s_D = 0$, respectiv $s_D = s$).

Schemele echivalente ale motoarelor asincrone din categoria II, corespunzătoare modelelor cu ecuații avînd mărimile în U.R. sînt identice cu cea din fig.2.8, cu observația că toate mărimile din schemă sînt exprimate în U.R. (inclusiv ω, care în U.R. devine egal cu unitatea).

Capitolul 3

STUDIUL ANALITIC AL COMPORTĂRII MOTORULUI ASINCRON ÎN TIMPUL UNUI SCURT-CIRCUIT LA BORNELE SALE.

La analiza comportării unui motor asincron în primele perioade ale unui scurt-circuit trifazat produs la bornele sale, motorul fiind conectat la rețeaua de alimentare, trebuie avut în vedere că, deobicei, procesele tranzitorii electromagnetice din motor se desfășoară mult mai rapid decât procesele tranzitorii electomecanice. Ca urmare, analiza proceselor tranzitorii electromagnetice din motor, în primele perioade ale scurtcircuitului, poate fi efectuată considerând constante turația, respectiv alunecarea motorului. De aceea se poate renunța la ecuația mișcării din modelul matematic al motorului asincron, deoarece în ipoteza turației constante, ea nu furnizează informații suplimentare în legătură cu alunecarea motorului ($ds/dt = 0$). În aceste condiții modelul matematic este format din restul ecuațiilor, care împreună constituie un sistem de ecuații diferențiale liniare, ce poate fi rezolvat prin metode operaționale.

Pentru simplificarea scrierii ecuațiilor operaționale ale modelului matematic problema trebuie redusă la o problemă cu condiții inițiale nule. În acest scop, pentru a determina mărimile de regim tranzitoriu, se aplică teorema suprapunerii efectelor /3/, /101/, /127/, /129/. Astfel regimul tranzitoriu, care se presupune că apare la momentul $t = 0$, se determină prin suprapunerea a două regimuri și anume regimul inițial și regimul provocat de perturbația din momentul $t = 0$. Ca urmare, orice variabilă în regim tranzitoriu se obține prin însumarea valorii ei inițiale din momentul $t = 0$ (cunoscută din regimul anterior perturbației) cu creșterea sa, care apare din cauza perturbației de la momentul $t = 0$. Creșterile variabilelor, datorate perturbației din momentul $t = 0$, verifică sistemul de ecuații diferențiale ale modelului matematic, constituind necunoscutele sale. Valorile inițiale (la momentul $t = 0$) ale acestor creșteri sînt nule. În acest fel problema a fost redusă la o problemă cu condiții inițiale nule.

În scopul folosirii metodelor operaționale pentru determinarea creșterilor variabilelor, în ecuațiile diferențiale ale modelului matematic se înlocuiește operatorul de derivare $\partial = d/dt$ cu operatorul Carson p , iar creșterile variabilelor cu imaginile lor Carson. Creșterea unei variabile va fi notată cu simbolul A , urmat de simbolul care reprezintă variabila respectivă.

3.1. Comportarea motoarelor asincrone din categoria I

În cap.2.2.2. s-a arătat că un motor asincron cu o colivie rotorică cu bare înalte se poate echivala cu un motor asincron cu două colivii rotorice, motiv pentru care aceste tipuri constructive de motoare au și fost considerate ca făcînd parte din aceeași categorie (categoria I). Ca urmare, pentru analiza proceselor tranzitorii ale unui motor asincron cu o singură colivie rotorică cu bare înalte acesta va fi înlocuit cu motorul său echivalent cu două colivii rotorice și deci

comportarea sa în timpul scurtcircuitelor și în general a proceselor tranzitorii va fi descrisă de modelul matematic al motorului său echivalent cu două colivii rotorice. Rezultă că pentru analiza comportării în timpul scurtcircuitului a unui motor asincron din categoria I, indiferent dacă este de tipul cu două colivii rotorice sau de tipul cu o colivie rotorică cu bare înalte, vor trebui luate în considerare modelele matematice ale motorului asincron cu două colivii rotorice.

3.1.1. Forma operațională a ecuațiilor modelului MA-2C-PCR și parametrii operaționali ai unui motor asincron din categoria I.

Deoarece circuitele rotorice ale unui motor asincron cu două colivii rotorice au o configurație mult mai complexă decât cele statorice, este convenabilă folosirea sistemului de coordonate Park (cu axele d, q rigid legate de rotor) și ca urmare folosirea modelului matematic MA-2C-PCR. Forma operațională a ecuațiilor (2.30), (2.31) ale acestui model, formă în care ecuațiile conțin imaginile Carson ale creșterilor variabilelor, este:

$$\begin{aligned}
 (3.1) \quad & \Delta \bar{u}_{B_s}(p) = [p + j\omega(1-s)] \Delta \bar{\Psi}_{B_s}(p) + R_s \Delta \bar{I}_{B_s}(p); \\
 (3.2) \quad & 0 = p \Delta \bar{\Psi}_{B_1}(p) + \tilde{R}_1 \Delta \bar{I}_{B_1}(p); \quad (3.3) \quad 0 = p \Delta \bar{\Psi}_{B_2}(p) + \tilde{R}_2 \Delta \bar{I}_{B_2}(p); \\
 (3.4) \quad & \omega \Delta \bar{\Psi}_{B_s}(p) = X_s \Delta \bar{I}_{B_s}(p) + \tilde{X}_m \Delta \bar{I}_{B_1}(p) + \tilde{X}_m \Delta \bar{I}_{B_2}(p); \\
 (3.5) \quad & \omega \Delta \bar{\Psi}_{B_1}(p) = \tilde{X}_m \Delta \bar{I}_{B_s}(p) + \tilde{X}_1 \Delta \bar{I}_{B_1}(p) + \tilde{X}_m \Delta \bar{I}_{B_2}(p); \\
 (3.6) \quad & \omega \Delta \bar{\Psi}_{B_2}(p) = \tilde{X}_m \Delta \bar{I}_{B_s}(p) + \tilde{X}_m \Delta \bar{I}_{B_1}(p) + \tilde{X}_2 \Delta \bar{I}_{B_2}(p).
 \end{aligned}$$

În scopul găsirii parametrilor operaționali ai motoarelor asincrone din categoria I, pentru aceste tipuri de motoare se definesc:

- reactanțele tranzitorii ale înfășurărilor:

$$(3.7) \quad X_1' = \tilde{X}_1 - \frac{\tilde{X}_m^2}{X_s}; \quad X_2' = \tilde{X}_2 - \frac{\tilde{X}_m^2}{X_s}; \quad X_m' = \tilde{X}_m - \frac{\tilde{X}_m^2}{X_s}$$

- coeficienții de scăpări:

$$(3.8) \quad \sigma_s = 1 - \frac{\tilde{X}_m}{X_s}; \quad \sigma_1 = 1 - \frac{\tilde{X}_m}{\tilde{X}_1}; \quad \sigma_2 = 1 - \frac{\tilde{X}_m}{\tilde{X}_2}; \quad \sigma_{12} = 1 - \frac{\tilde{X}_m^2}{\tilde{X}_1 \tilde{X}_2}; \quad \sigma_{12}' = 1 - \frac{(X_m')^2}{X_1' X_2'}$$

- constantele de timp:

$$(3.9) \quad T_1 = \frac{\tilde{X}_1}{\omega \tilde{R}_1}; \quad T_2 = \frac{\tilde{X}_2}{\omega \tilde{R}_2}; \quad T_1' = \frac{X_1'}{\omega \tilde{R}_1}; \quad T_2' = \frac{X_2'}{\omega \tilde{R}_2}; \quad T_{10} = \frac{\tilde{X}_1 - \tilde{X}_m}{\omega \tilde{R}_1} = T_1 \sigma_1; \quad T_{20} = \frac{\tilde{X}_2 - \tilde{X}_m}{\omega \tilde{R}_2} = T_2 \sigma_2$$

Se mai definesc constantele de timp T_s' , T_s'' , T_{s0}' , T_{s0}'' prin următoarele relații:

$$(3.10) \quad T_s' T_s'' = \sigma_{12}' T_1' T_2'; \quad T_s' + T_s'' = T_1' + T_2'; \quad (3.11) \quad T_{s0}' T_{s0}'' = \sigma_{12}' T_1' T_2'; \quad T_{s0}' + T_{s0}'' = T_1' + T_2'$$

În prezenta lucrare se vor folosi notațiile:

$$(3.12) \quad l_1 = \frac{1}{T_1}; \quad l_2 = \frac{1}{T_2}; \quad l_0 = l_1 + l_2; \quad l = \sqrt{l_1 l_2} \quad (3.13) \quad R_1 = \frac{1}{T_1}; \quad R_2 = \frac{1}{T_2}; \quad R_0 = R_1 + R_2; \quad R = \sqrt{R_1 R_2}$$

Din sistemul de ecuații (3.1), ..., (3.6), conform anexei 3.1, se obține:

$$(3.14) \quad \omega \Delta \bar{Y}_{B3}(p) = X_{\Delta}(p) \Delta \bar{J}_{B3}(p) \quad (3.15) \quad \Delta \bar{J}_{B3}(p) = \bar{Y}_{B3}(p) \Delta \bar{U}_{B3}(p) = \frac{\Delta \bar{U}_{B3}(p)}{\bar{Z}_{B3}(p)}$$

$$(3.16) \quad \Delta \bar{J}_{B1}(p) = \bar{Y}_{B1}(p) \Delta \bar{U}_{B3}(p) \quad \Delta \bar{J}_{B2}(p) = \bar{Y}_{B2}(p) \Delta \bar{U}_{B3}(p)$$

unde $X_{\Delta}(p)$ este reactanța operațională; $\bar{Z}_{B3}(p)$ este impedanța complexă operațională; $\bar{Y}_{B3}(p)$ este admitanța complexă operațională; $\bar{Y}_{B1}(p)$, $\bar{Y}_{B2}(p)$ sînt admitanțele mutuale complexe operaționale ale motorului asincron de categoria I.

Dacă se definesc reactanța supratranzitorie X_{Δ}'' și reactanța tranzitorie X_{Δ}' a motorului asincron de categoria I prin relațiile:

$$(3.17) \quad X_{\Delta}'' = X_{\Delta} \frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{l_1 l_2} = X_{\Delta} \frac{\epsilon^2}{\beta^2} = X_{\Delta} \frac{T_2' T_3''}{T_{\Delta 0}' T_{\Delta 0}''} = X_{\Delta} \frac{T_1' T_2' \sigma_{12}'}{T_1 T_2 \sigma_{12}} = X_{\Delta} \frac{X_1' X_2' \sigma_{12}'}{X_1 X_2 \sigma_{12}}$$

$$(3.18) \quad X_{\Delta}' = X_{\Delta}'' \frac{l_1 - l_2}{l_1 \left(1 + \frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{l_1 l_2} \right) - (\epsilon_1 + \epsilon_2)} = X_{\Delta}'' \frac{l_1 - l_2}{l_1 \left(1 + \frac{\epsilon^2}{\beta^2} \right) - \epsilon_0}$$

se poate arăta, conform anexei 3.1, că parametrii operaționali ai motorului asincron de categoria I sînt dați de relațiile:

$$(3.19) \quad X_{\Delta}(p) = X_{\Delta}'' \frac{N(p)}{N_{\Delta}(p)}; \quad (3.20) \quad \bar{Z}_{\Delta}(p) = \frac{1}{\omega} \left\{ [p + j\omega(1-s)] X_{\Delta}(p) + \omega R_{\Delta} \right\} = X_{\Delta}'' \frac{N_{\Delta s}(p)}{N_{\Delta}(p)};$$

$$(3.21) \quad \bar{Y}_{\Delta s}(p) = \frac{1}{\bar{Z}_{\Delta s}(p)} = \frac{1}{X_{\Delta}''} \frac{N_{\Delta}(p)}{N_{\Delta s}(p)}; \quad (3.22) \quad \bar{Y}_{\Delta 1}(p) = - \frac{1 - \sigma_{\Delta}}{X_1} \frac{T_{2\sigma} T_1}{T_1' T_3''} \frac{N_1(p)}{N_{\Delta s}(p)};$$

$$(3.23) \quad \bar{Y}_{\Delta 2}(p) = - \frac{1 - \sigma_{\Delta}}{X_2} \frac{T_{1\sigma} T_2}{T_1' T_3''} \frac{N_2(p)}{N_{\Delta s}(p)}.$$

în care:

$$(3.24) \quad N(p) = p^2 + p \left(\frac{1}{T_1'} + \frac{1}{T_3''} \right) + \frac{1}{T_1' T_3''} = (p + l_1)(p + l_2); \quad (3.25) \quad N_{\Delta}(p) = p^2 + p \left(\frac{1}{T_{\Delta 0}'} + \frac{1}{T_{\Delta 0}''} \right) + \frac{1}{T_{\Delta 0}' T_{\Delta 0}''} = (p + \epsilon_1)(p + \epsilon_2)$$

$$(3.26) \quad N_{\Delta s}(p) = \frac{1}{\omega} \left\{ [p + j\omega(1-s)] N(p) + \frac{\omega R_{\Delta}}{X_{\Delta}''} N_{\Delta}(p) \right\} = \frac{1}{\omega} (p - p_1)(p - p_2)(p - p_3)$$

$$(3.27) \quad N_1(p) = p \left(p + \frac{1}{T_{2\sigma}} \right); \quad (3.28) \quad N_2(p) = p \left(p + \frac{1}{T_{1\sigma}} \right).$$

De asemenea se poate arăta, conform anexei 3.1, că între constantele de timp există următoarele relații de legătură:

$$(3.29) \quad T_{\Delta 0}' T_{\Delta 0}'' - T_1' T_3'' = T_2 (T_3' + T_3'') - T_2' (T_{\Delta 0}' + T_{\Delta 0}'') + 2 T_{2\sigma} (T_1 - T_1')$$

$$(3.30) \quad T_2 T_3' T_3'' - T_2' T_{\Delta 0}' T_{\Delta 0}'' + T_{2\sigma}^2 (T_1 - T_1') = 0$$

Decarece polinozul $N(p)$ are rădăcinile:

$$(3.31) \quad p_1' = -l_1 = -1/T_1'; \quad p_2' = -l_2 = -1/T_3''$$

iar polinozul $N_{\Delta}(p)$ are rădăcinile:

$$(3.32) \quad p_{01} = -\epsilon_1 = -1/T_{\Delta 0}'; \quad p_{02} = -\epsilon_2 = -1/T_{\Delta 0}''$$

reactanța operațională $X_{\Delta}(p)$ dată de relația (3.19) se poate scrie sub forma:

$$(3.33) \quad X_{\Delta}(p) = X_{\Delta}'' \frac{N(p)}{N_{\Delta}(p)} = X_{\Delta}'' \frac{(p + l_1)(p + l_2)}{(p + \epsilon_1)(p + \epsilon_2)}$$

De asemenea se poate scrie identitatea:

$$(3.34) \quad \frac{1}{X_A(p)} = \frac{1}{X_A''} - \left(\frac{1}{X_A'} - \frac{1}{X_A''} \right) \frac{b_1}{p+b_1} - \left(\frac{1}{X_A''} - \frac{1}{X_A'} \right) \frac{b_2}{p+b_2}$$

Rădăcinile p_1, p_2 ale polinomului $K(p)$ sînt și rădăcini ale funcției $I_c(p)$.

Polinomul $N_{SS}(p)$ este de gradul trei, avînd rădăcinile p_1, p_2, p_3 . În general aceste rădăcini sînt numere complexe, avînd atît partea reală cît și cea imaginară negative și ca urmare ele pot fi puse sub forma:

$$(3.35) \quad p_1 = -\delta_1 - j\omega_1; \quad p_2 = -\delta_2 - j\omega_2; \quad p_3 = -\delta_3 - j\omega_3$$

Pentru valorile absolute ale părților reale ale celor trei rădăcini se introduce notațiile:

$$(3.36) \quad \delta_1 = 1/T'; \quad \delta_2 = 1/T''; \quad \delta_3 = 1/T_a$$

unde T', T'', T_a vor fi denumite constante de timp tranzitorie, supratranzitorie și aperiodică a motorului de categoria I.

Avînd în vedere cele de mai sus, impedanța complexă operațională $\bar{Z}_{SS}(p)$ a motorului asincron de categoria I se va scrie sub forma:

$$(3.37) \quad \bar{Z}_{SS}(p) = X_A'' \frac{N_{SS}(p)}{N_A(p)} = \frac{X_A''}{\omega} \frac{(p-p_1)(p-p_2)(p-p_3)}{(p+b_1)(p+b_2)}$$

unde p_1, p_2, p_3 sînt rădăcinile funcției $\bar{Z}_{SS}(p)$.

Aflarea analitică exactă a rădăcinilor impedanței operaționale complexe $\bar{Z}_{SS}(p)$ este dificilă, deoarece ecuația $\bar{Z}_{SS}(p) = 0$ este de gradul trei cu coeficienți complecși. În scopul aflării valorilor aproximative ale acestor rădăcini, ecuația $\bar{Z}_{SS}(p) = 0$ se va scrie sub forma:

$$(3.38) \quad \bar{Z}_{SS}(p) = \frac{1}{\omega} X_A(p) \left\{ [p + j\omega(1-s)] \frac{\omega R_s}{X_A(p)} \right\} = 0$$

Avînd în vedere relațiile (3.33), (3.24), (3.25), (3.10), (3.11), (3.9), termenul $\omega R_s / X_A(p)$ din (3.38) se poate scrie sub forma:

$$(3.39) \quad \frac{\omega R_s}{X_A(p)} = \frac{\omega R_s}{X_A} \frac{\tilde{X}_1 \tilde{X}_2}{X_1' X_2'} \frac{\left(\frac{p}{\omega} \right)^2 \sigma_{12} + \left(\frac{p}{\omega} \right) \left(\frac{\tilde{R}_1}{X_1} + \frac{\tilde{R}_2}{X_2} \right) + \frac{\tilde{R}_1 \tilde{R}_2}{X_1 X_2}}{\left(\frac{p}{\omega} \right)^2 \sigma_{12}' + \left(\frac{p}{\omega} \right) \left(\frac{\tilde{R}_1}{X_1'} + \frac{\tilde{R}_2}{X_2'} \right) + \frac{\tilde{R}_1 \tilde{R}_2}{X_1' X_2'}}$$

Deoarece pentru motoarele asincrone considerate rapoartele $\tilde{R}_1/\tilde{X}_1, \tilde{R}_2/\tilde{X}_2, \tilde{R}_1/X_1', \tilde{R}_2/X_2'$ au valori foarte mici, rezultă că se poate admite aproximația:

$$(3.40) \quad \frac{\omega R_s}{X_A(p)} \approx \frac{\omega R_s}{X_A} \frac{\tilde{X}_1 \tilde{X}_2 \sigma_{12}}{X_1' X_2' \sigma_{12}'} = \frac{\omega R_s}{X_A''} = \frac{1}{T_a} = a$$

în care s-a avut în vedere relația (3.17).

Aproximația (3.40) este echivalentă cu a admite că amortizarea componentei aperiodice a curentului statoric în regimuri tranzitorii este determinată în principal de rezistența R_s a înfășurării statorice. Trebuie specificat că această aproximație se adoptă în mod curent și pentru mașina sincronă.

Cu aproximația (3.40) expresia analitică a impedanței complexe operaționale a unui motor de categoria I va fi:

$$(3.41) \quad \bar{Z}_{SS}(p) \approx \frac{X_A''(p)}{\omega} \left\{ p + j\omega(1-s) + a \right\} = \frac{X_A''(p)}{\omega} \frac{(p+b_1)(p+b_2) [p + j\omega(1-s) + a]}{(p+b_1)(p+b_2)}$$

iar rădăcinile exacte p_1, p_2, p_3 ale impedanței $\bar{Z}_{ss}(p)$ sînt date cu aproximație de rădăcinile p'_1, p'_2, p'_3 ale ecuației:

$$(3.42) \quad \frac{X_s(p)}{\omega} \{ p + j\omega(1-s) + a \} = 0$$

putînd astfel scrie:

$$(3.43) \quad \begin{aligned} p_1 = -\delta_1 - j\omega_1 = 1/T' - j\omega_1 \approx p'_1 = -\delta'_1 = -1/T'_s; \quad p_2 = -\delta_2 - j\omega_2 = 1/T'' - j\omega_2 \approx p'_2 = -\delta'_2 = -1/T''_s; \\ p_3 = -\delta_3 - j\omega_3 = (-1/T_\alpha) - j\omega_3 \approx p'_3 = -a - j\omega(1-s) = (-1/T_{\alpha a}) - j\omega(1-s) \end{aligned}$$

ceea ce este echivalent cu a admite că:

$$(3.44) \quad T' \approx T'_s; \quad T'' \approx T''_s; \quad T_\alpha \approx T_{\alpha a}; \quad \omega_1 \approx 0; \quad \omega_2 \approx 0; \quad \omega_3 \approx \omega(1-s)$$

Impedanța de pornire \bar{Z}_p (de scurtcircuit, cu rotor cald) se poate determina particularizînd în relația (3.20) $p = j\omega$, $s = 1$ și avînd în vedere relațiile (3.33) și (3.40), obținînd astfel:

$$(3.45) \quad \bar{Z}_p \approx X_s'' \left[\frac{a}{\omega} + j \frac{\delta^2 - \omega^2 + j\omega \delta_0}{c^2 - \omega^2 + j\omega \delta_0} \right]$$

3.1.2. Expresia analitică a curentului debitat de un motor asincron de categoria I în timpul scurtcircuitului trifazat produs la bornele sale (scurtcircuit direct).

Se presupune că scurtcircuitul trifazat la bornele motorului, pe care îl vom denumi scurtcircuit direct, se produce la momentul $t = 0$. De asemenea se presupune că tensiunile aplicate fazelor statorice 1s, 2s, 3s și curenții absorbiți de fazele respective în regimul de funcționare staționar, anterior scurtcircuitului, formează sisteme simetrice și echilibrate, fiind date de relațiile:

$$(3.46) \quad u_{v_s} = \sqrt{2} U \sin(\omega t + \varepsilon_v); \quad (3.47) \quad i_{v_s} = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \varepsilon_v - \varphi); \quad v = 1, 2, 3$$

unde:

$$(3.48) \quad \varepsilon_v = \varepsilon_1 + (v-1) \frac{2\pi}{3}; \quad \omega = 2\pi f.$$

Unghiurile ε_v sînt denumite unghiuri de conectare. Celălalte mărimi caracterizează regimul de funcționare staționar, anterior scurtcircuitului. Astfel ω este pulsația unghiulară sincronă, f este frecvența de sincronism, φ este unghiul care caracterizează defazajul dintre curentul și tensiunea fazei v_s .

În aceste condiții, folosind conceptul de impedanță complexă operațională a motorului asincron de categoria I și transformata Carson, se poate arăta, conform anexei 3.2 că, dacă scurtcircuitul se produce la bornele motorului, expresia curentului de scurtcircuit trifazat \bar{J}_{Bsk} provenit de la motor, în sistemul de coordonate Park (acest curent fiind denumit în continuare curent de scurtcircuit direct) este:

$$(3.49) \quad \bar{J}_{Bsk} = - \frac{\sqrt{2} U \exp[j(\varepsilon_1 - \pi/2 - \gamma_{ro})]}{(p_1 - j\omega) \bar{Z}'_{ss}(p_1)} \exp[p_1 t] - \frac{\sqrt{2} U \exp[j(\varepsilon_1 - \pi/2 - \gamma_{ro})]}{(p_2 - j\omega) \bar{Z}'_{ss}(p_2)} \exp[p_2 t] - \frac{\sqrt{2} U \exp[j(\varepsilon_1 - \pi/2 - \gamma_{ro})]}{(p_3 - j\omega) \bar{Z}'_{ss}(p_3)} \exp[p_3 t]$$

unde γ_{ro} caracterizează poziția la momentul $t = 0$ a fazei de referință a rotorului în raport cu faza de referință a statorului; p_1, p_2, p_3 sînt rădăcinile impe-

dantei complexe operaționale $\bar{Z}_{SS}(p)$, fiind date de relațiile (3.35); $\bar{Z}'_{SS}(p_1)$, $\bar{Z}'_{SS}(p_2)$, $\bar{Z}'_{SS}(p_3)$ sînt valorile pentru p_1 , p_2 , p_3 ale derivatei în raport cu p a impedanței complexe operaționale $\bar{Z}_{SS}(p)$; s este alunecarea motorului în regimul de funcționare staționar anterior scurtcircuitului.

Conform convenției de asociere a sensurilor pozitive pentru mărimile electrice după regula dipolului receptor, atât pentru circuitele statorice, cît și pentru cele rotorice, (a se vedea cap.2.2.1.1.), semnele (-) din relația (3.49) semnifică faptul că în timpul scurtcircuitului trifazat la bornele motorului asincron, curenții acestuia este debitat spre locul scurtcircuitului și deci în timpul scurtcircuitului mașina funcționează în regim de generator.

Se poate arăta, conform anexei 3.2, că expresiile curenților de scurtcircuit ai fazelor v_s sînt:

$$(3.50) \quad i_{vsk} = i_{vsa} + i'_{vs} + i''_{vs}$$

în care se notează:

$$(3.51) \quad i_{vsa} = i'_{va} + i''_{va}$$

Componentele i_{vsa} , i'_{vs} , i''_{vs} au expresiile:

$$(3.52) \quad i_{vsa} = \sqrt{2} I_a \exp[-t/T_a] \sin\left\{[(1-s)\omega - \omega_3]t + \varepsilon_v - \varphi_a\right\}; \quad i'_{vs} = \sqrt{2} I' \exp[-t/T'] \sin\left\{[(1-s)\omega - \omega_1]t + \varepsilon_v - \varphi'\right\};$$

$$i''_{vs} = \sqrt{2} I'' \exp[-t/T''] \sin\left\{[(1-s)\omega - \omega_2]t + \varepsilon_v - \varphi''\right\}$$

unde:

$$(3.53) \quad I' \exp[-j\varphi'] = -\frac{U}{(p_1 - js\omega) \bar{Z}'_{sa}(p_1)}; \quad I'' \exp[-j\varphi''] = -\frac{U}{(p_2 - js\omega) \bar{Z}'_{sa}(p_2)}; \quad I_a \exp[-j\varphi_a] = -\frac{U}{(p_3 - js\omega) \bar{Z}'_{sa}(p_3)}$$

Conform relațiilor (3.50), (3.52) curenții de scurtcircuit direct debitat de un motor asincron de categoria I spre locul de scurtcircuit trifazat, scurtcircuitul avînd loc la bornele sale, are trei componente amortizate. La parametrii usuali ai motoarelor de categoria I și la rezolvarea exactă a ecuației $\bar{Z}_{SS}(p) = 0$, rezultă următoarele concluzii, verificate și experimental (cap.4):

a) Componenta i_{vsa} se amortizează cu constanta de timp $T_a = 1/\delta_3$ și are o frecvență foarte mică, apropiată de zero, deoarece $\omega_3 \approx (1-s)\omega$ (vezi relația (3.52)). Din acest motiv, în mod obișnuit, această componentă se consideră aperioidică. Analitic însă, ea rezultă ca o componentă pur aperioidică numai în cazul considerării expresiei aproximative (3.41) a impedanței complexe operaționale $\bar{Z}_{SS}(p)$. Aspectul semnalat mai sus este important, deoarece valoarea inițială a acestei componente determină valoarea curenților de șoc. În continuare componenta i_{vsa} va fi denumită componentă aperioidică, avînd totuși în vedere că ea variază cu o frecvență foarte mică.

b) Componenta i'_{vs} este o componentă periodică, denumită tranzitorie. Ea se amortizează cu constanta de timp $T' = 1/\delta_1$ și are o frecvență foarte apropiată de valoarea $(1-s)f$, deoarece $\omega_1 \approx 0$.

c) Componenta i''_{vs} este tot o componentă periodică, denumită supratranzitorie. Ea se amortizează cu constanta de timp $T'' = 1/\delta_2$ și are de asemenea o frecvență foarte apropiată de valoarea $(1-s)f$, deoarece $\omega_2 \approx 0$.

d) Suma dintre componenta periodică tranzitorie i_{vs}^I și componenta periodică supratranzitorie i_{vs}^{II} va fi denumită componenta periodică a curentului de scurtcircuit direct, fiind notată $i_{vs\sigma}$.

e) Curentul de scurtcircuit direct debitat de motorul asincron prezintă o valoare momentană maximă, denumită curent de șoc ($i_{\sigma oc}$).

f) Curentul de scurtcircuit direct debitat de motorul asincron tinde spre zero, spre deosebire de cel al mașinii sincrone, care tinde spre o valoare stabilizată diferită de zero, datorită faptului că mașina sincronă este excitată în timpul scurtcircuitului.

Luând în considerare expresia analitică aproximativă (3.41) a impedanței complexe operaționale $Z_{ss}(p)$, autorul a arătat în /30/ (a se vedea și anexa 3.2) că expresia curentului de scurtcircuit direct al fazei vs este:

$$(3.54) \quad i_{vs\sigma} = \sqrt{2} I_a \exp[-t/T_{1a}] \sin(\varepsilon_v - \varphi_{sa}) + \sqrt{2} I' \exp[-t/T_1'] \cos\{(1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_s^I\} + \sqrt{2} I'' \exp[-t/T_1''] \cos\{(1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_s^{II}\}$$

unde componentele sale sînt:

$$(3.55) \quad i_{vs\sigma} = \sqrt{2} I_a \exp[-t/T_{1a}] \sin(\varepsilon_v - \varphi_{sa}); \quad i_{vs}^I = \sqrt{2} I' \exp[-t/T_1'] \cos\{(1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_s^I\}; \\ i_{vs}^{II} = \sqrt{2} I'' \exp[-t/T_1''] \cos\{(1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_s^{II}\}.$$

$$i_{vs\sigma}(0) = \sqrt{2} I_a \sin(\varepsilon_v - \varphi_{sa}); \quad i_{vs\sigma} = i_{vs}^I + i_{vs}^{II}$$

Mărimile I_a , I' , I'' , φ_{sa} , φ_s^I , φ_s^{II} din relațiile (3.54), (3.55) sînt date de:

$$(3.56) \quad I_a = \frac{UD_a}{X_s''}; \quad I' = UD' \left(\frac{1}{X_s'} - \frac{1}{X_s''} \right); \quad I'' = UD'' \left(\frac{1}{X_s''} - \frac{1}{X_s'} \right); \quad \varphi_{sa} = \gamma_a + \varphi_{a1}; \quad \gamma_a = \arctg \frac{\omega}{a}; \\ \varphi_{a1} = \arctg \frac{\omega(1-s) \{ (b_0 - 2a) [\omega^2(1-s)^2 + a^2 - c^2] - (c_0 - 2a) [\omega^2(1-s)^2 + ab_0 - a^2 - b^2] \}}{[\omega^2(1-s)^2 + ab_0 - a^2 - b^2] [\omega^2(1-s)^2 + ac_0 - a^2 - c^2] + \omega^2(1-s)^2 (b_0 - 2a)(c_0 - 2a)}; \\ \varphi_s^I = \arctg \frac{s(1-s)\omega^2 - b_1(a - b_1)}{(1-2s)\omega b_1 + s\omega a}; \quad \varphi_s^{II} = \arctg \frac{s(1-s)\omega - b_2(a - b_2)}{(1-2s)\omega b_2 - s\omega a}$$

iar coeficienții D_a , D' , D'' din (3.56) sînt dați de:

$$(3.57) \quad D_a = \frac{\omega}{\sqrt{a^2 + \omega^2}} \sqrt{\frac{[\omega^2(1-s)^2 + (c_1 - a)^2][\omega^2(1-s)^2 + (c_2 - a)^2]}{[\omega^2(1-s)^2 + (b_1 - a)^2][\omega^2(1-s)^2 + (b_2 - a)^2]}}; \quad D' = \frac{\omega b_1}{\sqrt{(b_1^2 + s^2\omega^2)[\omega^2(1-s)^2 + (b_1 - a)^2]}}; \\ D'' = \frac{\omega b_2}{\sqrt{(b_2^2 + s^2\omega^2)[\omega^2(1-s)^2 + (b_2 - a)^2]}}$$

Mărimea $i_{vs\sigma}(0)$ din relațiile (3.55) reprezintă valoarea inițială (la $t = 0$) a componentei aperiodice.

Se notează:

$$(3.58) \quad I_{p0} = I' + I''$$

unde I_{p0} este valoarea efectivă corespunzătoare primei jumătăți de perioadă a componentei periodice.

Examinarea relațiilor (3.55), (3.57) conduce la concluzia că atât argumentele φ_{sa} , φ_s^I , φ_s^{II} cât și coeficienții D_a , D' , D'' sînt funcții de alunecarea s a motorului din regimul staționar anterior scurtcircuitului.

Valoarea inițială $i_{\nu sa}(0)$ a componentei aperiodice a curentului de scurtcircuit direct $i_{\nu sk}$ se poate exprima și în funcție de mărimile ce caracterizează curentul $i_{\nu s}$, absorbit de motor în regimul de funcționare staționar anterior scurtcircuitului, cu alte cuvinte din condițiile inițiale ale scurtcircuitului. Condiția inițială rezultă din teorema conservării fluxului în circuitele motorului, care conduce la faptul că valorile la momentul $t = 0$ ale curentului $i_{\nu s}$ și $i_{\nu sk}$ sînt egale, adică:

$$(3.59) \quad i_{\nu sa}(0) = i_{\nu sk}(0)$$

Tinînd seama de relațiile (3.47), (3.54), (3.55), relația (3.59) conduce la:

$$(3.60) \quad i_{\nu sa}(0) = \sqrt{2} \bar{i}_a \sin(\varepsilon_v - \varphi_{sa}) = \sqrt{2} [I \sin(\varepsilon_v - \varphi) - I' \cos(\varepsilon_v - \varphi_1') - I'' \cos(\varepsilon_v - \varphi_1'')]]$$

Inlocuind valoarea $i_{\nu sa}(0)$ din (3.60) în (3.54), rezultă că expresia curentului de scurtcircuit direct $i_{\nu sk}$ se poate scrie și sub forma:

$$(3.61) \quad i_{\nu sk} = \sqrt{2} [I \sin(\varepsilon_v - \varphi) - I' \cos(\varepsilon_v - \varphi_1') - I'' \cos(\varepsilon_v - \varphi_1'')] \exp[-t/T_{\delta a}] + \\ + \sqrt{2} I' \exp[-t/T_{\delta 1}] \cos\{(1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_1'\} + \sqrt{2} I'' \exp[-t/T_{\delta 2}] \cos\{(1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_1''\}.$$

Valoarea maxim-maximorum a curentului de scurtcircuit direct $i_{\nu sk}$ este denumită curent de șoc maxim ($i_{\text{șoc.M}}$) și este dată, conform anexei 3.3, de expresia:

$$(3.62) \quad i_{\text{șoc.M}} = \sqrt{2} [I \sin(\varepsilon_M - \varphi) - I' \cos(\varepsilon_M - \varphi_1') - I'' \cos(\varepsilon_M - \varphi_1'')] \exp[-t_M/T_{\delta a}] + \\ + \sqrt{2} I' \exp[-t_M/T_{\delta 1}] \cos\{(1-s)\omega t_M + \varepsilon_M - \varphi_1'\} + \sqrt{2} I'' \exp[-t_M/T_{\delta 2}] \cos\{(1-s)\omega t_M + \varepsilon_M - \varphi_1''\}$$

unde t_M este timpul după care apare curentul de șoc maxim, fiind soluția ecuației transcendente:

$$(3.63) \quad b_1(I')^2 \exp[-2t_M/T_{\delta 1}] + b_2(I'')^2 \exp[-2t_M/T_{\delta 2}] + aA \exp[-2t_M/T_{\delta a}] + \\ + b_0 I' I'' \cos(\varphi_1' - \varphi_1'') \exp\left[-\frac{t_M}{T_{\delta 1}} + \frac{t_M}{T_{\delta 2}}\right] + A_1 I' \sqrt{A} \cos\{(1-s)\omega t_M + \varphi_1'\} \exp\left[-\frac{t_M}{T_{\delta a}} + \frac{t_M}{T_{\delta 1}}\right] + \\ + A_2 I'' \sqrt{A} \cos\{(1-s)\omega t_M + \varphi_1''\} \exp\left[-\frac{t_M}{T_{\delta a}} + \frac{t_M}{T_{\delta 2}}\right] = 0$$

iar ε_M este unghiul de conectare la care trebuie să se producă scurtcircuitul pentru a rezulta curentul de șoc maxim, fiind dat de relația:

$$(3.64) \quad \varepsilon_M = \arctg\left(-\frac{N}{M}\right)$$

Se definesc coeficientul de șoc maxim $k_{\text{șoc.M}}$ și coeficientul de multiplicare a curentului de șoc maxim față de curentul nominal $k_{n.M}$:

$$(3.65) \quad k_{\text{șoc.M}} = \frac{|i_{\text{șoc.M}}|}{\sqrt{2} I_{p0}}; \quad k_{n.M} = \frac{|i_{\text{șoc.M}}|}{\sqrt{2} I_n}$$

unde I_{p0} este dat de relația (5.58), iar I_n este curentul nominal al motorului.

Coeficienții care intervin în relația (3.63) sînt dați de:

$$(3.66) \quad A = I^2 + (I')^2 + (I'')^2 + 2II' \sin(\varphi - \varphi_1') + 2II'' \sin(\varphi - \varphi_1'') + 2I'I'' \cos(\varphi_1' - \varphi_1''); \\ A_1 = \sqrt{(a + b_1)^2 + \omega^2(1-s)^2}; \quad A_2 = \sqrt{(a + b_2)^2 + \omega^2(1-s)^2} \\ \varphi_1' = \arctg \frac{I \sin(\varphi_{ab1} + \varphi - \varphi_1') + I' \cos \varphi_{ab1} + I'' \cos(\varphi_{ab1} + \varphi_1'' - \varphi_1')}{I \cos(\varphi_{ab1} + \varphi - \varphi_1') - I' \sin \varphi_{ab1} - I'' \sin(\varphi_{ab1} - \varphi_1'' - \varphi_1')}; \quad \varphi_{ab1} = \arctg \frac{a + b_1}{(1-s)\omega}; \\ \varphi_1'' = \arctg \frac{I \sin(\varphi_{ab2} + \varphi - \varphi_1') + I' \cos(\varphi_{ab2} + \varphi_1' - \varphi_1'') + I'' \cos \varphi_{ab2}}{I \cos(\varphi_{ab2} + \varphi - \varphi_1') - I' \sin(\varphi_{ab2} + \varphi_1' - \varphi_1'') - I'' \sin \varphi_{ab2}}; \quad \varphi_{ab2} = \arctg \frac{a + b_2}{(1-s)\omega}.$$

iar coeficienții care intervin în relația (3.64) sînt dați de:

$$\begin{aligned}
 (3.67) \quad M &= I' \exp\left[-t_M/T_{\Delta}^I\right] \cos\left\{(1-s)\omega t_M - \varphi_s^I\right\} + I'' \exp\left[-t_M/T_{\Delta}^{II}\right] \cos\left\{(1-s)\omega t_M - \varphi_s^{II}\right\} - \\
 &\quad - I \exp\left[-t_M/T_{\Delta a}\right] \sin\varphi - I' \exp\left[-t_M/T_{\Delta a}\right] \cos\varphi_s^I - I'' \exp\left[-t_M/T_{\Delta a}\right] \cos\varphi_s^{II} . \\
 N &= I' \exp\left[-t_M/T_{\Delta}^I\right] \sin\left\{(1-s)\omega t_M - \varphi_s^I\right\} + I'' \exp\left[-t_M/T_{\Delta}^{II}\right] \sin\left\{(1-s)\omega t_M - \varphi_s^{II}\right\} - \\
 &\quad - I \exp\left[-t_M/T_{\Delta a}\right] \cos\varphi + I' \exp\left[-t_M/T_{\Delta a}\right] \sin\varphi_s^I + I'' \exp\left[-t_M/T_{\Delta a}\right] \sin\varphi_s^{II} .
 \end{aligned}$$

Rezolvarea analitică a ecuației (3.63) pentru cazul general este imposibilă, ecuația fiind transcendentă. Găsirea soluției acestei ecuații se poate face prin aplicarea unor metode numerice numai pentru cazuri concrete, cînd sînt cunoscute valorile numerice ale tuturor parametrilor ce intervin în ecuație.

Cunoașterea structurii expresiei analitice a curentului de scurtcircuit direct a unui motor asincron de categoria I (relația 3.54 sau relația 3.61) are o deosebită importanță din punct de vedere practic, deoarece prelucrarea oscilogramelor curenților de scurtcircuit în conformitate cu această expresie permite determinarea experimentală a parametrilor T_s^I , T_s^{II} , T_{sa} și a mărimilor I' , I'' , $i_{vsa}(0)$, după cum se va vedea în cap.4.

Cunoașterea condițiilor inițiale de producere a scurtcircuitului ($\varepsilon, I, \varphi, s, \varepsilon_v$) și determinarea experimentală a mărimilor I' , I'' , $i_{vsa}(0)$, T_{sa} , T_s^I , T_s^{II} (și deci a coeficienților $a, b_1, b_2, c_1, c_2, b_0, c_0, b, c$) permite determinarea valorii mărimilor $\varphi_{sa}^I, \varphi_s^I, \varphi_s^{II}, D_s, D^I, D^{II}, A, A_1, A_2, \varphi_1, \varphi_2$ pentru orice valoare s a alunecării și ca urmare rezolvarea ecuației (3.63), găsirea valorilor $t_M, \varepsilon_M, i_{\text{soc.M}}, k_{\text{soc.M}}, k_{n.M}$ și determinarea parametrilor X_s^{II}, X_s^I, X_s ai motorului asincron de categoria I. Astfel din relațiile (3.17), (3.18), și (3.56) rezultă:

$$(3.68) \quad X_s^{II} = \frac{U \left(1 - \frac{T_{\Delta}^I T_{\Delta}^{II}}{T_{\Delta 0}^I T_{\Delta 0}^{II}}\right)}{\frac{I'}{D^I} + \frac{I''}{D^{II}}} ; \quad X_s^I = X_s^{II} \frac{\frac{1}{T_{\Delta}^I} - \frac{1}{T_{\Delta}^{II}}}{\frac{1}{T_{\Delta}^I} \left(1 + \frac{T_{\Delta}^I T_{\Delta}^{II}}{T_{\Delta 0}^I T_{\Delta 0}^{II}}\right) - \left(\frac{1}{T_{\Delta 0}^I} + \frac{1}{T_{\Delta 0}^{II}}\right)} ; \quad X_s = X_s^{II} \frac{T_{\Delta 0}^I T_{\Delta 0}^{II}}{T_{\Delta}^I T_{\Delta}^{II}}$$

Drept relație de verificare a unora din mărimile determinate experimental pot fi folosite relațiile:

$$(3.69) \quad I_a = \frac{U D_a}{X_s^{II}} ; \quad (3.70) \quad I_a = \frac{I \sin(\varepsilon_v - \varphi) - I' \cos(\varepsilon_v - \varphi_s^I) - I'' \cos(\varepsilon_v - \varphi_s^{II})}{\sin(\varepsilon_v - \varphi_{sa})} .$$

3.1.3. Expresia analitică a tensiunii reziduale de la bornele unui motor asincron de categoria I.

Studiul întreprins în cap.3.1.2. a arătat că parametrii tranzitorii ai unui motor de categoria I, necesari pentru analiza comportării acestuia în timpul scurtcircuitului, sînt constantele de timp $T_{sa}, T_s^I, T_s^{II}, T_{s0}^I, T_{s0}^{II}$ definite prin relațiile (3.10), (3.11), (3.40) și reactanțele X_s, X_s^I, X_s^{II} definite prin relațiile (3.17), (3.18) și determinabile experimental cu ajutorul relației (3.67). Constantele de timp T_{sa}, T_s^I, T_s^{II} și mărimile I', I'', D^I, D^{II} se pot determina experimental

după cum se va vedea ulterior, prin prelucrarea adecvată a oscilogramelor curentului de scurtcircuit, iar constantele T_{s0}^I , T_{s0}^{II} prin prelucrarea adecvată a oscilogramelor tensiunii reziduale a motorului. Din acest motiv, în cele ce urmează se determină expresia analitică a tensiunii reziduale de la bornele unui motor asincron de categoria I.

Imediat după deconectarea de la sursa de alimentare a unui motor asincron, fluxul său magnetic principal nu scade brusc la zero din cauza inerției electromagnetice și a existenței circuitelor sale rotorice închise. Cu trecerea timpului fluxul scade, continuând să inducă tensiuni electromotoare în înfășurările statorice. Ca urmare, după deconectarea de la sursa sa de alimentare, la bornele motorului există o tensiune, denumită tensiune reziduală, căreia, în cele ce urmează, i se va stabili legea de variație în timp.

Pentru găsirea legii de variație a acestei tensiuni se vor lua în considerare

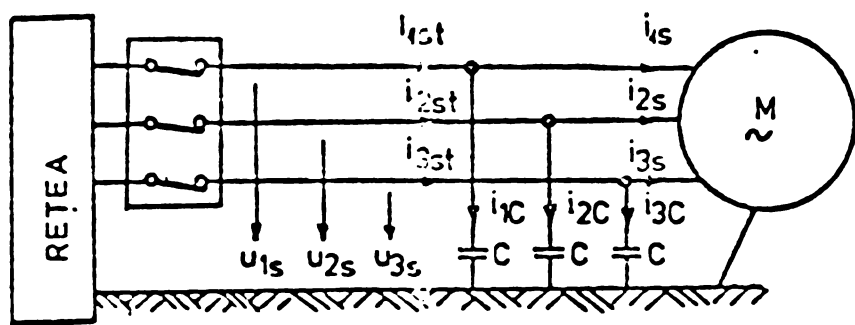


Fig. 3.1 Modul de considerare a capacităților echivalente ale înfășurătorilor motorului asincron.

și capacitățile înfășurătorilor motorului, sub forma unor capacități echivalente față de masă, considerînd schema echivalentă din fig. 3.1./32/. Conform acestei scheme echivalente, curentul total i_{vst} absorbit de motor va avea două componente: una capacitivă i_{vC} și

una inductivă i_{vL} , deci:

$$(3.71) \quad i_{vst} = i_{vC} + i_{vL}; \quad v = 1, 2, 3$$

unde expresia componentei i_{vL} este dată de relația (3.47).

Se presupune că tensiunile trifazate u_{vs} ($v = 1, 2, 3$), aplicate fazelor 1s, 2s, 3s înainte de deconectarea motorului sînt exprimate de relațiile (3.46), iar curentii totali absorbiți de relația :

$$(3.72) \quad i_{vst} = \sqrt{2} I_t \sin(\omega t + \varepsilon_v - \varphi_t); \quad v = 1, 2, 3.$$

unde φ_t este unghiul de defazaj dintre tensiunea la borne și curentul total absorbit, iar unghiurile ε_v , date de relația (3.48) sînt denumite acum unghiuri de deconectare.

Este necesar să se specifice că diferența dintre relația (3.72) și relația (3.47) constă în faptul că în cazul relației (3.72) a fost luată în considerare și componenta capacitivă a curentului absorbit de motor, pe cînd în cazul relației (3.47) această componentă a fost neglijată. Deoarece capacitățile C au valori foarte mici componenta capacitivă i_{vC} a curentului absorbit de motor este foarte mică. De aici rezultă că între mărimile I , φ , respectiv I_t , φ_t din relațiile (3.47), respectiv (3.72) există diferențe nesemnificative. Neglijarea componentei capacitive a curentului absorbit de motor nu are influență mare asupra fenomenelor studiate cu ajutorul relației (3.47), pe cînd în cazul fenomenelor studiate cu relația (3.72) această componentă nu se poate neglija, deoarece capacitățile C sînt cele care determină o serie dintre parametrii tensiunii reziduale.

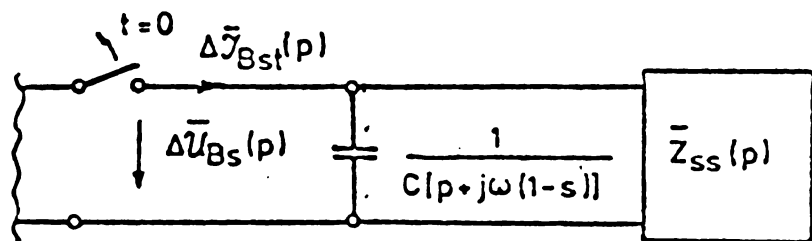
În sistemul de coordonate Park, între imaginea Carson $\Delta \bar{u}_{B_s}(p)$ a creșterii tensiunii la bornele motorului și imaginea Carson $\Delta \bar{i}_{B_{st}}(p)$ a creșterii curentului absorbit de motor există, conform anexei 3.4, următoarele relații de legătură /32/:

$$(3.73) \quad \Delta \bar{u}_{B_s}(p) = \bar{Z}_{\Delta C}(p) \Delta \bar{i}_{B_{st}}(p); \quad (3.74) \quad \Delta \bar{u}_{B_s}(p) = \frac{\Delta \bar{i}_{B_{st}}(p)}{\bar{Y}_{\Delta C}(p)}$$

unde impedanța complexă operațională $\bar{Z}_{SC}(p)$, respectiv admitanța complexă operațională $\bar{Y}_{SC}(p)$ sînt legate prin relația:

$$(3.75) \quad \bar{Z}_{\Delta C}(p) = \frac{1}{\bar{Y}_{\Delta C}(p)}; \quad \bar{Y}_{\Delta C}(p) = \bar{Y}_{\Delta s}(p) + \bar{Y}_C(p); \quad \bar{Y}_{\Delta s}(p) = \frac{1}{\bar{Z}_{\Delta s}(p)}; \quad \bar{Y}_C(p) = C[p + j\omega(1-s)].$$

În relația (3.75), $\bar{Z}_{SS}(p)$, respectiv $\bar{Y}_{SS}(p)$ sînt impedanța, respectiv admitanța complexă operațională a motorului fără considerarea capacităților C, fiind date



relația (3.20), respectiv (3.21).

Relațiilor (3.74), (3.75) le corespunde schema operațională monofazată echivalentă din fig. 3.2.

Se presupune că deconectarea

motorului are loc la momentul

Fig. 3.2. Schema operațională echivalentă a motorului asincron pentru obținerea expresiei analitice de variație în timp a tensiunii reziduale.

$t = 0$, prin sculgeră de curent /42/.

În aceste condiții, folosind conceptul de admitanță complexă operațională a motorului asincron $\bar{Y}_{SC}(p)$ și transformata Carson, se poate arăta, conform anexei 35 că, în sistemul de coordonate Park, expresia fazorului reprezentativ spațialo-temporal al tensiunii reziduale $\bar{u}_{B_s}^{(R)}$ la bornele motorului asincron de categoria I este dat de expresia:

$$(3.76) \quad \bar{u}_{B_s}^{(R)} = -\sqrt{2} \frac{U}{|\bar{Z}_{\Delta C}(j\omega)|} \exp\left[j\left(\varepsilon_t - \frac{\pi}{2} - \varphi_t - \gamma_{\Delta C}\right)\right] \sum_{n=1}^4 \frac{\exp[p_{yn}t]}{(p_{yn} - j\omega) \bar{Y}'_{\Delta C}(p_{yn})}$$

unde $|\bar{Z}_{SC}(j\omega)|$ este modulul impedanței motorului asincron, cu luarea în considerare a capacităților echivalente C ale înfășurărilor, în regimul staționar cu alunecarea a dinaintea deconectării motorului; p_{yn} este o rădăcină a funcției $\bar{Y}_{SC}(p)$; $\bar{Y}'_{SC}(p_{yn})$ este valoarea derivatei funcției $\bar{Y}_{SC}(p)$ în punctul $p = p_{yn}$; $\gamma_{\Delta C}$ caracterizează poziția la momentul $t = 0$ a fazei de referință a rotorului în raport cu faza de referință a statorului.

Plecînd de la expresia (3.76) autorul a arătat în /32/ că expresia tensiunilor reziduale ale fazelor v_s ($s = 1, 2, 3$) este:

$$(3.77) \quad u_{v_s}^{(R)} = u_{v_{s0}} + u_{v_s}'' + u_{v_s}' = \sqrt{2} U_0 \exp[-t/T_{\Delta 0}] \cos\left[t\sqrt{\omega_0^2 - (a/2)^2} - \rho_0\right] + \sqrt{2} U'' \exp[-t/T_{\Delta 0}'] \sin\left[(1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_t - \rho''\right] + \sqrt{2} U' \exp[-t/T_{\Delta 0}'] \sin\left[(1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_t - \rho'\right]$$

în care se notează:

$$(3.78) \quad u_{v_s} = u_{v_s}'' + u_{v_s}'$$

Mărimile ce intervin în relația (3.77) sînt date de:

$$(3.79) \quad U_0 = UR_0; \quad U'' = UR''; \quad U' = UR'; \quad T_{\Delta 0} = \frac{2X_s''}{\omega R_s}; \quad R_0 = \frac{\omega_s \cos \theta_{\Delta 1} \cos \theta_{\Delta 2} \cos(\varepsilon_v - \varphi_t)}{|\bar{Z}_{\Delta C}(j\omega)| \omega \cos \alpha \cos \theta_{b1} \cos \theta_{b2}};$$

$$R'' = \frac{X_s'' \omega_0^2 (b_1 - r_2)(b_2 - r_2) \cos \gamma_{r_2} \cos \mu_{r_2}}{|\bar{Z}_{AC}(j\omega)| \omega r_2 (r_1 - r_2)(a - 2r_2) \cos \varphi_{r_2}}; \quad R' = \frac{X_s'' \omega_0^2 (b_1 - r_1)(b_2 - r_1) \cos \gamma_{r_1} \cos \mu_{r_1}}{|\bar{Z}_{AC}(j\omega)| \omega r_1 (r_2 - r_1)(a - 2r_1) \cos \varphi_{r_1}};$$

$$\varphi_0 = 2\alpha + \theta_{r_1} + \theta_{r_2} - \theta_{b_1} - \theta_{b_2} - \frac{\pi}{2}; \quad \varphi'' = \gamma_{r_2} + \mu_{r_2} - \varphi_{r_2}; \quad \varphi' = \gamma_{r_1} + \mu_{r_1} - \varphi_{r_1};$$

$$(3.79) \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}}; \quad \operatorname{tg} \theta_{r_1} = \frac{a - 2r_1}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}}; \quad \operatorname{tg} \theta_{r_2} = \frac{a - 2r_2}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}}; \quad \operatorname{tg} \theta_{b_1} = \frac{a - 2b_1}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}};$$

$$\operatorname{tg} \theta_{b_2} = \frac{a - 2b_2}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}}; \quad \operatorname{tg} \mu_{r_1} = \frac{r_1^2 - ar_1 + \omega_0^2 - \omega^2(1-s)^2}{\omega(1-s)(2r_1 - a)}; \quad \operatorname{tg} \mu_{r_2} = \frac{r_2^2 - ar_2 + \omega_0^2 - \omega^2(1-s)^2}{\omega(1-s)(2r_2 - a)};$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{r_1} = \frac{s\omega}{r_1}; \quad \operatorname{tg} \gamma_{r_2} = \frac{s\omega}{r_2}; \quad \operatorname{tg} \varphi_{r_1} = \frac{r_1 - a}{\omega(1-s)}; \quad \operatorname{tg} \varphi_{r_2} = \frac{r_2 - a}{\omega(1-s)}; \quad \omega_0 = 2\pi f_0 = \sqrt{\frac{\omega}{C X_s''}}$$

Expresia (3.77) a tensiunii reziduale la bornele unui motor asincron de categoria I arată că aceasta are trei componente: prima componentă u_{vs0} este periodică de frecvență înaltă $\left[\frac{1}{2\pi} \sqrt{\omega_0^2 - (a/2)^2} \right]$ și amortizată cu constanta de timp T_{s0} ; a doua componentă u_{vs}'' este periodică de frecvență $(1-s)f$ și amortizată cu constanta de timp T_{s0}'' ; a treia componentă u_{vs}' este tot periodică de frecvență $(1-s)f$ și amortizată cu constanta de timp T_{s0}' . Suma ultimelor două componente este periodică de aceeași frecvență $(1-s)f$ și a fost notată cu u_{vsp} .

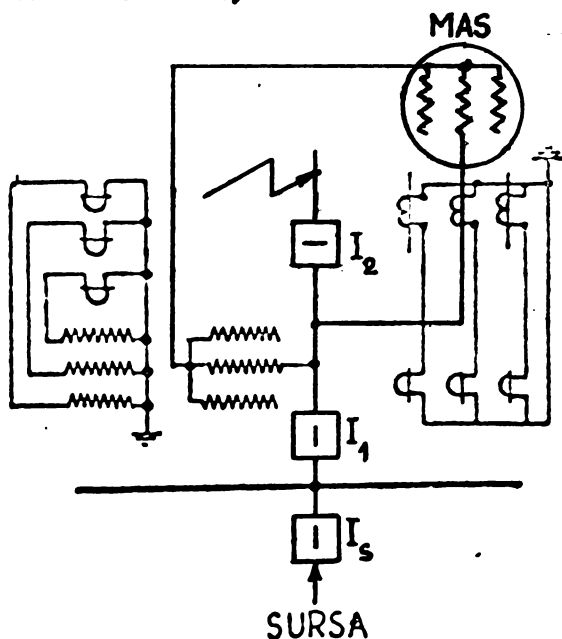
Cunoașterea structurii expresiei analitice a tensiunii reziduale a unui motor asincron de categoria I are importanță practică, deoarece prelucrarea oscilogramelor tensiunii reziduale în conformitate cu această expresie permite determinarea experimentală a parametrilor T_{s0}' , T_{s0}'' și a mărimilor ϑ' , ϑ'' , după cum se va vedea în cap.4.

3.1.4. Scurtcircuitul la borne după deconectarea unui motor asincron de categoria I (scurtcircuitul indirect), ca metodă de determinare a parametrilor săi tranzitorii.

Proba de scurtcircuit la bornele motorului asincron în timpul funcționării sale, deși dă rezultatele cele mai precise din punct de vedere al determinării parametrilor tranzitorii ai motorului, are inconvenientul că odată cu scurtcircuitarea motorului se scurtcircuitează și sursa de alimentare, lucru ce nu poate fi acceptat întotdeauna din cauza solicitării sursei în timpul probei de scurtcircuit. Pentru a nu solicita sursa în timpul probei, autorul a propus [31] proba de scurtcircuit la bornele motorului asincron după deconectarea sa de la sursă, pe care a denumit-o probă de scurtcircuit indirect, ca o nouă metodă de determinare a parametrilor tranzitorii ai motorului.

Metoda constă în deconectarea motorului de la sursa de alimentare prin deschiderea întreruptorului I_1 (fig.3.3) și scurtcircuitarea cât se poate de rapidă a bornelor sale prin închiderea întreruptorului I_2 . În intervalul de timp dintre deschiderea întreruptorului I_1 și închiderea întreruptorului I_2 , la bornele motorului asincron există tensiunea reziduală a cărei lege de variație în timp este

dată de relația (3.77). Prin închiderea întreruptorului I_2 se scurtcircuitază bornele motorului, care va stabili spre locul de scurtcircuit un curent, numit curent de scurtcircuit după deconectare sau curent de scurtcircuit indirect.



Amortizarea valorii tensiunii reziduale în momentul producerii scurtcircuitului și a expresiei curentului de scurtcircuit indirect permite determinarea experimentală a parametrilor tranzitorii ai motorului asincron.

După cum s-a văzut în cap. 3.1.3., tensiunea reziduală prezintă trei componente care se amortizează corespunzător constantelor de timp T_{so}'' , T_{so}' unde T_{so} și T_{so}' sînt de ordinul de mărime al zecilor de milisekunde, iar T_{so}'' de ordinul de mărime al secundelor.

Fig. 3.3. Schemă pentru efectuarea încercării de scurtcircuit direct și indirect a motorului asincron.

Timpul propriu de închidere al întreruptorului I_2 fiind de ordinul de mărime a mai multor zeci de milisekunde, în intervalul de timp t_0 de la deschiderea întreruptorului I_1 pînă la închiderea întreruptorului I_2 , primele două componente ale tensiunii reziduale se amortizează aproape complet. În fig. 3.4 se indică forma calitativă de variație a valorii efective a tensiunii reziduale a unui motor asincron de categoria I, drept origine a timpului fiind considerat momentul deschiderii întreruptorului I_1 . În momentul închiderii întreruptorului I_2 tensiunea reziduală va conține practic numai componenta U_0' , care se amortizează cu constanta de timp T_{so}' , expresia ei fiind conform cu relația (3.77):

Timpul propriu de închidere al întreruptorului

fiind de ordinul de mărime a mai multor zeci de milisekunde, în intervalul de timp t_0 de la deschiderea întreruptorului I_1 pînă la închiderea întreruptorului

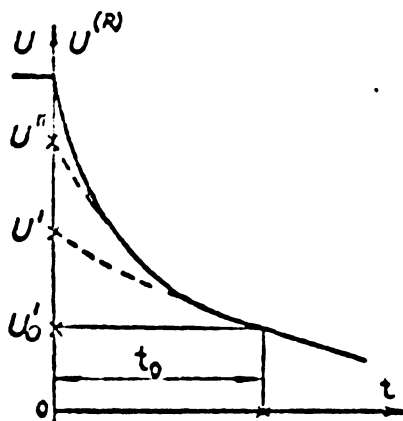


Fig. 3.4. Variația în timp a valorii efective a tensiunii reziduale a unui motor asincron de categoria I.

$$(3.80) \mu_{VA}' = \sqrt{2} U' \exp[-t/T_{so}'] \sin \{ (1-s)\omega t + \varepsilon_y - \varphi_t - \rho' \}$$

unde s este alunecarea motorului înainte de deconectare, φ_t este unghiul de defazaj dintre tensiune și curent înainte de deconectare, ε_y este unghiul de deconectare, iar expresiile lui U' și ρ' sînt date de relația (3.79).

Din cauza valorilor mici ale intervalului de timp t_0 se poate admite că alunecarea s a motorului rămîne constantă în acest interval de timp și în primele perioade ale scurtcircuitului indirect. În aceste condiții, folosind conceptul de impedanță complexă operațională a motorului asincron de categoria I și transformate Carson, se poate arăta, conform anexei 3.6 că, în sistemul de coordonate Park, expresia fazorului spațio-temporal al curentului de scurtcircuit indirect \bar{I}_{BSQ} este dat de expresia:

$$(3.81) \bar{I}_{BSQ} = -\sqrt{2} U_0' \frac{\omega}{X_2''} \exp \left[j \left(\varepsilon_1 - \frac{\pi}{2} + \varepsilon_0 - \varphi_t - \rho' - \delta_{R0} \right) \right] \left\{ \frac{[c_2 - a - j\omega(1-s)] \exp[-a\tau - j\omega(1-s)\tau]}{[b_1 - a - j\omega(1-s)][b_2 - a - j\omega(1-s)]} + \frac{[c_2 - b_1] \exp[-b_1\tau]}{(b_2 - b_1)[a - b_1 + j\omega(1-s)]} + \frac{[c_2 - b_2] \exp[-b_2\tau]}{(b_1 - b_2)[a - b_2 + j\omega(1-s)]} \right\}$$

iar expresia curentului de scurtcircuit indirect al fazei v_s ($v = 1, 2, 3$) este :

$$(3.82) \quad i_{v_s Q} = \sqrt{2} I_{aQ} \exp[-\tau/T_{sa}] \sin(\varepsilon_v - \varepsilon_0 - \varphi_{saQ}) + \sqrt{2} I_Q' \exp[-\tau/T_s'] \cos\{(1-s)\omega\tau + \varepsilon_v + \varepsilon_0 - \varphi_{sQ}'\} + \\ + \sqrt{2} I_Q'' \exp[-\tau/T_s''] \cos\{(1-s)\omega\tau + \varepsilon_v + \varepsilon_0 - \varphi_{sQ}''\}.$$

unde originea $\tau = 0$ a timpului se consideră momentul producerii scurtcircuitului (adică al închiderii întreruptorului I_2), τ_{r0} caracterizează poziția la momentul $\tau = 0$ ($t = t_0$) a fazei de referință a rotorului în raport cu faza de referință a statorului. Mărimile ce intervin în relațiile (3.81), (3.82) au expresiile :

$$(3.83) \quad U_0' = U' \exp[-t_0/T_{s0}']; \quad \varepsilon_0 = (1-s)\omega t_0; \quad I_{aQ} = \frac{U_0' Q_a}{X_s''}; \quad I_Q' = \frac{U_0' Q'}{X_s'}; \\ I_Q'' = U_0' Q'' \left(\frac{1}{X_s''} - \frac{1}{X_s'} \right); \quad \varphi_{saQ} = \frac{\pi}{2} + \varphi_t + \rho' + \varphi_{b1} + \varphi_{b2} - \varphi_{f2}; \quad \varphi_{sQ}' = \varphi_t + \rho' + \varphi_{b1}; \\ \varphi_{sQ}'' = \varphi_t + \rho' + \varphi_{b2}; \quad \varphi_{b1} = \arctg \frac{b_1 - a}{\omega(1-s)}; \quad \varphi_{b2} = \arctg \frac{b_2 - a}{\omega(1-s)}; \quad \varphi_{f2} = \arctg \frac{f_2 - a}{\omega(1-s)}.$$

unde ρ' și φ_t sînt dați de expresia (3.79).

Coefficienții Q_a, Q', Q'' din (3.83) sînt dați de :

$$(3.84) \quad Q_a = \omega \sqrt{\frac{\omega^2(1-s)^2 + (c_2 - a)^2}{[\omega^2(1-s)^2 + (b_1 - a)^2][\omega^2(1-s)^2 + (b_2 - a)^2]}}; \quad Q' = \frac{\omega(b_1 - f_2)}{\left[b_1 + \frac{b_1 c^2}{b^2} - c_0 \right] \sqrt{\omega^2(1-s)^2 + (b_1 - a)^2}}; \\ Q'' = \frac{\omega(b_2 - f_2)}{\left[b_2 + \frac{b_1 c^2}{b^2} - c_0 \right] \sqrt{\omega^2(1-s)^2 + (b_2 - a)^2}}.$$

și sînt funcții de alunecarea s a motorului din regimul staționar anterior probei de scurtcircuit indirect.

Cunoașterea expresiei analitice (3.83) a curentului de scurtcircuit indirect al motorului asincron de categoria I are importanță practică, deoarece prelucrarea oscilogramelor curentilor de scurtcircuit indirect în conformitate cu această expresie permite determinarea experimentală a constantelor de timp T_{sa}, T_s', T_s'' și a curentilor I_Q', I_Q'' , iar relațiile (3.17), (3.18) și (3.83) permit determinarea reactanțelor X_s, X_s', X_s'' ale motorului, rezultînd :

$$(3.85) \quad X_s'' = \frac{U_0'}{\frac{I_Q'}{Q'} + \frac{I_Q''}{Q''}}; \quad X_s' = X_s'' \frac{\left(\frac{1}{T_s'} - \frac{1}{T_s''} \right)}{\frac{1}{T_s'} \left(1 + \frac{T_{s0}' T_{s0}''}{T_{s0}' T_{s0}''} \right) - \left(\frac{1}{T_{s0}'} + \frac{1}{T_{s0}''} \right)}; \quad X_s = X_s'' \frac{T_{s0}' T_{s0}''}{T_{s0}' T_{s0}''}.$$

3.1.5. Determinarea parametrilor din schema echivalentă corespunzătoare modelului MA-2C-DCR-UR (fig.2.6) a unui motor asincron de categoria I, în funcție de parametrii săi tranzitorii.

Prelucrarea oscilogramelor curentilor de scurtcircuit și a tensiunii reziduale a motoarelor asincrone de categoria I permite determinarea experimentală (a se vedea cap.4) a parametrilor tranzitorii $T_s', T_s'', T_{sa}, T_{s0}', T_{s0}'', X_s', X_s'', X_s$ ai motoarelor respective. În funcție de acești parametrii tranzitorii se pot găsi parametrii constanți, proprii fiecărei colivii rotorice în parte (care apar în schema echivalentă din fig.2.6) atât pentru un motor real cu două colivii rotorice, cît

și pentru motorul cu două colivii rotorice echivalent celui cu o colivie rotorică cu bare înalte /33/. Pentru a da considerațiilor ce urmează un caracter mai pronunțat de generalizare și având în vedere că în literatura de specialitate se folosește pe scară largă sistemul unităților relative (U.R.), se va porni de la modelul MA-2C-DCR-UR, deoarece acesta descrie funcționarea unui motor de categoria I, indiferent dacă motorul este cu două colivii rotorice sau cu o colivie rotorică cu bare înalte. Bineînțeles că în cel de al doilea caz modelul descrie funcționarea motorului cu două colivii rotorice echivalent celui cu o colivie rotorică cu bare înalte.

Conform specificațiilor din cap.2.2.1.2.3., privind notațiile folosite în sistemul U.R. și conform relațiilor (3.17), (3.19), (3.20), (3.24), (3.25) impedanța complexă operațională $\bar{z}_{ss}(p)$ în U.R. și în sistemul de coordonate Park este dată de relația :

$$(3.86) \quad \bar{z}_{ss}(p) = [p + j(1-s)] x_s(p) + r_s$$

unde $x_s(p)$ este reactanța operațională în U.R., fiind dată de relația :

$$(3.87) \quad x_s(p) = x_s \frac{t'_s t''_s p^2 + (t'_s + t''_s) p + 1}{t'_{s0} t''_{s0} p^2 + (t'_{s0} + t''_{s0}) p + 1}$$

în care :

$$(3.88) \quad x''_s = x_s \frac{t'_s t''_s}{t'_{s0} t''_{s0}} ; \quad r_s = \frac{x''_s}{t'_{s0}} ; \quad t'_{s0} + t''_{s0} = t_1 + t_2 ; \quad t'_s + t''_s = t'_1 + t'_2$$

Toate mărimile din relațiile (3.86), (3.87), (3.88) sînt exprimate în U.R., și ca urmare :

$$(3.89) \quad \bar{z}_{ss}(p) = \frac{\bar{z}_{ss}(p)}{Z_n} ; \quad x_s(p) = \frac{X_s(p)}{Z_n} ; \quad p = \frac{d}{d\tau} = \frac{1}{\omega} \frac{d}{dt} ; \quad x_s = \frac{X_s}{Z_n} ; \quad r_s = \frac{R_s}{Z_n} ;$$

$$t'_s = \omega T'_s ; \quad t''_s = \omega T''_s ; \quad t'_{s0} = \omega T'_{s0} ; \quad t''_{s0} = \omega T''_{s0} ; \quad t_{sa} = \omega T_{sa} ; \quad t_1 = \omega T_1 ;$$

$$t_2 = \omega T_2 ; \quad t'_1 = \omega T'_1 ; \quad t'_2 = \omega T'_2$$

Se introduce următoarele notații :

$$(3.90) \quad B_0 = t'_s + t''_s ; \quad B^2 = t'_s t''_s ; \quad C_0 = t'_{s0} + t''_{s0} ; \quad C^2 = t'_{s0} t''_{s0}$$

Ecuațiile (3.10), (3.11), (3.18), (3.40) cu mărimile în U.R. și folosind notațiile (3.90), după prelucrarea adecvată conform anexei 3.7, constituie sistemul de ecuații (3.91), din care se pot găsi parametrii proprii fiecărei colivii rotorice în parte a motorului asincron cu două colivii rotorice sau a motorului asincron cu două colivii rotorice echivalent celui cu o colivie rotorică cu bare înalte :

$$(3.91) \quad t_1 t_2 [(\sigma_1 + \sigma_2) \sigma_s + \sigma_1 \sigma_2 (1 - 2\sigma_s)] = B^2 ; \quad \sigma_s (t_1 + t_2) + (1 - \sigma_s) (t_1 \sigma_1 + t_2 \sigma_2) = B_0 ; \quad t_1 + t_2 = C_0$$

$$t_1 t_2 (\sigma_1 + \sigma_2 - \sigma_1 \sigma_2) = C^2 ; \quad \frac{x'_s}{x''_s} = \frac{(\sigma_1 + \sigma_2 - \sigma_1 \sigma_2) [(t'_s)^2 - B^2]}{[(\sigma_1 + \sigma_2) \sigma_s + \sigma_1 \sigma_2 (1 - \sigma_s)] [t'_{s0} C_0 - (B^2 + C^2)]} ; \quad \frac{x_s}{x'_s} = t_{sa}$$

Prin rezolvarea, conform anexei 3.7, a sistemului (3.91) rezultă :

$$(3.92) \quad \sigma_s = \frac{x''_s (B^2 + C^2) [(t'_s)^2 - B^2] - x'_s B^2 [t'_{s0} C_0 - B^2 - C^2]}{2 x''_s C^2 [(t'_s)^2 - B^2] - x'_s B^2 [t'_{s0} C_0 - B^2 - C^2]}$$

$$(3.92) \quad \sigma_1 = \frac{1}{(1-\sigma_3)} \left\{ (2C^2\sigma_3 - B^2 - C^2) \frac{\varphi(\sigma_3)}{F(\sigma_3)} - \sqrt{(2C^2\sigma_3 - B^2 - C^2)^2 \left[\frac{\varphi(\sigma_3)}{F(\sigma_3)} \right]^2 - 4(1-\sigma_3)(C^2\sigma_3 - B^2) \frac{\varphi(\sigma_3)}{F(\sigma_3)}} \right\}$$

$$\sigma_2 = \frac{1}{2(1-\sigma_3)} \left\{ (2C^2\sigma_3 - B^2 - C^2) \frac{\varphi(\sigma_3)}{F(\sigma_3)} + \sqrt{(2C^2\sigma_3 - B^2 - C^2)^2 \left[\frac{\varphi(\sigma_3)}{F(\sigma_3)} \right]^2 - 4(1-\sigma_3)(C^2\sigma_3 - B^2) \frac{\varphi(\sigma_3)}{F(\sigma_3)}} \right\}$$

$$t_1 = \frac{C_0(\sigma_3 + \sigma_2 - \sigma_1\sigma_2) - B_0}{(\sigma_2 - \sigma_1)(1-\sigma_3)} ; \quad t_2 = \frac{B_0 - C_0(\sigma_3 + \sigma_1 - \sigma_2\sigma_1)}{(\sigma_2 - \sigma_1)(1-\sigma_3)}$$

unde funcțiile $\varphi(\sigma_3)$ și $F(\sigma_3)$ au expresiile :

$$(3.93) \quad \varphi(\sigma_3) = \sigma_3^2(C_0^2 - 4C^2) + \sigma_3(4B^2 + 4C^2 - 2B_0C_0) + B_0^2 - 4B^2$$

$$F(\sigma_3) = -C^2\varphi(\sigma_3) + C^2B_0^2 + B^2C_0^2 + (B^2 + C^2)(B^2 + C^2 - B_0C_0) - 4B^2C^2$$

Parametrii din schema echivalentă corespunzătoare modelului KA-2C-DCR-3A al motorului asincron cu două colivii rotorice sau al motorului asincron cu două colivii rotorice echivalent celui cu o colivie rotorică cu bare înalte, sînt dați de relațiile :

$$(3.94) \quad \tilde{x}_m = \frac{C^2 x_A'' (1-\sigma_3)}{B^2} ; \quad x_A = \frac{\tilde{x}_m}{(1-\sigma_3)} ; \quad \tilde{x}_1 = \frac{\tilde{x}_m}{(1-\sigma_1)} ; \quad \tilde{x}_2 = \frac{\tilde{x}_m}{(1-\sigma_2)} ; \quad r_A = \frac{x_A''}{T_{2a}} ; \quad \tilde{r}_1 = \frac{\tilde{x}_1}{t_1} ; \quad \tilde{r}_2 = \frac{\tilde{x}_2}{t_2} ;$$

$$\tilde{x}_{1\sigma} = \sigma_1 x_A ; \quad \tilde{x}_{1\sigma} = \sigma_1 \tilde{x}_1 ; \quad \tilde{x}_{2\sigma} = \sigma_2 \tilde{x}_2 .$$

3.1.6. Determinarea caracteristicilor de frecvență ale motorului asincron de categoria I în funcție de parametri săi tranzitorii.

Cunoașterea parametrilor tranzitorii ai unui motor asincron de categoria I permite și determinarea caracteristicilor sale de frecvență. Acestea sînt des folosite în literatură pentru studiul diferitelor regimuri ale motorului asincron.

Caracteristica de frecvență în U.R. a unui motor asincron de categoria I, la aplicarea tensiunii unitate +j este :

$$(3.95) \quad g = f(b)$$

între mărimile g și b existînd relația de legătură :

$$(3.96) \quad b + jg = \bar{r}_A = \frac{j}{\tilde{x}_A(j\omega)} = \frac{j}{j x_A(j\omega) + r_A}$$

Conform anexei 3.8, mărimile g și b sînt funcții de alunecarea s, avînd următoarele expresii:

$$(3.97) \quad g = \frac{1}{x_A''} \frac{\Gamma(s)}{[\Lambda(s)]^2 + [\Gamma(s)]^2} ; \quad (3.98) \quad b = \frac{1}{x_A''} \frac{\Lambda(s)}{[\Lambda(s)]^2 + [\Gamma(s)]^2}$$

unde funcțiile $\Gamma(s)$ și $\Lambda(s)$ au expresiile:

$$(3.99) \quad \Gamma(s) = \frac{C^2}{B^2} \left[\frac{A C_0 (1-s^2 B^2) - A B_0 (1-s^2 C^2)}{(1-s^2 C^2)^2 + s^2 C_0^2} \right] + \frac{1}{t_{2a}} ; \quad (3.100) \quad \Lambda(s) = \frac{C^2}{B^2} \left[\frac{(1-s^2 B^2)(1-s^2 C^2) + s^2 B_0 C_0}{(1-s^2 C^2)^2 + s^2 C_0^2} \right]$$

3.2. Comportarea motoarelor asincrone din categoria II

3.2.1. Forma operațională a ecuațiilor modelului MA-1C-PCR și parametrii operaționali ai unui motor asincron din categoria II.

Având în vedere relațiile (2.47), forma operațională a ecuațiilor (2.30), (2.31) (2.32), (2.33) ale modelului MA-1C-PCR al motoarelor asincrone din categoria II este :

$$(3.101) \Delta \bar{u}_{B_2}(p) = [p + j\omega(1-s)] \Delta \bar{Y}_{B_2}(p) + R_s \Delta \bar{I}_{B_2}(p); \quad (3.102) \quad 0 = r \Delta \bar{Y}_{B_1}(p) + R_r \Delta \bar{u}_{B_1}(p)$$

$$(3.103) \omega \Delta \bar{Y}_{B_2}(p) = X_s \Delta \bar{I}_{B_2}(p) + X_m \Delta \bar{I}_{B_1}(p) \quad (3.104) \quad \omega \Delta \bar{Y}_{B_1}(p) = X_m \Delta \bar{I}_{B_2}(p) + X_r \Delta \bar{I}_{B_1}(p).$$

Se definesc și pentru motoarele asincrone de categoria II, în mod similar ca și pentru cele de categoria I, reactanța tranzitorie X'_1 a înfășurării rotorice, coeficienții de scăpări și constantele de timp, conform relațiilor :

$$(3.105) \quad X'_1 = X_1 - \frac{X_m^2}{X_s}; \quad \sigma'_s = 1 - \frac{X_m}{X_s}; \quad \sigma'_r = 1 - \frac{X_m}{X_r}; \quad T'_{s0} = T_1 = \frac{X_1}{\omega R_1} = \frac{1}{\rho_1}; \quad T'_2 = T'_1 = \frac{X'_1}{\omega R_1} = \frac{1}{\rho'_1}; \quad T'_{2a} = \frac{X'_1}{\omega R_2} = \frac{1}{\rho'_2}$$

unde X'_1 este reactanța tranzitorie a motorului asincron de categoria I, fiind definită prin:

$$(3.106) \quad X'_1 = X_1 \frac{L_1}{L_r} = X_1 \frac{T'_1}{T_{s0}} = X_1 \frac{T'_1}{T_1}$$

Se poate arăta, conform anexei 3.1, că și pentru motoarele asincrone de categoria II sînt valabile relațiile (3.14), (3.15), (3.16), cu observația că lipsește cea de a doua relație (3.16), din cauza inexistenței celei de a doua înfășurări a rotorului; iar structura parametrilor operaționali $X_s(p)$, $\bar{Z}_{ss}(p)$, $\bar{Y}_{ss}(p)$, $\bar{Y}_{s1}(p)$ este diferită de structura aceluiași parametrii operaționali ai motorului asincron de categoria I. Structura acestor parametri este următoarea :

$$(3.107) \quad X_s(p) = X'_1 \frac{N(p)}{N_s(p)} = X'_1 \frac{p + \rho_1}{p + \rho_1}; \quad (3.108) \quad \bar{Z}_{ss}(p) = \frac{1}{\omega} \left\{ [p + j(1-s)\omega] X_s(p) + \omega R_s \right\} = X'_1 \frac{N_{ss}(p)}{N_s(p)}$$

$$(3.109) \quad \bar{Y}_{ss}(p) = \frac{1}{\bar{Z}_{ss}(p)} = \frac{1}{X'_1} \frac{N_s(p)}{N_{ss}(p)}; \quad (3.110) \quad \bar{Y}_{s1}(p) = - \frac{(1-\sigma'_s) T_1}{X_1 T'_1} \frac{1}{N_{s0}(p)}$$

în care :

$$(3.111) \quad N(p) = p + \frac{1}{T_1} = p + \rho_1; \quad (3.112) \quad N_s(p) = p + \frac{1}{T_1} = p + \rho_1;$$

$$(3.113) \quad N_{ss}(p) = \frac{1}{\omega} \left\{ [p + j\omega(1-s)] N(p) + a N_s(p) \right\} = \frac{1}{\omega} (p - p_1)(p - p_2)$$

Rădăcina polinomului $N_s(p)$ este :

$$(3.114) \quad p_{01} = -\rho_1 = -(1/T_1) = -(1/T_{s0})$$

Funcția $X_s(p)$ are o singură rădăcină :

$$(3.115) \quad p'_1 = -\rho_1 = -(1/T_1) = -(1/T'_1)$$

care este în același timp rădăcina polinomului $N(p)$, iar funcția $\bar{Z}_{ss}(p)$ are două rădăcini p_1 și p_2 , care sînt în același timp rădăcinile polinomului $N_{ss}(p)$, avînd expresiile :

(3.116)

$$p_1 = -\delta_1 - j\omega_1; \quad p_2 = -\delta_2 - j\omega_2$$

unde :

$$(3.117) \quad \begin{aligned} \delta_1 &= \frac{1}{T_1} = \frac{1}{2} \left[a + b_1 + \sqrt{\frac{1}{2} \left[(a-b_1)^2 + 4a(b_1-r_1) - \omega^2(1-s)^2 + \sqrt{\left[\omega^2(1-s)^2 - (a-b_1)^2 - 4a(b_1-r_1) \right]^2 + 4\omega^2(1-s)^2(a-b_1)^2} \right]} \right] \\ \omega_1 &= \frac{1}{2} \left[a + b_1 - \sqrt{\frac{1}{2} \left[\omega^2(1-s)^2 - (a-b_1)^2 - 4a(b_1-r_1) + \sqrt{\left[\omega^2(1-s)^2 - (a-b_1)^2 - 4a(b_1-r_1) \right]^2 + 4\omega^2(1-s)^2(a-b_1)^2} \right]} \right] \\ \delta_2 &= \frac{1}{T_a} = \frac{1}{2} \left[a + b_1 - \sqrt{\frac{1}{2} \left[(a-b_1)^2 + 4a(b_1-r_1) - \omega^2(1-s)^2 - \sqrt{\left[\omega^2(1-s)^2 - (a-b_1)^2 - 4a(b_1-r_1) \right]^2 + 4\omega^2(1-s)^2(a-b_1)^2} \right]} \right] \\ \omega_2 &= \frac{1}{2} \left[a + b_1 - \sqrt{\frac{1}{2} \left[\omega^2(1-s)^2 - (a-b_1)^2 - 4a(b_1-r_1) + \sqrt{\left[\omega^2(1-s)^2 - (a-b_1)^2 - 4a(b_1-r_1) \right]^2 + 4\omega^2(1-s)^2(a-b_1)^2} \right]} \right] \end{aligned}$$

Avînd în vedere cele de mai sus, impedanța complexă operațională $\bar{Z}_{ss}(p)$ a motorului asincron de categoria II se poate scrie sub forma :

$$(3.118) \quad \bar{Z}_{ss}(p) = \frac{X_2'}{\omega} \frac{(p-p_1)(p-p_2)}{p+r_1}$$

Admițînd, ca și în cazul motoarelor asincrone de categoria I, ipoteza simplificatoare că amortizarea componentei de frecvență redusă a curentului statoric în regimuri tranzitorii este determinată în principal de rezistența R_s a înfășurării statorice, rezultă expresia analitică aproximativă a impedanței complexe operaționale a motoarelor asincrone de categoria II :

$$(3.119) \quad \bar{Z}_{ss}(p) = \frac{X_2'(p)}{\omega} \left\{ p + j\omega(1-s) + a \right\} = \frac{X_2'}{\omega} \frac{(p+b_1)[p+j\omega(1-s)+a]}{p+r_1}$$

Cu ipoteza simplificatoare admisă, rădăcinile p_1 și p_2 ale impedanței $\bar{Z}_{ss}(p)$ pot fi aproximate după cum urmează :

$$(3.120) \quad p_1 = -\delta_1 - j\omega_1 = -\frac{1}{T_1} - j\omega_1 \approx p_1' = -b_1 = -\frac{1}{T_1'} = -\frac{1}{T_1}; \quad p_2 = -\delta_2 - j\omega_2 = -\frac{1}{T_a} - j\omega_2 \approx p_2' = -a - j\omega(1-s) = -\frac{1}{T_{sa}} - j\omega(1-s)$$

ceea ce este echivalent cu a admite că :

$$(3.121) \quad T_1' \approx T_1 = T_2'; \quad T_a \approx T_{sa}; \quad \delta_1 \approx b_1; \quad \delta_2 \approx a; \quad \omega_1 \approx 0; \quad \omega_2 \approx (1-s)\omega$$

3.2.2. Expresia analitică a curentului de scurtcircuit direct debitat de un motor asincron de categoria II în timpul scurtcircuitului trifazat la bornele sale.

Presupunînd că scurtcircuitul trifazat la bornele unui motor asincron de categoria II se produce la momentul $t = 0$ și că tensiunile aplicate fazelor statorice, precum și curenții absorbiți de acestea înainte de scurtcircuit sînt date de relațiile (3.46), (3.47), (3.48) se poate arăta, conform anexei 3.2, că în sistemul de coordonate Park curentul de scurtcircuit \bar{I}_{Bsk} , provenit de la acest motor este :

$$(3.122) \quad \bar{I}_{Bsk} = -\frac{\sqrt{2} U \exp[j(\xi_1 - \pi/2 - \tau_{10})]}{(r_1 - j\omega) \bar{Z}_{ss}'(p_1)} \exp[p_1 t] - \frac{\sqrt{2} U \exp[j(\xi_1 - \pi/2 - \tau_{1\omega})]}{(p_2 - j\omega) \bar{Z}_{ss}'(p_2)} \exp[p_2 t]$$

unde mărimile τ_{10} , ξ_1 , p_1 , p_2 , $\bar{Z}_{ss}'(p_1)$, $\bar{Z}_{ss}'(p_2)$ au aceeași semnificație ca și în

cazul motorului asincron de categoria I. Curentul de scurtcircuit direct al fazei vs este :

$$(3.123) \quad i_{vs} = \sqrt{2} I_a \exp[-t/T_a] \sin\left\{[(1-s)\omega - \omega_2]t + \varepsilon_v - \varphi_a\right\} + \sqrt{2} I' \exp[-t/T'] \sin\left\{[(1-s)\omega - \omega_1]t + \varepsilon_v - \varphi'\right\}.$$

unde cele două componente ale sale vor fi notate după cum urmează :

$$(3.124) \quad i_{vs} = \sqrt{2} I_a \exp[-t/T_a] \sin\left\{[(1-s)\omega - \omega_2]t + \varepsilon_v - \varphi_a\right\}; \quad i'_{vs} = \sqrt{2} I' \exp[-t/T'] \sin\left\{[(1-s)\omega - \omega_1]t + \varepsilon_v - \varphi'\right\}.$$

iar;

$$(3.125) \quad I_a \exp[-j\varphi_a] = -\frac{U}{(p_2 - js\omega) \bar{Z}'_{ss}(p_2)}; \quad I' \exp[-j\varphi'] = -\frac{U}{(p_1 - js\omega) \bar{Z}'_{ss}(p_1)}.$$

Luind în considerare expresia analitică aproximativă (3.119) a impedanței complexe operaționale $\bar{Z}_{ss}(p)$ rezultă următoarea expresie a curentului de scurtcircuit direct al fazei vs :

$$(3.126) \quad i_{vs} = \sqrt{2} I_a \exp[-t/T_{sa}] \sin(\varepsilon_v - \varphi_{sa}) + \sqrt{2} I' \exp[-t/T'_s] \cos\left\{(1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi'_s\right\}$$

unde cele două componente ale sale sînt :

$$(3.127) \quad i_{vs} = \sqrt{2} I_a \exp[-t/T_{sa}] \sin(\varepsilon_v - \varphi_{sa}); \quad i'_{vs} = \sqrt{2} I' \exp[-t/T'_s] \cos\left\{(1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi'_s\right\}.$$

iar mărimile ce intervin în relațiile (3.126), (3.127) au expresiile :

$$(3.128) \quad I_a = \frac{UD_a}{X'_s}; \quad I' = UD' \left(\frac{1}{X'_s} - \frac{1}{X_s} \right); \quad \varphi_{sa} = \varphi_{a1} + \delta_a; \quad D_a = \frac{\omega}{\sqrt{a^2 + \omega^2}} \sqrt{\frac{(1-s)^2 \omega^2 + (\kappa_1 - a)^2}{(1-s)^2 \omega^2 + (l_1 - a)^2}}$$

$$D' = \frac{\omega l_1}{\sqrt{(l_1^2 + s^2 \omega^2)[(1-s)^2 \omega^2 + (l_1 - a)^2]}}; \quad \delta_a = \arctg \frac{\omega}{a}; \quad \varphi_{a1} = \arctg \frac{(1-s)\omega(l_1 - l_1)}{(1-s)^2 \omega^2 + (l_1 - a)(\kappa_1 - a)};$$

$$\varphi'_s = \arctg \frac{s(1-s)\omega^2 - l_1(a - l_1)}{(1-2s)\omega l_1 + s\omega a}.$$

Analiza expresiilor (3.123) și (3.126) ale curentului de scurtcircuit direct a motorului asincron de categoria II conduce la concluzia că acesta conține numai două componente. Prima componentă i_{vs} (relația 3.124) se amortizează cu constanta de timp T_a și are o pulsație unghiulară foarte mică $[(1-s)\omega - \omega_2]$, deoarece $\omega_2 \approx (1-s)\omega$ (a se vedea relația 3.121). În ipoteza considerării expresiei analitice aproximative (3.119) a impedanței $\bar{Z}_{ss}(p)$, componenta i_{vs} rezultă ca o componentă aperiodică amortizată cu constanta de timp T_{sa} . cea de a doua componentă i'_{vs} este periodică cu pulsația unghiulară $[(1-s)\omega - \omega_1]$, amortizată cu constanta de timp T' și denumită componentă tranzitorie. În ipoteza considerării expresiei analitice aproximative (3.119) a impedanței $\bar{Z}_{ss}(p)$, această componentă rezultă ca o componentă periodică de pulsație unghiulară $(1-s)\omega$, deoarece $\omega_1 \approx 0$ (a se vedea relația 3.121) și amortizată cu constanta de timp T'_s .

Analiza relațiilor (3.54) și (3.126) conduce la concluzia că relația (3.126) a curentului de scurtcircuit direct al motorului asincron de categoria II rezultă prin particularizarea relației (3.54) a curentului de scurtcircuit direct al motorului asincron de categoria I, dacă în aceasta din urmă se face $I'' = 0$. Această particularizare este valabilă și în cazul relațiilor (3.58), (3.60), (3.62), (3.63), (3.66) în scopul determinării valorii efective $I_{p''}$ corespunzătoare primei jumătăți de perioadă a componentei periodice, a valorii inițiale $i_{vs}(0)$ a

componentei aperiodice și a curentului de șoc maxim $i_{\text{șoc.M}}$ a motorului asincron de categoria II. Particularizînd în acest fel relațiile amintite rezultă pentru motorul asincron de categoria II :

$$(3.129) \quad I_{po} = I'; \quad (3.130) \quad i_{v\lambda a}(0) = \sqrt{2} I_a \sin(\varepsilon_v - \varphi_{\lambda a}) = \sqrt{2} [I \sin(\varepsilon_v - \varphi) - I' \cos(\varepsilon_v - \varphi')];$$

$$(3.131a) \quad i_{\text{șoc.M}} = \sqrt{2} [I \sin(\varepsilon_M - \varphi) - I' \cos(\varepsilon_M - \varphi')] \exp[-t_M/T_{\lambda a}] + \sqrt{2} I' \exp[-t_M/T_{\lambda a}] \cos\{(1-s)\omega t_M + \varepsilon_M - \varphi'\};$$

$$(3.131b) \quad k_{\text{șoc.M}} = \frac{|i_{\text{șoc.M}}|}{\sqrt{2} I_{po}}; \quad k_{n.M} = \frac{|i_{\text{șoc.M}}|}{\sqrt{2} I_n}$$

unde timpul t_M după care apare curentul de șoc maxim este soluția ecuației :

$$(3.132) \quad b_1 (I')^2 \exp[-2t_M/T_{\lambda a}] + a A \exp[-2t_M/T_{\lambda a}] + A_1 \sqrt{A} I' \cos\{(1-s)\omega t_M + \varphi_1\} \exp[-t_M/T_{\lambda a}] \exp[-t_M/T_{\lambda a}] = 0$$

iar unghiul de conectare ε_M la care trebuie să se producă scurtcircuitul, pentru a apare curentul de șoc maxim este :

$$(3.133) \quad \varepsilon_M = \text{arctg} \left(-\frac{N}{M} \right)$$

unde :

$$(3.134) \quad A = I^2 + (I')^2 + 2II' \sin(\varphi - \varphi'); \quad A_1 = \sqrt{(a+b_1)^2 + \omega^2(1-s)^2}; \quad \varphi_1 = \text{arctg} \frac{I \sin(\varphi_{ab1} + \varphi - \varphi') + I' \cos \varphi_{ab1}}{I \cos(\varphi_{ab1} + \varphi - \varphi') - I' \sin \varphi_{ab1}};$$

$$\varphi_{ab1} = \text{arctg} \frac{a+b_1}{(1-s)\omega}; \quad M = I' \exp[-t_M/T_{\lambda a}] \cos\{(1-s)\omega t_M - \varphi'\} - I \exp[-t_M/T_{\lambda a}] \sin \varphi - I' \exp[-t_M/T_{\lambda a}] \cos \varphi'$$

$$N = I' \exp[-t_M/T_{\lambda a}] \sin\{(1-s)\omega t_M - \varphi'\} - I \exp[-t_M/T_{\lambda a}] \cos \varphi + I' \exp[-t_M/T_{\lambda a}] \sin \varphi'$$

Avînd în vedere relațiile (3.105), din cea de a doua relație (3.129) și din relația (3.106) rezultă :

$$(3.135) \quad X_{\lambda}' = \frac{U \left(1 - \frac{T_{\lambda}'}{T_{\lambda 0}'}\right)}{\frac{I'}{D'}}; \quad X_{\lambda} = \frac{T_{\lambda 0}'}{T_{\lambda}'} \frac{U \left(1 - \frac{T_{\lambda}'}{T_{\lambda 0}'}\right)}{\frac{I'}{D'}}$$

Relațiile (3.135) permit determinarea reactanțelor motorului asincron de categoria II, dacă sînt determinate experimental mărimile T_{λ}' , $T_{\lambda 0}'$, I' , D' .

3.2.3. Expresia analitică a tensiunii reziduale de la bornele unui motor asincron de categoria II.

Presupunînd că deconectarea de la rețea a motorului asincron de categoria II se face la momentul $t = 0$ și că înainte de deconectare motorul funcționează în regim staționar cu alunecarea s , avînd tensiunile la borne date de (3.46) și curenții absorbiți de (3.72), se poate arăta în mod similar ca pentru motorul asincron de categoria I (a se vedea anexa 3.5) că expresia tensiunilor reziduale ale fazelor v_s ($v = 1, 2, 3$) este:

$$(3.136) \quad u_{v\lambda}^{(R)} = \sqrt{2} U_0 \exp[-t/T_{\lambda 0}'] \cos\left[t\sqrt{\omega_0^2 - (\alpha/2)^2} - \varphi_0\right] + \sqrt{2} U_0' \exp[-t/T_{\lambda 0}'] \sin\left[(1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_t - \varphi'\right].$$

unde cele două componente ale sale vor fi :

$$(3.137) \quad u_{v\lambda 0}' = \sqrt{2} U_0 \exp[-t/T_{\lambda 0}'] \cos\left[t\sqrt{\omega_0^2 - (\alpha/2)^2} - \varphi_0\right]; \quad u_{v\lambda}' = \sqrt{2} U_0' \exp[-t/T_{\lambda 0}'] \sin\left[(1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_t - \varphi'\right].$$

iar mărimile ce intervin în (3.136), (3.137) sînt date de relațiile :

$$(3.133) \quad U_0 = UR_0; \quad U' = UR'; \quad T_{s0} = \frac{2X'_s}{\omega R_s}; \quad R_0 = \frac{X'_s \omega_0 \cos \theta_{\beta 1} \sin(\varepsilon_v - \varphi_t)}{Z_{sc}(j\omega) \omega \cos \alpha \cos \theta_{\beta 1}}; \quad R'_1 = \frac{\lambda'_s \omega_0^2 (l_1 - r_1) \cos \delta_{\beta 1} \cos \mu_{\beta 1}}{Z_{sc}(j\omega) \omega \mu_{\beta 1} (a - 2r_1) \cos \varphi_{\beta 1}};$$

$$\beta_0 = 2\alpha + \theta_{\beta 1} - \theta_{\beta 1} - \frac{\pi}{2}; \quad \beta' = \delta_{\beta 1} + \mu_{\beta 1} - \varphi_{\beta 1}; \quad \alpha = \arctg \frac{a}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}}; \quad \theta_{\beta 1} = \arctg \frac{a - 2r_1}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}};$$

$$\theta_{\beta 1} = \arctg \frac{a - 2l_1}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}}; \quad \delta_{\beta 1} = \arctg \frac{s\omega}{r_1}; \quad \mu_{\beta 1} = \arctg \frac{c_1^2 - ar_1 + \omega_0^2 - \omega^2(1-s)^2}{\omega(1-s)(2c_1 - a)}; \quad \varphi_{\beta 1} = \arctg \frac{c_1 - a}{\omega(1-s)}; \quad \omega_0 = 2\pi f_0 = \sqrt{\frac{\omega}{CX'_s}}.$$

Analiza expresiei (3.136) a tensiunii reziduale de la bornele unui motor asincron de categoria II conduce la concluzia că aceasta are două componente: prima componentă u_{vs0} este periodică de frecvență înaltă $(1/2\pi)\sqrt{\omega_0^2 - (a/2)^2}$ și amortizată cu constanta de timp T_{s0} , iar cea de a doua componentă u'_{vs} numită tranzitorie, este periodică de frecvență $(1-s)f$, unde f este frecvența tensiunii de alimentare dinainte de deconectare, și amortizată cu constanta de timp T'_{s0} .

Prelucrarea oscilogramelor tensiunii reziduale a unui motor asincron de categoria II în conformitate cu expresia (3.136) va permite determinarea experimentală a constantei de timp T'_{s0} și a tensiunii U' .

3.2.4. Expresia analitică a curentului de scurtcircuit indirect al unui motor asincron de categoria II.

Dacă proba de scurtcircuit indirect a unui motor asincron de categoria II se efectuează după aceeași metodă ca și pentru motorul asincron de categoria I (a se vedea cap.3.1.4), atunci tensiunea reziduală la bornele motorului de categoria II va conține practic în momentul producerii scurtcircuitului indirect (a închiderii întreruptorului I_2 din fig.3.3) numai componenta u'_{vs} , amortizată cu constanta de timp T'_{s0} și a cărei expresie este dată de relația (3.137), deoarece componenta u_{vs0} a tensiunii reziduale se amortizează complet pînă în momentul producerii scurtcircuitului indirect. Din punct de vedere al formei, relația (3.137) a componentei u'_{vs} pentru motoarele de categoria II coincide cu relația (3.80), valabilă pentru motoarele de categoria I. Diferențe între cele două relații apar numai în ceea ce privește modul de calcul a mărimilor care intervin în ele și a semnificației acestor mărimi (a se vedea relațiile (3.79) pentru motoarele asincrone de categoria I, respectiv (3.138) pentru cele de categoria II)

Se poate arăta în mod similar ca pentru motorul asincron de categoria I (a se vedea anexa 3.6), că expresia analitică a curentului de scurtcircuit indirect al fazelor v_s ($v = 1, 2, 3$) a unui motor asincron de categoria II este :

$$(3.139) \quad i_{vAQ} = \sqrt{2} I_{AQ} \exp[-\tau/T_{AQ}] \sin(\varepsilon_v - \varepsilon_0 - \varphi_{AQ}) + \sqrt{2} I'_Q \exp[-\tau/T'_Q] \cos\{(1-s)\omega\tau + \varepsilon_v + \varepsilon_0 - \varphi'_{AQ}\}.$$

unde originea timpului τ se consideră momentul producerii scurtcircuitului indirect, iar mărimile din relația (3.139) sînt date de :

$$(3.140) \quad I_{AQ} = \frac{U'_0 Q_A}{X'_s}; \quad I'_Q = \frac{U'_0 Q'_1}{X'_s}; \quad \varphi_{AQ} = \frac{\pi}{2} + \varphi_t + \beta' + \varphi_{\beta 1}; \quad \varphi'_{AQ} = \varphi_t + \beta' + \varphi_{\beta 1};$$

$$\varphi_{\beta 1} = \arctg \frac{l_1 - a}{\omega(1-s)}; \quad \lambda'_s = Q'_1 = \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2(1-s)^2 + (l_1 - a)^2}}; \quad U'_0 = U' \exp[-t_0/T'_{s0}]; \quad \varepsilon_0 = (1-s)\omega t_0.$$

t_0 fiind intervalul de timp între momentul deconectării motorului de la sursă și momentul producerii scurtcircuitului la borne, iar ψ' și φ' sînt dați de relația (3.138).

Prelucrarea oscilogramelor curentului de scurtcircuit indirect al motorului asincron de categoria II conform expresiei (3.139), permite determinarea experimentală a constantelor de timp T_{sa} , T'_s , precum și a curentului I'_Q , iar relațiile (3.140), (3.106) permit determinarea reactanțelor X'_s și X_s :

$$(3.141) \quad X'_s = \frac{U_0' Q'}{I'_Q}; \quad X_s = \frac{T'_{s0}}{T'_s} X'_s$$

3.2.5. Determinarea parametrilor din schema echivalentă corespunzătoare modelului MA-1C-DCR-UR (fig.2.8) a unui motor asincron de categoria II, în funcție de parametrii săi tranzitorii.

Prelucrarea oscilogramelor curenților de scurtcircuit și a tensiunilor reziduale a motoarelor asincrone de categoria II permite determinarea experimentală a parametrilor tranzitorii T'_s , T_{sa} , T'_{s0} , X'_s , X_s ai motoarelor respective. Avînd în vedere relațiile (3.105), (3.106) de definiție a acestor parametri, rezultă conform anexei 3.7, următoarele relații pentru determinarea parametrilor în U.R. din schema echivalentă corespunzătoare modelului MA-1C-DCR-UR a motorului asincron de categoria II:

$$(3.142) \quad x_m = \frac{2(t'_{s0}-t'_s)(x_s-x'_s) + \sqrt{(2t'_{s0}-t'_s)(x_s-x'_s)^2 - 4(t'_{s0}-t'_s)x_s(x_s-x'_s)'}}{2(t'_{s0}-t'_s)}; \quad (3.143) \quad x_{sr} = x_s - x_m$$

$$(3.144) \quad x_{sr} = \frac{t'_{s0} x_m - (t'_{s0} - t'_s) x_s}{t'_{s0} - t'_s}; \quad (3.145) \quad r_s = \frac{x'_s}{t'_{sa}}; \quad (3.146) \quad r_1 = \frac{(2t'_{s0}-t'_s)x_m - (t'_{s0}-t'_s)x_s}{t'_{s0}(t'_{s0}-t'_s)}$$

3.2.6. Determinarea caracteristicii de frecvență a motoarelor asincrone de categoria II în funcție de parametrii lor tranzitorii.

Caracteristica de frecvență $g = f(b)$ în u.r. a unui motor asincron de categoria II se obține avînd în vedere că între g și b există următoarea relație de legătură:

$$(3.147) \quad b + jg = \frac{j}{j x_s(j\omega) + r_s};$$

Conform anexei-3.8, mărimile b și g sînt funcții de alunecarea s a motorului, avînd expresiile:

$$(3.148) \quad b = \frac{1}{x'_s} \frac{\Lambda(s)}{[\Gamma(s)]^2 + [\Lambda(s)]^2}; \quad (3.149) \quad g = \frac{1}{x'_s} \frac{\Gamma(s)}{[\Gamma(s)]^2 + [\Lambda(s)]^2}$$

unde funcțiile $\Gamma(s)$ și $\Lambda(s)$ au expresiile:

$$(3.150) \quad \Gamma(s) = \frac{t'_{s0}}{t'_s} \frac{s(t'_{s0}-t'_s)}{1+(t'_{s0})^2} + \frac{1}{t'_{sa}}; \quad \Lambda(s) = \frac{t'_{s0}}{t'_s} \frac{1+s^2 t'_{s0} t'_s}{1+s^2 (t'_{s0})^2}$$

Capitolul 4
INCERCĂRI EXPERIMENTALE

4.1. Încercări experimentale cu motoare asincrone de categoria I .

Pentru verificarea valabilității studiului teoretic întreprins în cap.3.1 au fost efectuate încercări de scurtcircuit trifazat direct, încercări de deconectare și încercări de scurtcircuit trifazat indirect pentru o serie de motoare asincrone de categoria I. Încercările au fost efectuate conform schemei din fig.3.3. Încercarea de deconectare s-a realizat prin declanșarea întreruptorului I_1 și oscilografiera tensiunii la bornele motorului; încercarea de scurtcircuit direct prin anclanșarea întreruptorului I_2 (întreruptorul I_1 și întreruptorul I_3 fiind închise) și oscilografiera curenților motorului; încercarea de scurtcircuit indirect prin declanșarea întreruptorului I_1 , urmată de anclanșarea rapidă a întreruptorului I_2 și oscilografiera curenților motorului.

Toate motoarele supuse încercărilor au funcționat în gol înainte de execuția încercării respective. Pentru a exclude posibilitatea de apariție a unor erori întâmplătoare, încercările au fost repetate de mai multe ori în aceleași condiții. În felul acesta au fost obținute și unghiuri de conectare, respectiv de deconectare de valori diferite.

4.1.1. Metoda propusă pentru prelucrarea oscilogramelor curenților de scurtcircuit și ale tensiunilor reziduale ale motoarelor asincrone de categoria I.

Similitudinea perfectă între expresia analitică (3.54) a curenților de scurtcircuit direct și expresia (3.82) a curenților de scurtcircuit indirect dă posibilitatea ca atât oscilogramele curenților

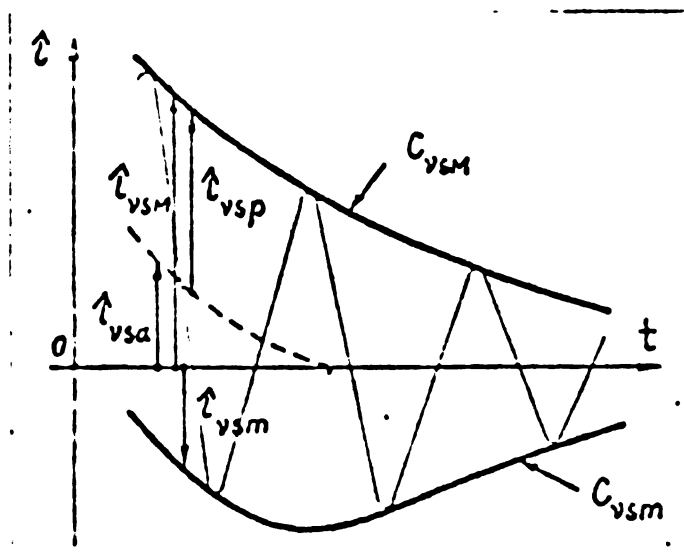


Fig. 41. Separarea componentelor curenților de scurtcircuit proveniți de la motorul asincron de categoria I.

de scurtcircuit direct cât și cele ale curenților de scurtcircuit indirect să fie prelucrate după aceeași metodă.

Numai dacă relațiile analitice (3.54), respectiv (3.82), găsite pe cale teoretică pentru curenții de scurtcircuit proveniți de la un motor asincron de categoria I, reflectă corect realitatea, numai atunci oscilogramele experimentale obținute pentru curenții de scurtcircuit pot fi prelucrate în concordanță cu aceste relații. Cu alte cuvinte, numai dacă curba reală oscilografiată a curenților de scurtcircuit conține cele trei componente și numai dacă expresiile analitice ale acestor componente sînt date de relațiile (3.54), respec-

fiată a curenților de scurtcircuit conține cele trei componente și numai dacă expresiile analitice ale acestor componente sînt date de relațiile (3.54), respec-

tiv (3.82), numai atunci aceste componente se vor putea separa din curba reală și se vor putea determina constantele lor de timp T_{sa}^i, T_s^i, T_s^x .

În cele ce urmează se va prezenta metoda de prelucrare a oscilogramelor curenților de scurtcircuit direct, cu observația că ea este valabilă și pentru prelucrarea oscilogramelor curenților de scurtcircuit indirect. De asemenea se va prezenta metoda de prelucrare a oscilogramelor tensiunii reziduale.

Dacă curba reală oscilografiată a curentului de scurtcircuit conține componentele date de relația (3.54), atunci separarea acestora se poate face trasînd pe oscilogramă curba înfășurătoare superioară C_{vsm} și curba înfășurătoare inferioară C_{vsm} a curentului de scurtcircuit al fazei v_s (fig.4.1) și aplicînd pentru separare relațiile :

$$(4.1) \quad \hat{i}_{vsa} = \frac{\hat{i}_{vsm} + \hat{i}_{vsm}}{2}; \quad \hat{i}_{vsp} = \frac{\hat{i}_{vsm} - \hat{i}_{vsm}}{2}; \quad v=1, 2, 3$$

unde semnificația mărimilor $i_{vsm}, i_{vsm}, i_{vsa}, i_{vsp}$ rezultă din fig.4.1. Acestor mărimi li se atribuie semnul plus, dacă sînt deasupra axei timpului și semnul minus, dacă sînt sub axa timpului.

Mărimea i_{vsa} , care poate fi pozitivă sau negativă, reprezintă componenta aperiodică a curentului de scurtcircuit al fazei v_s , fiind dată de cea de a doua din relațiile (3.55) și deci :

$$(4.2) \quad \hat{i}_{vsa} = i_{vsa} = f_{vsa}(t)$$

Mărimea i_{vsp} , care este întotdeauna pozitivă, reprezintă valoarea momentană maximă a componentei periodice a curentului de scurtcircuit al fazei v_s , adică funcția $i_{vsp} = i_{vsp}(t)$ reprezintă înfășurătoarea superioară a componentei periodice a curentului de scurtcircuit al fazei v_s și avînd în vedere prima dintre relațiile (3.55) se va putea scrie :

$$(4.3) \quad \hat{i}_{vsp} = \hat{i}_{va}^I + \hat{i}_{va}^{II}$$

unde i_{va}^I este înfășurătoarea superioară a componentei periodice tranzitorii, iar i_{va}^{II} este înfășurătoarea superioară a componentei periodice supratranzitorii.

Avînd în vedere considerentele de mai sus, pentru prelucrarea oscilogramelor curenților de scurtcircuit obținute experimental se va folosi o metodă ce constă în următoarele etape :

1) Drept moment inițial $t = 0$ se consideră momentul producerii scurtcircuitului.

2) Cunoscînd viteza de oscilografiere (v [m/s]) se stabilește scara timpului $SCT = 1/v$ [ms/mm], unde v se introduce în [m/s].

3) Se împarte axa timpului în intervale egale Δx [mm] și rezultă mărimea intervalului de timp $\Delta t = \Delta x \cdot SCT$ [ms], obținîndu-se astfel marcajul de timp.

4) Se măsoară la sfîrșitul fiecărui interval mărimile i_{vsm} și i_{vsm} în [mm], cărorora li se atribuie semnul (+) sau (-), conform convenției de semn stabilite anterior.

5) Cu relația (4.1) se calculează la sfîrșitul fiecărui interval de timp Δt mărimile i_{vsa} [mm] și cunoscînd constanta de etalonare CE , se determină la sfîrșit

tul fiecărui interval Δt mărimile $i_{vsa} [A]$:

$$(4.4) \quad \hat{i}_{vsa} [A] = \hat{i}_{vsa} [mm] \cdot CE [A/mm]$$

În felul acesta sînt cunoscute valorile funcțiilor $i_{vsa} = i_{vsa} = f_{vsa}(t)$ la sfîrșitul fiecărui interval de timp Δt .

6) Funcțiile $i_{vsa} = i_{vsa} = f_{vsa}(t)$, pentru $v = 1, 2, 3$, se reprezintă în sistemul de coordonate semilogaritmice. În acest sistem de coordonate pe axa timpului se vor folosi ordonate liniare, proporționale cu valorile timpului, iar pe axa curentului ordonate proporționale cu logaritmi naturali ai valorilor curentului. Numai dacă toate cele trei funcții $i_{vsa} = i_{vsa} = f_{vsa}(t)$ ($v = 1, 2, 3$) sînt funcții exponențiale amortizate cu aceeași constantă de timp

T_{sa} și numai dacă expresia lor analitică este dată de cea de a doua dintre relațiile (3.55), numai atunci în sistemul de coordonate semilogaritmice aceste funcții vor fi reprezentate prin drepte (fig. 4.2.a).

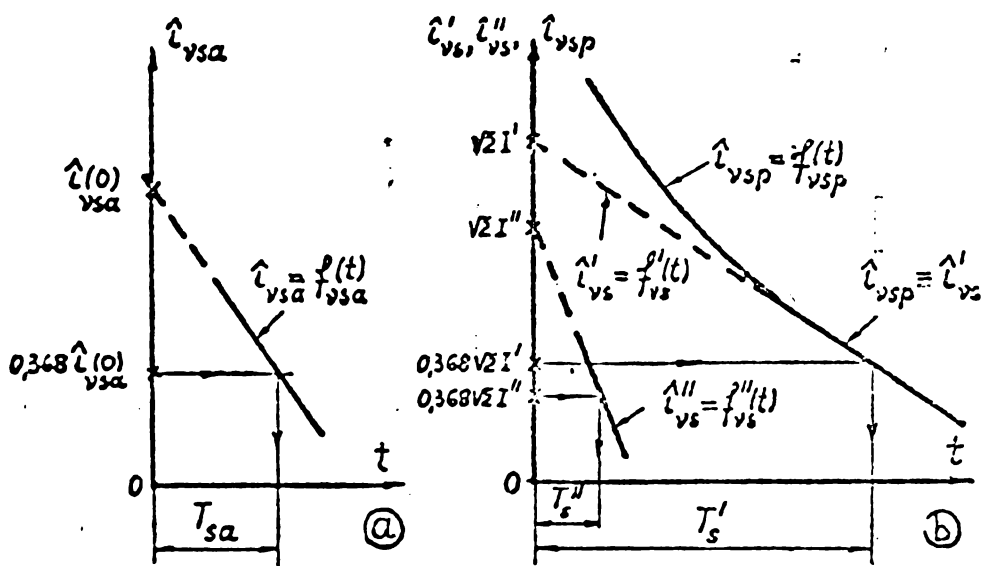


Fig. 4.2. Reprezentarea componentelor curentului de scurtcircuit provenit de la motorul asincron de colector I în axe semilogaritmice.

7) Deoarece pe oscilogramă nu se pot determina

valorile funcțiilor $i_{vsa} = i_{vsa} = f_{vsa}(t)$ în apropierea originii axei timpului, aceste valori se vor determina numai din momentul din care este posibilă determinarea lor. Dacă funcțiile $i_{vsa} = i_{vsa} = f_{vsa}(t)$ sînt drepte în sistemul de coordonate semilogaritmice, cu alte cuvinte dacă expresia lor analitică este dată de cea de a doua dintre relațiile (3.55), atunci prelungind aceste drepte pînă intersectează axa verticală a curentului, punctele de intersecție vor reprezenta valorile inițiale $i_{vsa}(0) = i_{vsa}(0)$ ($v = 1, 2, 3$) ale componentelor aperiodice la momentul $t = 0$ (fig. 4.2.a) și conform relației (3.60) aceste valori sînt :

$$(4.5) \quad \hat{i}_{vsa}(0) = i_{vsa}(0) = \sqrt{2} I_a \sin(\varepsilon_v - \varphi_{h2}); \quad v = 1, 2, 3.$$

8) În caz că sînt îndeplinite condițiile de la punctul 6), se va putea scrie conform expresiei analitice (3.55) a lui i_{vsa} :

$$(4.6) \quad i_{vsa}(T_{sa}) = \frac{1}{e} i_{vsa}(0) \approx 0,368 i_{vsa}(0); \quad v = 1, 2, 3.$$

Rezultă că T_{sa} , constanta de timp a componentelor aperiodice ale fazelor 1s, 2s, 3c se poate determina ducînd o orizontală la înălțimea $0,368 i_{vsa}(0)$ față de axa timpului și proiectînd pe axa timpului punctul de intersecție al acestei orizontale cu dreapta $i_{vsa} = i_{vsa} = f_{vsa}(t)$ (fig. 4.2.a).

În caz că una din funcțiile $i_{vsa} = i_{vsa} = f_{vsa}(t)$ are valori negative, pentru funcția respectivă se vor reprezenta în sistemul de coordonate semilogaritmice valorile sale absolute, toate considerentele de la punctele 5), 6), 7), 8), rămînd

valabile pentru valorile absolute.

9) Cu relația (4.1) se calculează la sfârșitul fiecărui interval de timp Δt mărimile $i_{\nu sp} [\text{mm}]$ și cunoscând constanta de etalonare CE se determină la sfârșitul fiecărui interval Δt mărimile $i_{\nu sp} [A]$:

$$(4.7) \quad \hat{i}_{\nu sp} [A] = \hat{i}_{\nu sp} [\text{mm}] \cdot CE [A/\text{mm}] ; \quad \nu = 1, 2, 3.$$

10) Funcțiile $i_{\nu sp} = f_{\nu sp}(t)$ ($\nu = 1, 2, 3$) se reprezintă în sistemul de coordonate semilogaritmice (fig.4.2.b). Deoarece componenta periodică $i_{\nu sp}$ a curentului de scurtcircuit al fazei νs nu este o simplă funcție periodică amortizată exponențial, funcțiile $i_{\nu sp} = f_{\nu sp}(t)$ nu mai sînt drepte în sistemul de coordonate semilogaritmice. Dacă însă componenta periodică a curentului fazei νs se poate exprima analitic ca suma a două componente armonice amortizate exponențial cu constante de timp foarte diferite și dacă expresiile analitice ale celor două componente sînt date de cea de a treia și cea de a patra dintre relațiile (3.55), atunci cele două componente se pot separa grafic în sistemul de coordonate semilogaritmice.

Dacă această condiție este îndeplinită de curba reală a curentului de scurtcircuit, obținută experimental în oscilogramă, atunci înfășurătoarea $i_{\nu sp}$ a componentei periodice a curentului de scurtcircuit al fazei νs este dată de relația (4.3), adică este suma dintre înfășurătoarea $\hat{i}'_{\nu s}$ (amortizată exponențial cu constanta de timp T'_s) a componentei periodice tranzitorii și înfășurătoarea $\hat{i}''_{\nu s}$ (amortizată exponențial cu constanta de timp T''_s) a componentei periodice supratranzitorii. Dacă $T'_s \gg T''_s$, atunci componenta periodică supratranzitorie se amortizează mult mai rapid decît cea tranzitorie, ceea ce practic înseamnă că după un anumit timp componenta periodică supratranzitorie va fi complet amortizată în raport cu cea tranzitorie. Acest lucru face ca după un anumit timp curbele $i_{\nu sp} = f_{\nu sp}(t)$ să se confunde cu curbele $\hat{i}'_{\nu s} = f'_{\nu s}(t)$. Dacă componentele $\hat{i}'_{\nu s}$ sînt funcții armonice amortizate exponențial cu aceeași constantă de timp T'_s , atunci înfășurătorile acestora $\hat{i}'_{\nu s} = f'_{\nu s}(t)$ sînt drepte în sistemul de coordonate semilogaritmice. Cu alte cuvinte, dacă sînt respectate condițiile amintite mai sus, de la o anumită valoare a timpului curbele $i_{\nu sp} = f_{\nu sp}(t)$ devin drepte în sistemul de axe semilogaritmice, iar porțiunea lor dreaptă reprezintă componenta periodică tranzitorie $\hat{i}'_{\nu s} = f'_{\nu s}(t)$. Prelungind această porțiune dreaptă pînă la intersecția cu axa verticală a curentului se obțin dreptele $\hat{i}'_{\nu s} = f'_{\nu s}(t)$ în tot domeniul timpului (fig 4.2.b)

11) Făcînd diferența între $i_{\nu sp}$ și $\hat{i}'_{\nu s}$, rezultă $\hat{i}''_{\nu s}$:

$$(4.8) \quad \hat{i}''_{\nu s} = \hat{i}_{\nu sp} - \hat{i}'_{\nu s} = f''_{\nu s}(t) ; \quad \nu = 1, 2, 3.$$

Dacă și funcțiile $\hat{i}''_{\nu s}$ sînt tot funcții armonice amortizate exponențial cu aceeași constantă de timp T''_s , atunci în sistemul de coordonate semilogaritmice ele sînt de asemenea drepte.

12) Dacă componentele periodice $i_{\nu sp}$ ale curentilor de scurtcircuit obținuți experimental pe cele trei faze 1s, 2s, 3s pot fi exprimate într-adevăr prin suma dintre $\hat{i}'_{\nu s}$ și $\hat{i}''_{\nu s}$, ale căror expresii analitice sînt date de a treia și a patra

dintre relațiile (3.55) și în plus sînt îndeplinite toate condițiile de la punctul 10), atunci cele trei înfășurători i_{vsp} ($v = 1, 2, 3$) ale componentelor periodice a curenților celor trei faze vor coincide, adică :

$$(4.9) \quad \hat{i}_{1p} \equiv \hat{i}_{2p} \equiv \hat{i}_{3p} \equiv \hat{i}_{\lambda p} = f_{\lambda p}(t)$$

de unde rezultă că în sistemul de coordonate semilogaritmice vor coincide și dreptele i'_{vs} , respectiv dreptele i''_{vs} , adică :

$$(4.10) \quad \hat{i}'_{1s} \equiv \hat{i}'_{2s} \equiv \hat{i}'_{3s} \equiv \hat{i}'_{\lambda s} = f'_{\lambda s}(t); \quad \hat{i}''_{1s} \equiv \hat{i}''_{2s} \equiv \hat{i}''_{3s} \equiv \hat{i}''_{\lambda s} = f''_{\lambda s}(t) = \hat{i}''_{\lambda s}$$

13) Dacă sînt îndeplinite toate condițiile de la punctele 10) și 12), prelungind porțiunea dreaptă a curbei $i_{sp} = f_{sp}(t)$, care coincide cu dreapta $i'_s = f'_s(t)$, pînă la intersecția cu axa verticală a curențului, ordonata punctului de intersecție reprezintă valoarea $\sqrt{2} I'$.

14) Ducînd o orizontală la înălțimea $0,368 \cdot \sqrt{2} I'$ față de axa timpului și proiectînd pe axa timpului punctul de intersecție al acestei orizontale cu dreapta $i'_s = f'_s(t)$, rezultă constanta de timp T'_s (fig.4.2.b).

15) Se reprezintă în sistemul de coordonate semilogaritmice funcția $i''_s = f''_s(t) = i_{sp} - i'_s$ și dacă sînt îndeplinite toate condițiile de la punctele 10), 11), 12), aceasta este o dreaptă, care dacă se prelungește pînă intersectează axa verticală a curențului, ordonata punctului de intersecție reprezintă valoarea $\sqrt{2} I''$ (fig. 4.2.b).

16) Ducînd o orizontală la înălțimea $0,368 \cdot \sqrt{2} I''$ față de axa timpului și proiectînd pe axa timpului punctul de intersecție al acestei orizontale cu dreapta $i''_s = f''_s(t)$, rezultă constanta de timp T''_s (fig.4.2.b).

17) Cunoscînd valorile $\sqrt{2} I'$ și $\sqrt{2} I''$ se determină valoarea amplitudinii componente periodice i_{sp0} , corespunzătoare primei perioade :

$$(4.11) \quad \hat{i}_{\lambda p0} = \sqrt{2} I_{p0} = \sqrt{2} (I' + I'')$$

unde I_{p0} este valoarea efectivă corespunzătoare primei jumătăți de perioadă a componente periodice.

18) Se măsoară pe oscilogramă cele trei valori momentane maxime ale curențului de scurtcircuit de pe cele trei faze 1s, 2s, 3s. Cea mai mare dintre ele reprezintă curențul de șoc $i_{soc} [mm]$. Cunoscînd constanta de etalonare CE, rezultă curențul de șoc în [A] :

$$(4.12) \quad i_{soc} [A] = i_{soc} [mm] \cdot CE [A/mm]$$

19) Se calculează coeficientul de șoc k_{soc} , coeficientul k_n de multiplicare al curențului de șoc față de curențul nominal și coeficientul $k_{0,1}$ de multiplicare al componente periodice a curențului de scurtcircuit la momentul $t = 0,1 [s]$ față de curențul nominal :

$$(4.13) \quad k_{soc} = \frac{|i_{soc}|}{\sqrt{2} I_{p0}}; \quad k_n = \frac{|i_{soc}|}{\sqrt{2} I_n}; \quad k_{0,1} = \frac{\hat{i}_{\lambda p}(0,1)}{\sqrt{2} I_n}$$

unde $i_{sp}(0,1)$ este valoarea măsurată la $t = 0,1 [s]$ a funcției $i_{sp} = f_{sp}(t)$.

Oscilogrammele experimentale ale tensiunii reziduale ale motorului asincron cu

două colivii rotorice pot fi prelucrate în concordanță cu relația analitică (3.77), găsită pe cale teoretică pentru tensiunea reziduală, numai dacă această relație reflectă corect realitatea. Și în cazul oscilogramelor tensiunii reziduale se trasează curba înfășurătoare superioară și inferioară a tensiunii reziduale a fazei v_s . Față de metoda de prelucrare a oscilogramelor curenților de scurtcircuit stabilită mai sus, în cazul oscilogramelor tensiunii reziduale se pot face următoarele precizări :

Din analiza oscilogramelor experimentale ale tensiunilor reziduale rezultă că întrădeavăr apare componenta de frecvență înaltă $u_{v_{s0}}$, dar că amortizarea completă a acestei componente se produce într-un interval de timp de ordinul a $\frac{1}{4}$ pînă la $\frac{1}{2}$ perioade a tensiunii inițiale de alimentare. De aici rezultă că înfășurătoarea \hat{u}_{v_s} a tensiunii reziduale nu este influențată esențial de existența componentei de frecvență înaltă, ea suprapunându-se după un timp foarte scurt peste înfășurătoare $\hat{u}_{v_{sp}}$ a sumei celorlalte două componente. Acest lucru permite separarea imediată a componentei de frecvență înaltă $\hat{u}_{v_{s0}}$ față de suma $\hat{u}_{v_{sp}}$ a celorlalte două componente, prin trasarea înfășurătorii \hat{u}_{v_s} numai din momentul cînd componenta de frecvență înaltă este complet amortizată și prin prelungirea acestei înfășurătorii pînă la intersecția cu axa verticală. Curba astfel obținută este înfășurătoarea $\hat{u}_{v_{sp}}$ a sumei celorlalte două componente u'_{v_s} și u''_{v_s} , care au frecvența $(1 - s) f$.

Numerai dacă $u_{v_{sp}}$ este întrădeavăr suma a două funcții armonice, amortizate exponențial cu constante de timp foarte diferite, ale căror expresii analitice sînt date de termenul al doilea și al treilea din relația (3.77), numai atunci cele două componente armonice se pot separa grafic, folosind reprezentarea în sistemul de coordonate semilogaritmice. Dacă această condiție este îndeplinită, înfășurătoarea $\hat{u}_{v_{sp}}$ este suma dintre înfășurătoarea \hat{u}'_{v_s} , amortizată exponențial cu constanta de timp T'_{s0} și înfășurătoarea $\hat{u}''_{v_{s0}}$, amortizată exponențial cu constanta de timp T''_{s0} . În acest caz, sînt deasemenea îndeplinite toate condițiile de la punctele 10), 11), 12) ale metodei de prelucrare prezentate anterior, aplicate însă înfășurătorilor $\hat{u}_{v_{sp}}$, \hat{u}'_{v_s} , \hat{u}''_{v_s} , și ca urmare metoda respectivă, stabilită pentru prelucrarea oscilogramelor curenților de scurtcircuit, este valabilă și pentru prelucrarea oscilogramelor tensiunii reziduale. Procedînd deci similar ca și în cazul oscilogramelor curenților de scurtcircuit, se pot determina constantele de timp T''_{s0} , T'_{s0} și mărimile $\sqrt{2}U'$, $\sqrt{2}U''$.

4.1.2. Incercări experimentale cu motoare asincrone cu două colivii rotorice.

4.1.2.1. Incercări de scurtcircuit direct și de deconectare și rezultatele experimentale obținute în urma acestora.

Au fost efectuate încercări de scurtcircuit direct și de deconectare pentru motoarele asincrone cu două colivii rotorice ale căror caracteristici de catalog sînt indicate în tabelul 4.1. La încercarea de scurtcircuit direct au fost oscilografiate curenții tuturor fazelor, iar la încercarea de deconectare tensiunea

nei faze. In fig.4.3 este prezentat un exemplu de oscilogramă, obținută în urma unei încercări de scurtcircuit direct, iar în fig.4.4 și 4.5 exemple de oscilogramme ale tensiunilor reziduale, rezultate în urma încercărilor de deconectare.

Oscilogrammele obținute experimental pentru curenții de scurtcircuit direct și tensiunile reziduale ale motoarelor asincrone cu două colivii rotorice supuse încercărilor au fost prelucrate conform metodei prezentate în cap.4.1.1. Astfel a fost efectuată separarea componentelor curenților de scurtcircuit obținuți experimental în oscilograma din fig.4.3, iar în diagramele din fig.4.6 și 4.7 au fost determinate constantele de timp T_{sa} , T'_s , T''_s , precum și mărimile $\sqrt{2}I'$, $\sqrt{2}I''$, $i_{2sa}(0)$. Componenta aperiodică a fost separată și reprezentată în sistemul de coordonate

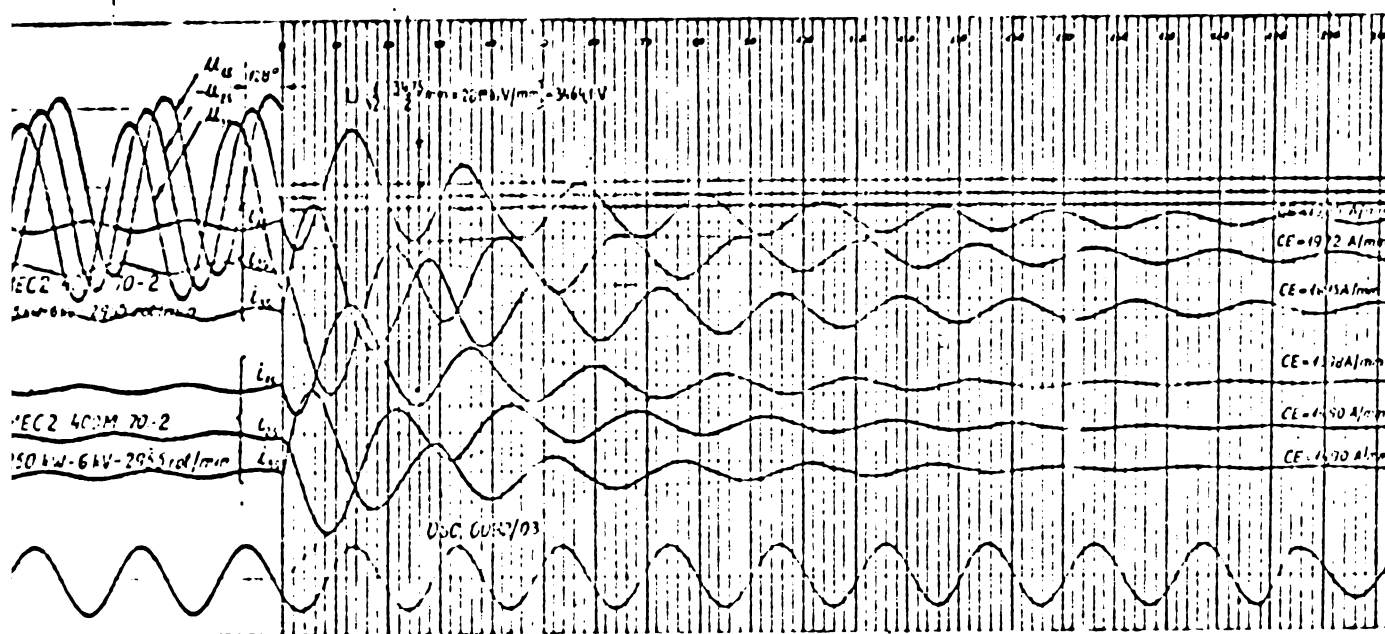


Fig.4.3 Oscilogramă a curenților debiți de motoare asincrone cu două colivii rotorice spre locul de scurtcircuit, cînd scurtcircuitul are loc la bornele lor (scurtcircuit direct).

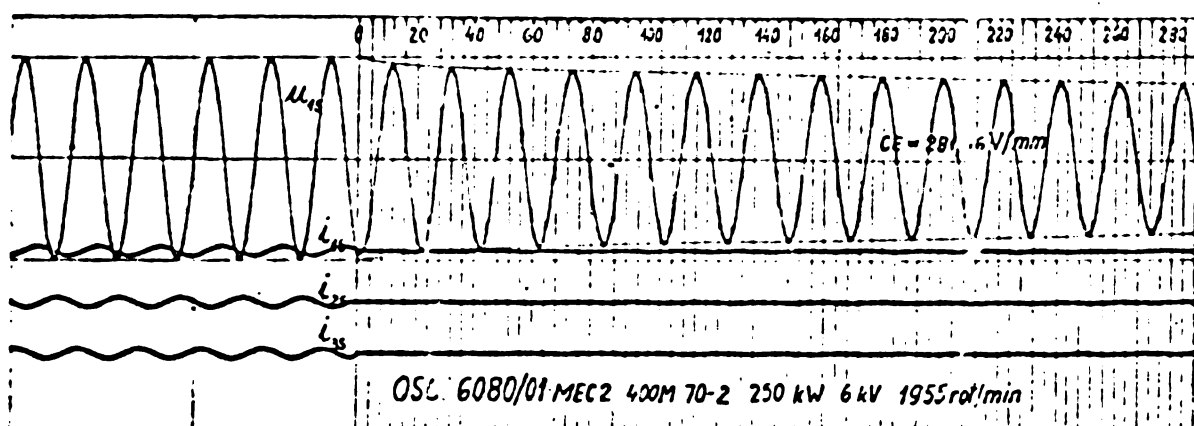


Fig.4.4 Oscilogramă a tensiunii reziduale a motorului asincron cu două colivii rotorice MEC2 400M 70-2 250kW 6kV

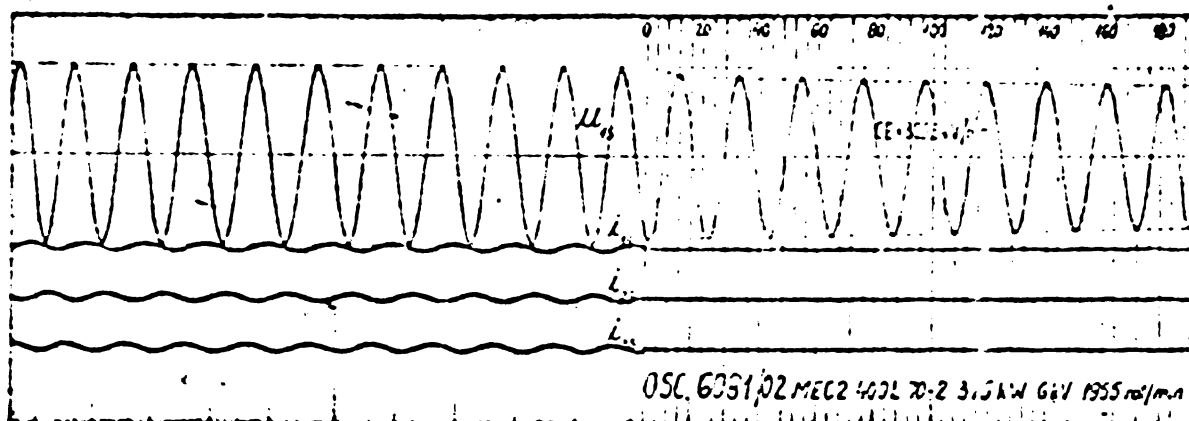
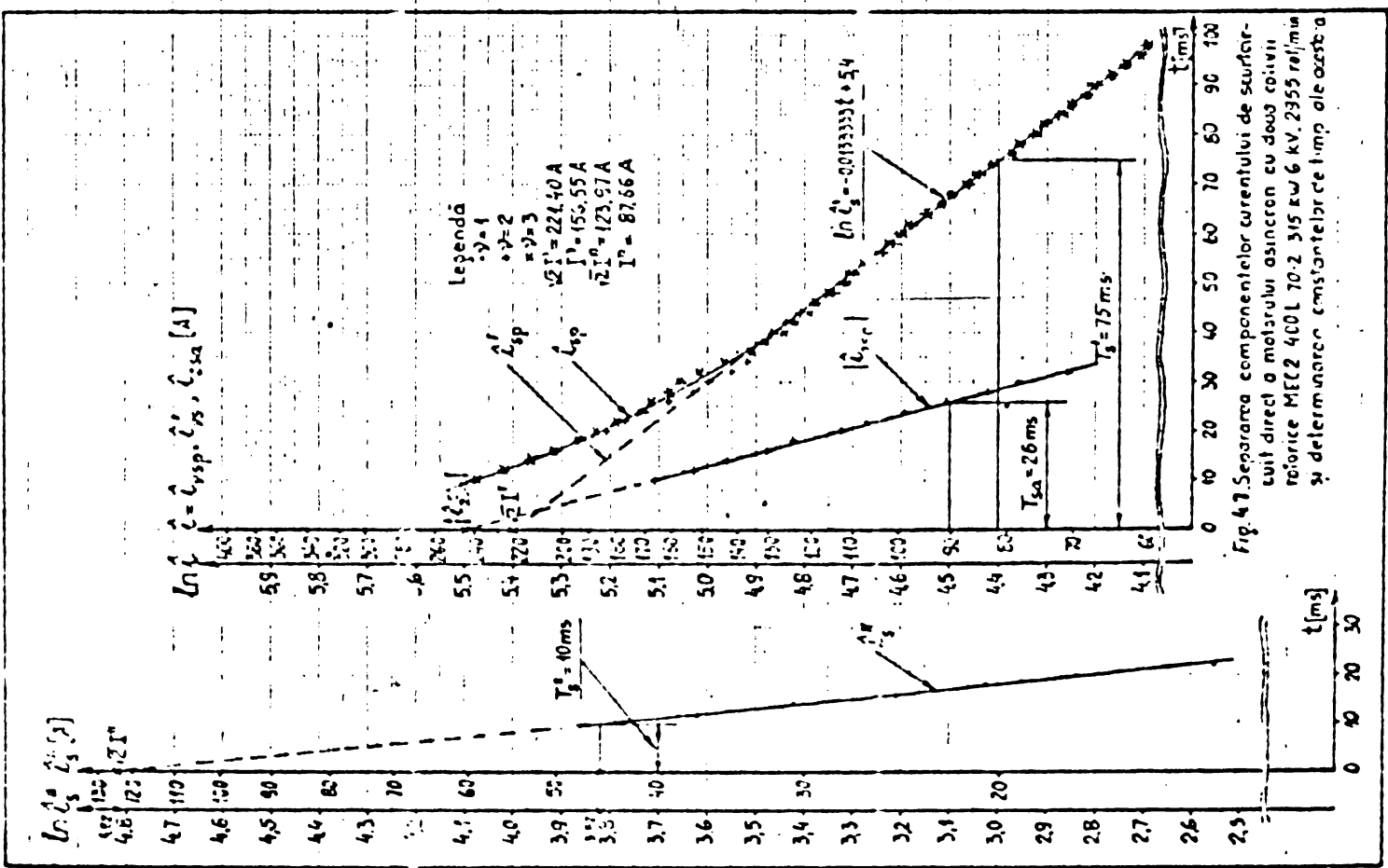
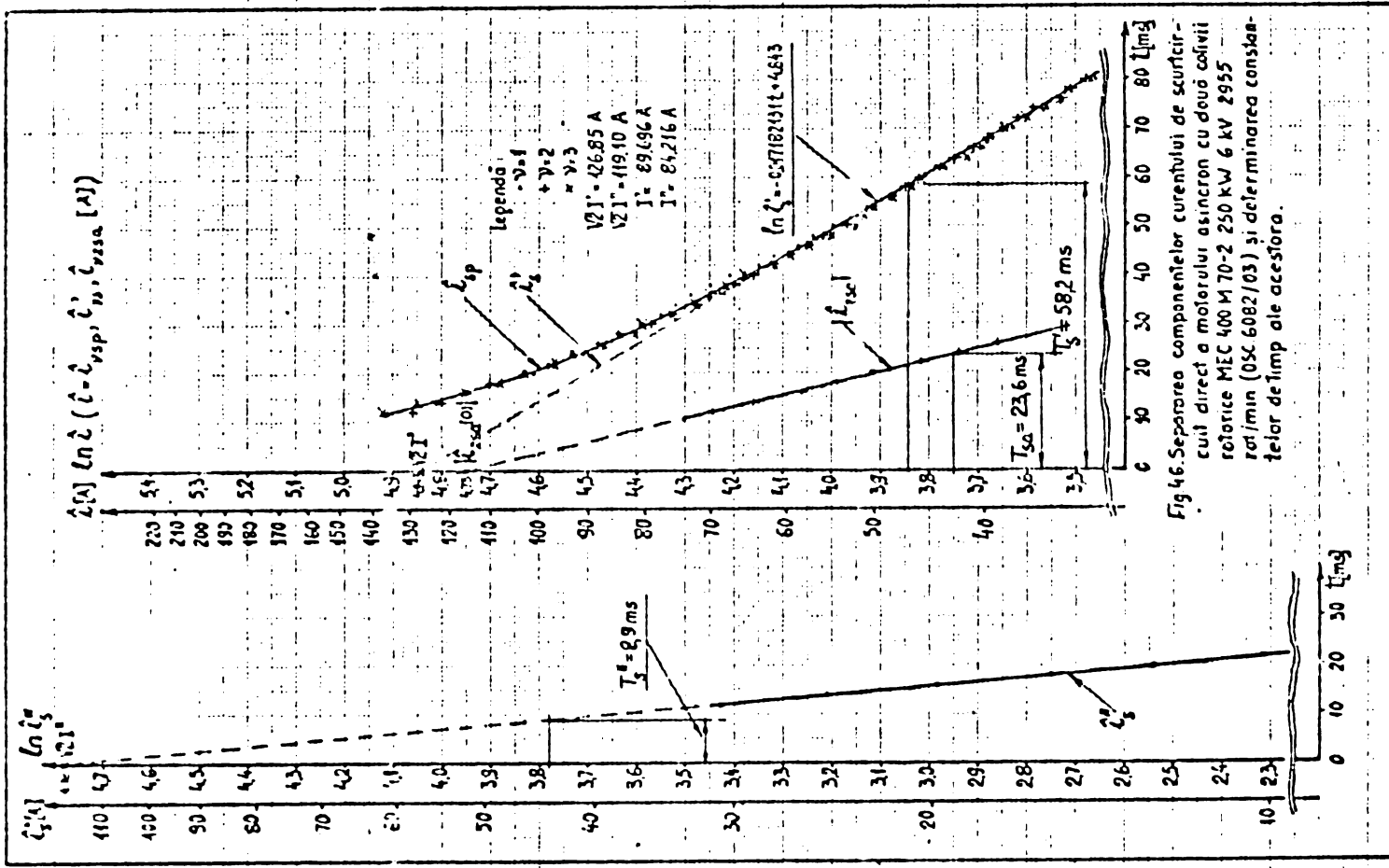
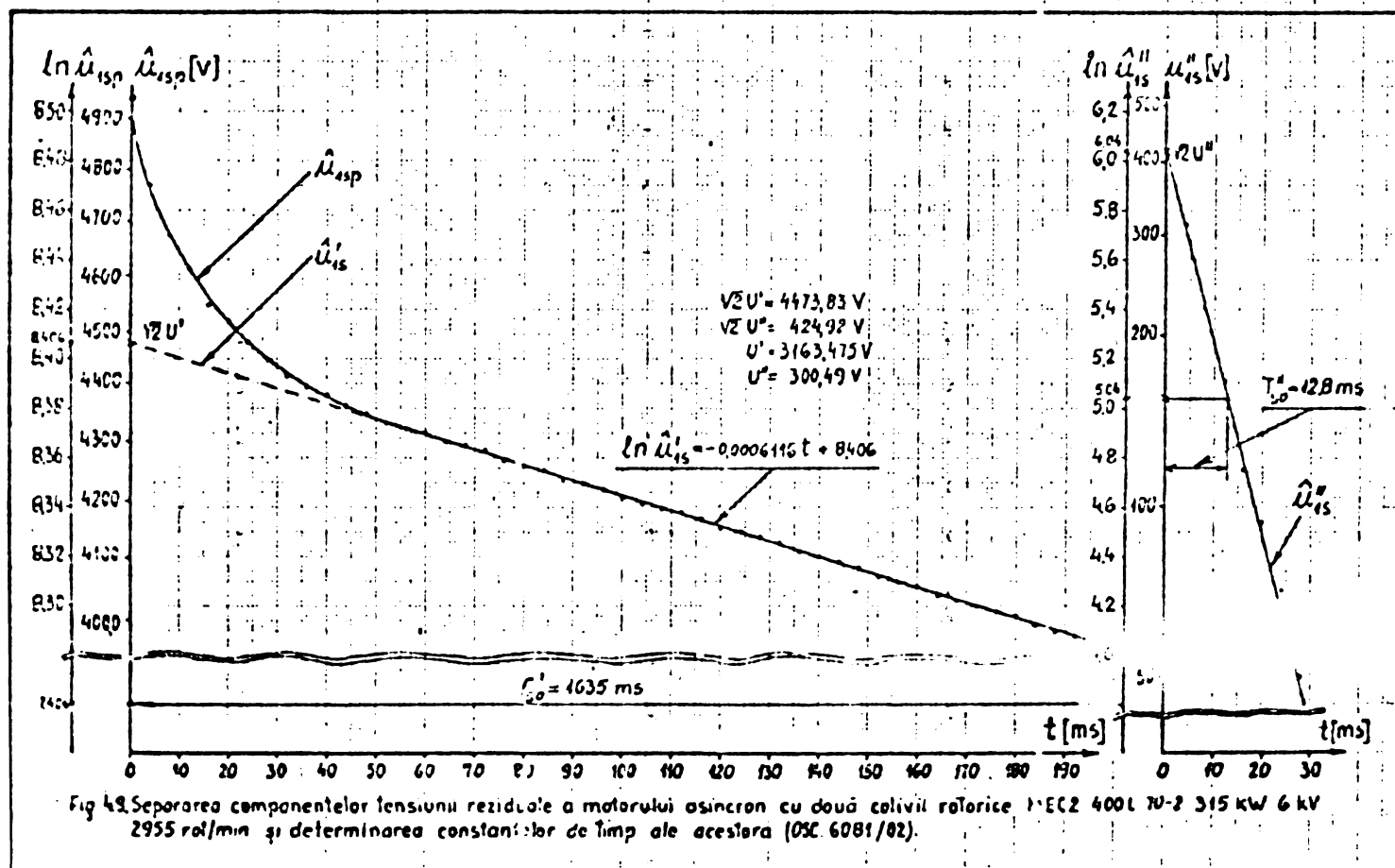
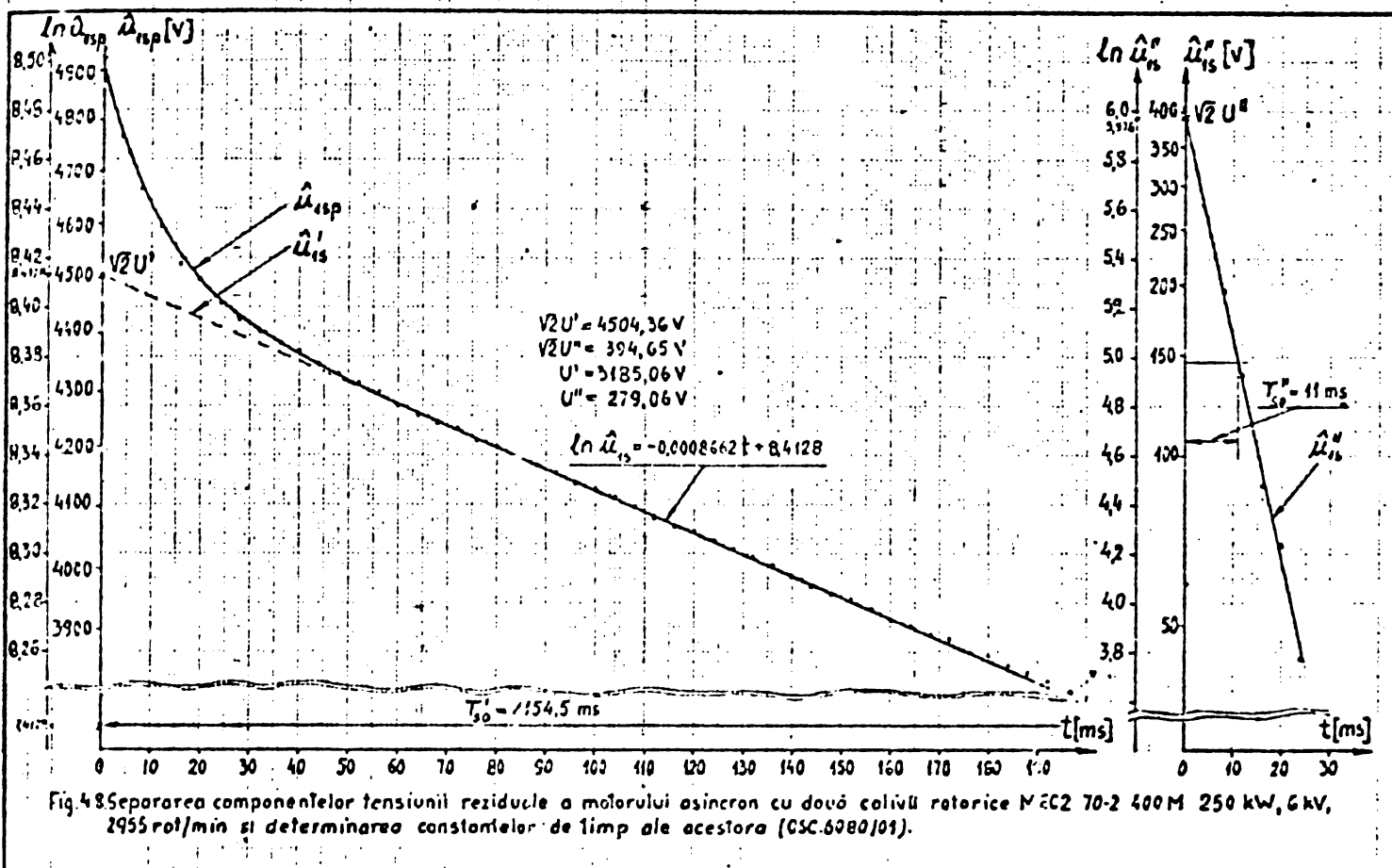


Fig.4.5 Oscilogramă a tensiunii reziduale a motorului asincron cu două colivii rotorice MEC2 400L 70-2 315kW 6kV

TABELUL 4.1.

Nr crt	Tip motor	U_n	P_n	I_n	$\cos \varphi_n$	n_n	s_n	η	I_0	$\cos \varphi_0$	P_0	P_{Cu0}	P_{Miv}	P_{Fe}	U_{scn}	I_{sc}	$\cos \varphi_{sc}$	P_{sc}	$\frac{M_{m2}}{M_n}$	$\frac{M_p}{M_n}$	$\frac{I_p}{I_n}$	GD^2
		kV	kW	A	-	$\frac{rot}{min}$	-	%	A	-	kW	kW	kW	kW	V	A	-	kW	-	-	-	dm^2
1	MEC2-400M-70-2	6	250	305	0,85	2955	0,015	93,0	7,5	0,035	7,413	0,413	2,80	4,00	1400	155	0,280	20,2	2,2	1,4	5,2	18
2	MEC2-400L-70-2	6	315	372	0,87	2955	0,015	93,3	9,6	0,084	9,282	0,382	3,00	5,90	1350	211	0,315	22,2	2,3	1,5	5,5	22





semilogaritmice pentru faza pe care această componentă a avut cu valoarea inițială absolută cea mai mare. (faza 2s). Deoarece pentru această fază funcția f_{2sa} a avut valori negative, în sistemul de coordonate semilogaritmice s-au reprezentat valorile sale absolute. Pe ascuns a fost efectuată separarea componentelor tensiunilor reziduale, obținută experimental în oscilogramele din fig. 4.4 și 4.5, iar în diagramele din fig. 4.8 și 4.9 au fost determinate constantele de timp T'_{50} .

T''_{30} , precum și mărimile $\sqrt{2Y'}$ și $\sqrt{2Y''}$.

Examinarea rezultatelor obținute în urma separării componentelor, precum și a diagramelor din fig.4.6 și 4.7 conduce la concluzia că funcțiile f_{1sp} , f_{2sp} , f_{3sp} practic coincid, ceea ce arată că sînt îndeplinite condițiile de la punctul.12) al metodei de prelucrare propusă în cap.4.1.1. Pentru a scoate în evidență mai bine acest lucru, au fost calculate abaterile procentuale $a_{vs}[\%]$ ale funcțiilor f_{vsp} față de funcția f_{sp} :

$$(4.14) \quad a_{vs}[\%] = \frac{\hat{L}_{vsp} - \hat{L}_{sp}}{\hat{L}_{sp}} \cdot 100 \quad ; \quad v=1,2,3.$$

unde valoarea funcției f_{sp} la un moment oarecare t a fost obținută ca medie aritmetică (considerată ca fiind valoarea cea mai probabilă) a valorilor f_{vsp} ($v=1,2,3$), adică :

$$(4.15) \quad \hat{L}_{sp} = \frac{\hat{L}_{1sp} + \hat{L}_{2sp} + \hat{L}_{3sp}}{3}$$

Valoarea cea mai mare a abaterilor procentuale este de -3,88% pentru diagrama din fig.4.6 și de -4,82% pentru diagrama din fig.4.7. Valorile mici ale abaterilor procentuale întăresc concluzia de mai sus. Pe de altă parte existența abaterilor respective poate fi explicată și prin faptul că metoda de prelucrare a datelor experimentale se bazează în principal pe măsurarea lungimii unor segmente de dreaptă, măsurare însoțită de erori de citire. Constantele de etalonare ale oscilogramelor amplifică valorile acestor erori. Aceste constante de etalonare nu pot fi însă reduse din cauza valorilor mari ale curenților care trebuie înregistrați și din cauza aparaturii de înregistrare existentă în stadiul actual de dezvoltare a tehnicilor de înregistrare.

Referitor la diagramele din fig.4.6 și 4.7 se mai fac următoarele precizări de detaliu. Pe axa verticală a curenților au fost marcate și valorile $\ln(i)$, unde $i = f_{vsp}$, f'_{vs} , f''_{vs} , f_{vsa} , f_{sp} , f'_s , f''_s , iar $v = 1,2,3$. Dacă se folosește această scară, atunci curbele f_{vsp} , f'_{vs} , f''_{vs} , etc trebuie interpretate ca $\ln(f_{vsp}) = \ln(f_{vsp}(t))$, $\ln(f'_{vs}) = \ln(f'_{vs}(t))$, etc. Prin folosirea acestei scări, alura curbelor respective și punctele prin care trec ele nu se modifică.

Dreptele $\ln(f'_s) = \ln(f'_s(t))$ din diagramele din fig.4.6 și fig.4.7 s-au obținut prin prelungirea porțiunii drepte a curbelor $\ln(f_{sp}) = \ln(f_{sp}(t))$, pînă la intersecția cu axa verticală a curenților. Folosind scara logaritmilor naturali pe axa verticală și determinînd ordonatele a două puncte prin care trece dreapta $\ln(f'_s) = \ln(f'_s(t))$, s-a scris ecuația acestei drepte. Ecuațiile dreptelor $\ln(f'_s) = \ln(f'_s(t))$ sînt înscrise pe diagramele din fig.4.6 și 4.7. Avînd expresiile analitice ale ecuațiilor acestor drepte s-au putut determina valorile $\ln(f'_s)$, respectiv f'_s la orice moment t .

Avînd în vedere că :

$$(4.16) \quad \hat{L}_s'' = \hat{L}_{sp} - \hat{L}_s'$$

și cunoscînd valorile $\ln(f_{sp})$, $\ln(f'_s)$, dacă se notează :

$$(4.17) \quad d = \ln(\hat{L}_{sp}) - \ln(\hat{L}_s')$$

rezultă :

$$(4.18) \quad \ln(\hat{t}_s'') = \ln(e^d - 1) + \ln(\hat{t}_s')$$

Relația (4.18) a permis determinarea în sistemul de coordonate semilogaritmice a funcției $\ln(f_s'') = \ln(f_s''(t))$ și deci și a funcției $\hat{t}_s'' = f_s''(t)$.

Se face precizarea că determinarea funcțiilor $u_s''(t)$ din diagramele din fig.4.8 și 4.9 s-a făcut în mod similar cu determinarea funcțiilor $i_s'' = f_s''(t)$, folosind deci relația (4.18), în care însă i_s'' s-a înlocuit cu \hat{u}_s'' iar i_s' cu \hat{u}_s' .

Principalele rezultate obținute prin prelucrarea după metoda propusă în capitolul 4.1.1, a oscilogramelor curenților de scurtcircuit din fig.4.3 și a tensiunilor reziduale din fig.4.4 și 4.5 a motoarelor cu caracteristicile de catalog din tabelul 4.1, supuse încercărilor, sînt centralizate în tabelul 4.2.

TABELUL 4.2.

Nr. crt	Tip motor	I_n	Mărimi măsurate în regim staționar ante-rrior probei (mers în gol)																Mărimi primare obținute:							
			$\cos\psi_n$	U_n	$\frac{\cos\psi_n}{\cos\psi_0}$	$\varphi - \varphi_0$	$I \cdot I_0$	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3	\hat{i}_{soc}	$\hat{i}_{sp}^{(0,1)}$	prin măsurători directe pe oscilograme:						prin prelucrarea oscilogramelor:							
													T_{sa}	T_s'	T_s''	I'	I''	$\hat{i}_{2sa}^{(0)}$	T_{s0}'	T_{s0}''	U'	U''				
A	V	-	°	A	°	°	°	A	A	ms	ms	ms	A	A	A	ms	ms	V	V							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23				
1	MEC2-400M-70-2 250kW; 6kV	30,5	0,85	346,4	0,095	34°33'	7,5	128	8	-112	-283,10	23,319	23,6	582	8,9	89,650	84,216	-115,584	1154,5	11,0	318506	27906				
2	MEC2-400L-70-2 315 kW; 6kV	37,2	0,87	346,4	0,094	35°41'	9,6	128	8	-112	-463,42	61,147	26,0	750	10,0	136,55	87,160	-244,692	1635,0	12,8	3163475	36049				

Nr. crt	Mărimi derivate din cele primare:													
	$\hat{i}_{sp}^{(0,1)}$	T_{po}	\hat{i}_{spo}	$k_{soc} = \frac{ \hat{i}_{soc} }{\hat{i}_{spo}}$	$k_n = \frac{ \hat{i}_{soc} }{\sqrt{2} I_n}$	$k_{a1} = \frac{\hat{i}_{sp}^{(0,1)}}{\sqrt{2} I_n}$	$k_{a1}^* = \frac{\hat{i}_{sp}^{*(0,1)}}{\sqrt{2} I_n}$	$100 \cdot \frac{k_{a1}^* - k_{a1}}{k_{a1}} = \frac{k_{a1}^* P_n}{\cos\psi_n}$	$S_{k_{a1}}$	a	b_1	b_2	ϵ_1	ϵ_2
24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
1	22,755	173,912	24,595	1,151	6,563	0,541	0,527	-2,588	159,418	12,37256	17,132431	112,35955	0,8661758	90,903191
2	58,360	244,210	34,536	1,342	8,809	1,162	1,109	-4,561	420,724	38,461515	13,333333	100,00000	0,6116208	78,425000

Mărimea $\hat{i}_{sp}^{*(0,1)}$ a fost calculată cu relația (4.19)

Examinarea acestor rezultate, precum și a diagramelor din fig.4.6, 4.7, 4.8, 4.9 conduce la următoarele concluzii:

- Există diferențe cantitative foarte mari între valorile constantelor de timp T_s' și T_s'' ($T_s' \gg T_s''$), constanta de timp T_s' fiind de 5-7 ori mai mare decât T_s'' . De asemenea constanta de timp T_s' este mult mai mare decât T_{sa} .

- Există de asemenea diferențe cantitative foarte mari între valorile constantelor de timp T_{s0}' și T_{s0}'' ($T_{s0}' \gg T_{s0}''$), constanta de timp T_{s0}' fiind de ordinul de mărime a secundelor, iar T_{s0}'' de ordinul de mărime a zecilor de milisekunde.

- Sînt îndeplinite toate condițiile de la punctele 6), 10), 11), 12) ale metodei propuse în cap.4.1.1 pentru prelucrarea oscilogramelor curenților de scurtcircuit și ale tensiunilor reziduale.

Aceleași concluzii au rezultat în urma prelucrării după metoda propusă și a al-

tor oscilogramme ale curenților de scurtcircuit și ale tensiunilor reziduale pentru motoarele asincrone cu caracteristicile din tabelul 4.1, supuse încercărilor.

Ca urmare se impune concluzia finală, verificată experimental, că metoda propusă pentru prelucrarea oscilogramelor este corectă și că expresiile analitice (3.54), (3.55) ale curenților de scurtcircuit direct proveniți de la motoarele asincrone cu două colivii rotorice și expresia analitică (3.77) a tensiunii reziduale a acestui tip de motoare, expresii conform cărora a fost concepută metoda de prelucrare a oscilogramelor, descriu cu fidelitate variația în timp a mărimilor respective.

În cazul motoarelor asincrone supuse încercărilor au mai fost urmărite două mărimi care interesează în mod deosebit, fiind indicate în tabelul 4.2 și anume contribuția motoarelor la puterea de scurtcircuit în momentul declanșării întrepruptoarelor și curentul de șoc, respectiv coeficienții $k_{\text{șoc}}$ și k_n .

Avînd în vedere timpii proprii de declanșare ai întrepruptoarelor de medie tensiune fabricate în R.S.România /81/, precum și protecțiile prin releu cu care sînt echipate stațiile de medie tensiune, se poate admite că declanșarea curentului de scurtcircuit se face practic după un timp mediu $t = 0,1$ [s], față de momentul producerii scurtcircuitului și ca urmare în tabelul 4.2 a fost urmărită contribuția motoarelor asincrone la puterea de scurtcircuit $S_{k0,1}$ la momentul $t=0,1$ [s]. Deoarece, pentru motoarele asincrone supuse încercărilor, constantele de timp T_{sa} și T_s'' sînt mult mai mici decît constanta de timp T_s' , se poate afirma că la momentul $t = 0,1$ [s] componenta aperiodică a curentului de scurtcircuit, precum și cea supratranzitorie, sînt practic amortizate și ca urmare valoarea $\hat{i}_{sp}(0,1)$, pe lângă faptul că se poate determina prin măsurarea directă pe oscilogramă, se poate calcula și analitic, fiind determinată numai de componenta tranzitorie:

$$(4.19) \quad \hat{i}_{sp}(0,1) = \sqrt{2} I' \exp[-0,1/T_s']$$

unde T_s' trebuie exprimat în secunde. Ca urmare contribuția $S_{k0,1}$ a motoarelor asincrone la puterea de scurtcircuit la momentul $t = 0,1$ [s] se poate calcula după cum urmează :

$$(4.20) \quad S_{k0,1} = \sqrt{3} U_n \frac{\hat{i}_{sp}(0,1)}{\sqrt{2}} = k_{0,1} \frac{P_n}{\cos \varphi_n}$$

unde coeficientul $k_{0,1}$ este dat de relația :

$$(4.21) \quad k_{0,1} = \frac{\hat{i}_{sp}(0,1)}{\sqrt{2} I_n}$$

iar P_n , $\cos \varphi_n$ sînt puterea nominală, respectiv factorul de putere nominal al motorului.

În tabelul 4.2 sînt indicate atât valorile lui $\hat{i}_{sp}(0,1)$, respectiv $k_{0,1}$ obținute prin măsurări directe pe oscilogramă, cît și valorile obținute prin calcul, aplicînd relația (4.19). Abaterile procentuale ale valorilor obținute prin calcul față de cele obținute prin măsurători directe pe oscilogramă sînt nesemnificative (-2,588 % pentru motorul de 250 kW și -4,561 % pentru motorul de 315 kW). Acest lucru întărește în plus toate concluziile de mai sus referitoare la corectitudinea

metodei de prelucrare a oscilogramelor și a valabilității relațiilor analitice obținute pentru curenții de scurtcircuit.

Valorile mari obținute pentru mărimea $S_{k_{0,1}}$, în comparație cu puterea nominală P_n (a se vedea tabelul 4.2) conduc la concluzia că nu se poate neglija contribuția la puterea de scurtcircuit a motoarelor asincrone supuse încercărilor.

Din tabelul 4.2 se remarcă de asemenea valorile mari ale curenților de șoc față de curentul nominal al motoarelor. Acest lucru arată că în cazul scurtcircuitelor nu se pot neglija în nici un caz curenții de șoc mari proveniți de la motoare asincrone, deoarece aceștia fiind de valori mari determină solicitări electro-dinamice suplimentare importante ale instalațiilor electrice.

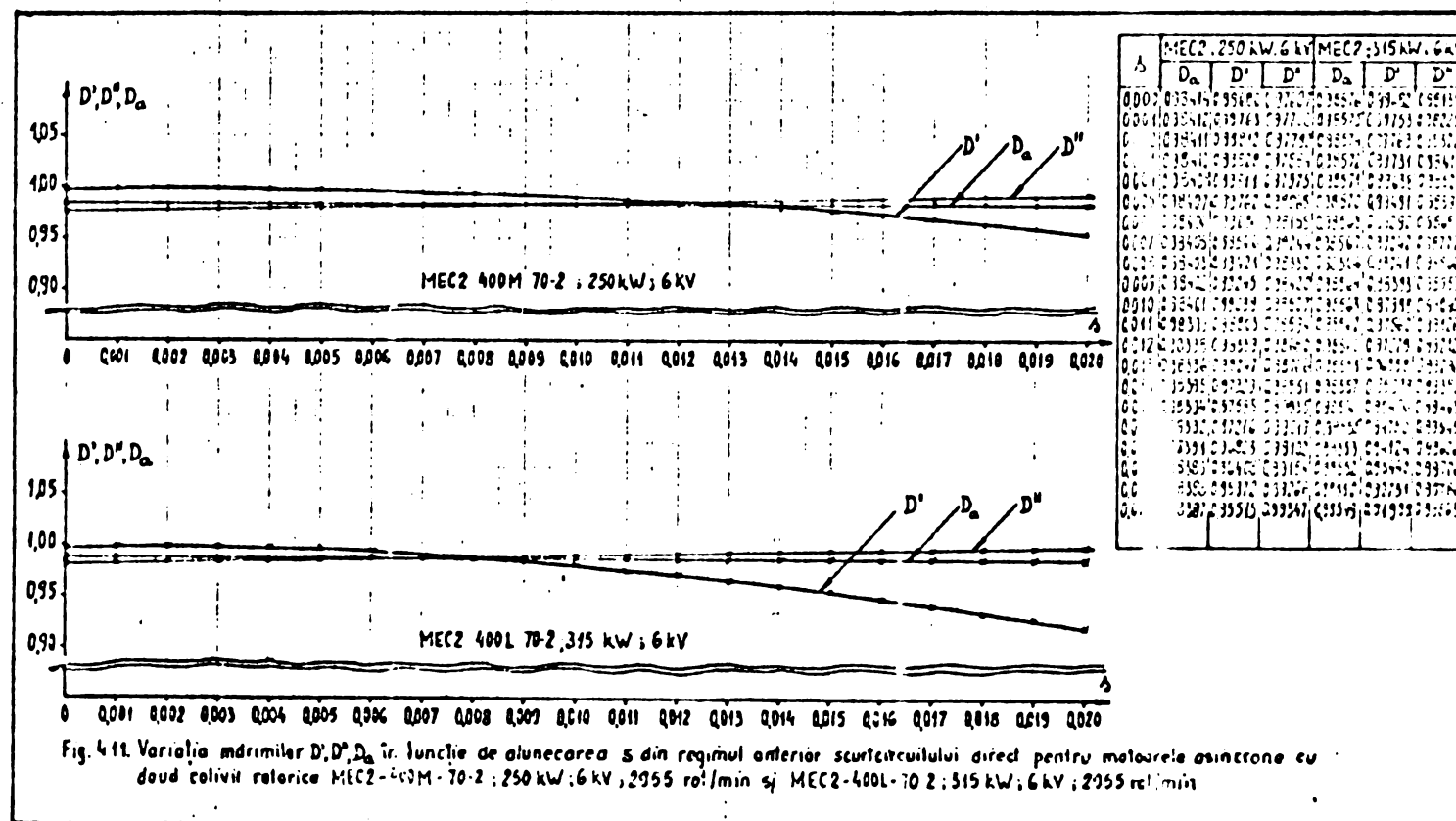
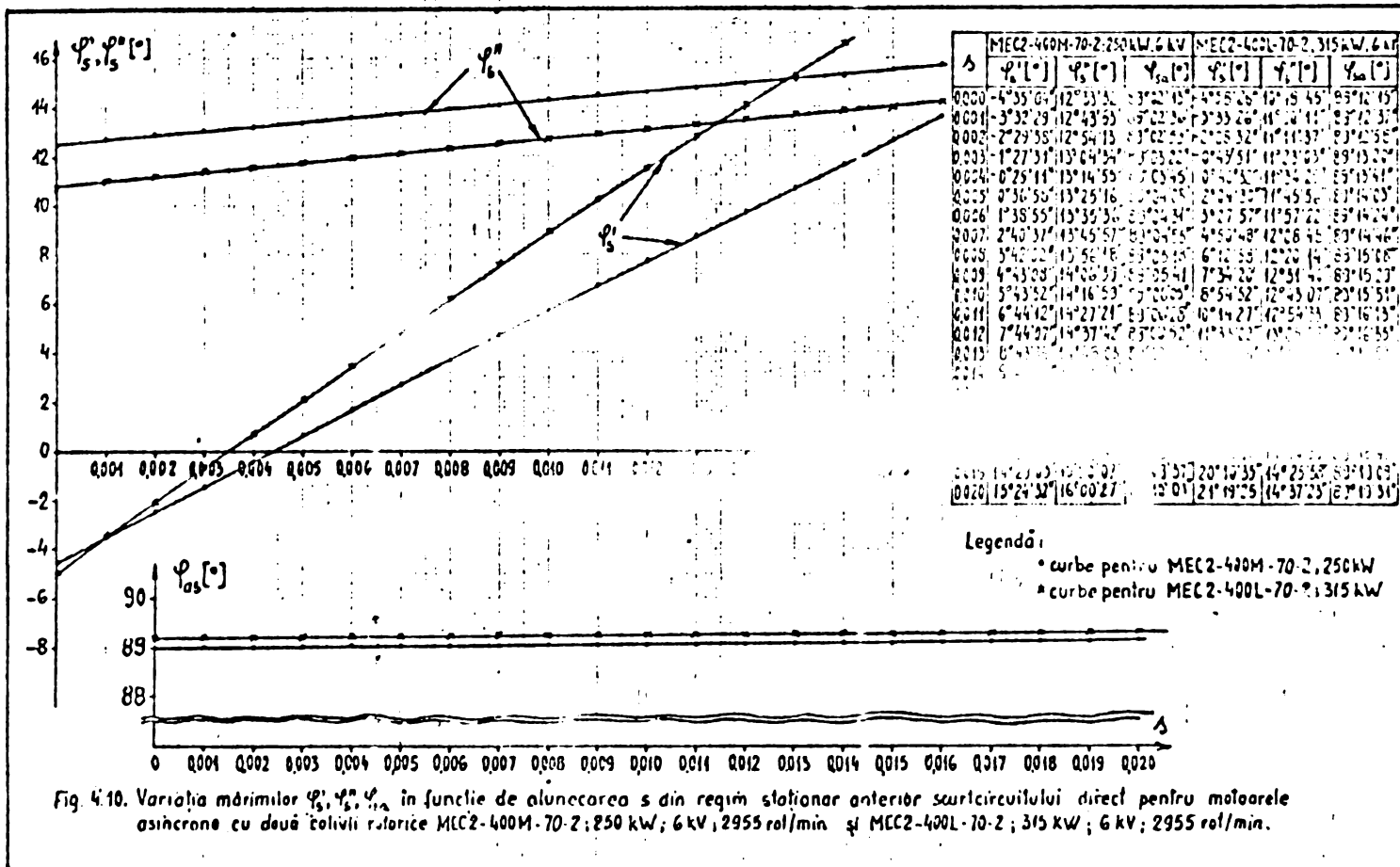
4.1.2.2. Determinarea din rezultatele experimentale obținute a curenților de șoc maximi, a coeficienților $k_{\text{șoc.M}}$, $k_{L.M}$ și a reactanțelor X''_s , X'_s , X_s .

Rezultatele experimentale (curenți, tensiuni, constante de timp), obținute în urma prelucrării oscilogramelor curenților de scurtcircuit direct și a tensiunilor reziduale și centralizate în tabelul 4.2, au permis determinarea prin calcul, pe de o parte a curentului de șoc maxim, respectiv a coeficienților maximi $k_{\text{șoc.M}}$, $k_{L.M}$, folosind relațiile (3.64), (3.65), iar pe de altă parte a reactanțelor X''_s , X'_s , X_s , folosind relațiile (3.63). În toate aceste relații intervin însă o serie de mărimi auxiliare care sînt funcții de alunecarea s din regimul anterior scurtcircuitului. De aceea, inițial au fost calculate și reprezentate grafic aceste mărimi auxiliare, Astfel în fig.4.10 sînt reprezentate în funcție de alunecarea s unghiurile φ_{sa} , φ'_s , φ''_s , calculate cu relația (3.56), iar în fig.4.11 coeficienții D_a , D' , D'' , calculați cu relația (3.57). Domeniul considerat pentru alunecarea s este cuprins între $(0 \div 1,33)s_n$, unde s_n este alunecarea nominală a motoarelor supuse încercărilor.

Analiza curbelor din fig.4.10 și 4.11 conduce la următoarele concluzii privind variația în funcție de alunecarea s a mărimilor auxiliare φ_{sa} , φ'_s , φ''_s , D_a , D' , D'' :

- Unghiul φ_{sa} este practic constant pe întregul domeniu considerat pentru valorile alunecării s . Unghiul φ''_s are valori apropiate de 15° și o variație foarte lentă (variația este de aproximativ 4° pentru ambele motoare). Unghiul φ'_s prezintă variații mai pronunțate față de 0° (variația este de aproximativ 20° pentru motorul de 250 kW și aproximativ 26° pentru cel de 315 kW).

- În ansamblu, coeficienții D_a , D' , D'' prezintă de asemenea o variație foarte lentă în raport cu alunecarea s pe întregul domeniu considerat pentru valorile lui s . Valorile toți acești coeficienți sînt foarte apropiați de unitate. Astfel, coeficientul D_a este practic constant pe întregul domeniu considerat pentru valorile lui s , abaterile sale față de unitate fiind sub 0,03 % atât pentru motorul de 250 kW cît și pentru cel de 315 kW. Pentru un domeniu destul de larg al alunecărilor mici, cuprins între $(0 \div 0,75)s_n$ și coeficienții D' , D'' sînt practic constanți, abaterile lor față de unitate fiind sub 1 %.



Curentul de șoc maxim $i_{\text{șoc.M}}$, respectiv coeficienții maximi $k_{\text{șoc.M}}$ și $k_{\text{n.M}}$ s-au calculat pe calculatorul FELIX C256 în funcție de alunecarea s din regim anterior scurtcircuitului și folosind relațiile (3.62) și (3.65). Inițial s-a calculat timpul t_M după care apare curentul de șoc maxim, prin rezolvarea ecuației transcendente (3.63), apoi s-a calculat cu relația (3.64) unghiul de conectare ξ_M la care trebuie să se producă scurtcircuitul, încît să apară un curent de șoc maxim. Programele de calcul sînt indicate în anexa 4.1, iar curbele de variație ale mărimilor $t_M, \xi_M, k_{\text{n.M}}, k_{\text{șoc.M}}$ în funcție de alunecarea s sînt indicate în fig.4.12.

Analiza curelilor din fig.4.12 conduce la următoarele concluzii :

- Indiferent de valoarea alunecării s la care au funcționat motoarele înainte de producerea scurtcircuitului, pentru apariția unui curent de șoc maxim, scurt-

circuitul trebuie să se producă practic la trecerea prin zero a tensiunii pe faza pe care apare curentul de șoc maxim, deoarece unghiul ϵ_M variază în cadrul unor limite foarte restrinse în jurul valorii de 0° în funcție de valorile alunecării. Dacă scurtcircuitul se produce în aceste condiții, timpul t_M după care apare curentul de șoc maxim este practic o jumătate de perioadă. Astfel pentru motorul de 250 kW, timpul t_M variază în funcție de valorile alunecării s între 9,805 [ms] și 10,165 [ms], iar pentru motorul de 315 kW între 9,855 [ms] și 10,275 [ms].

- Valoarea maxim-maximorum a curentului de șoc și ca urmare a coeficienților $k_{\text{șoc.M}}$ și $k_{n.M}$ apare dacă înainte de producerea scurtcircuitului motoarele funcționează la alunecarea $s=0$, adică în regim de mers în gol ideal și dacă în aceste condiții scurtcircuitul se produce la valori ale lui ϵ_M foarte apropiate de 0° , valori care rezultă din fig.4.12. Cu cât motoarele funcționează înainte de producerea scurtcircuitului la alunecări mai mari, deci la sarcini mai mari, cu atât se obțin curenți de șoc mai mici.

- Intre valorile experimentale obținute pentru $k_{\text{șoc}}$ și k_n (a se vedea tabelul 4.2) și valorile obținute prin calcul (a se vedea valorile respective pentru $s = 0$ din fig.4.12) există o bună concordanță. Astfel pentru motorul de 250 kW abaterea procentuală pentru $k_{\text{șoc}}$ este de -3,35 % și pentru k_n de -4,88 %, iar pentru motorul de 315 kW abaterea procentuală pentru $k_{\text{șoc}}$ este de -1,80 % și pentru k_n de -6,42 %, mărimile la care $s=0$ a făcut raportarea fiind cele determinate experimental.

Pentru calculul reactanțelor $X_2^{\prime\prime}, X_3^{\prime\prime}, X_3$ cu relația (3.68) a fost nevoie să se cunoască pe lângă valorile mărimilor determinate experimental (U, I', I'', T_2', T_2'' ,

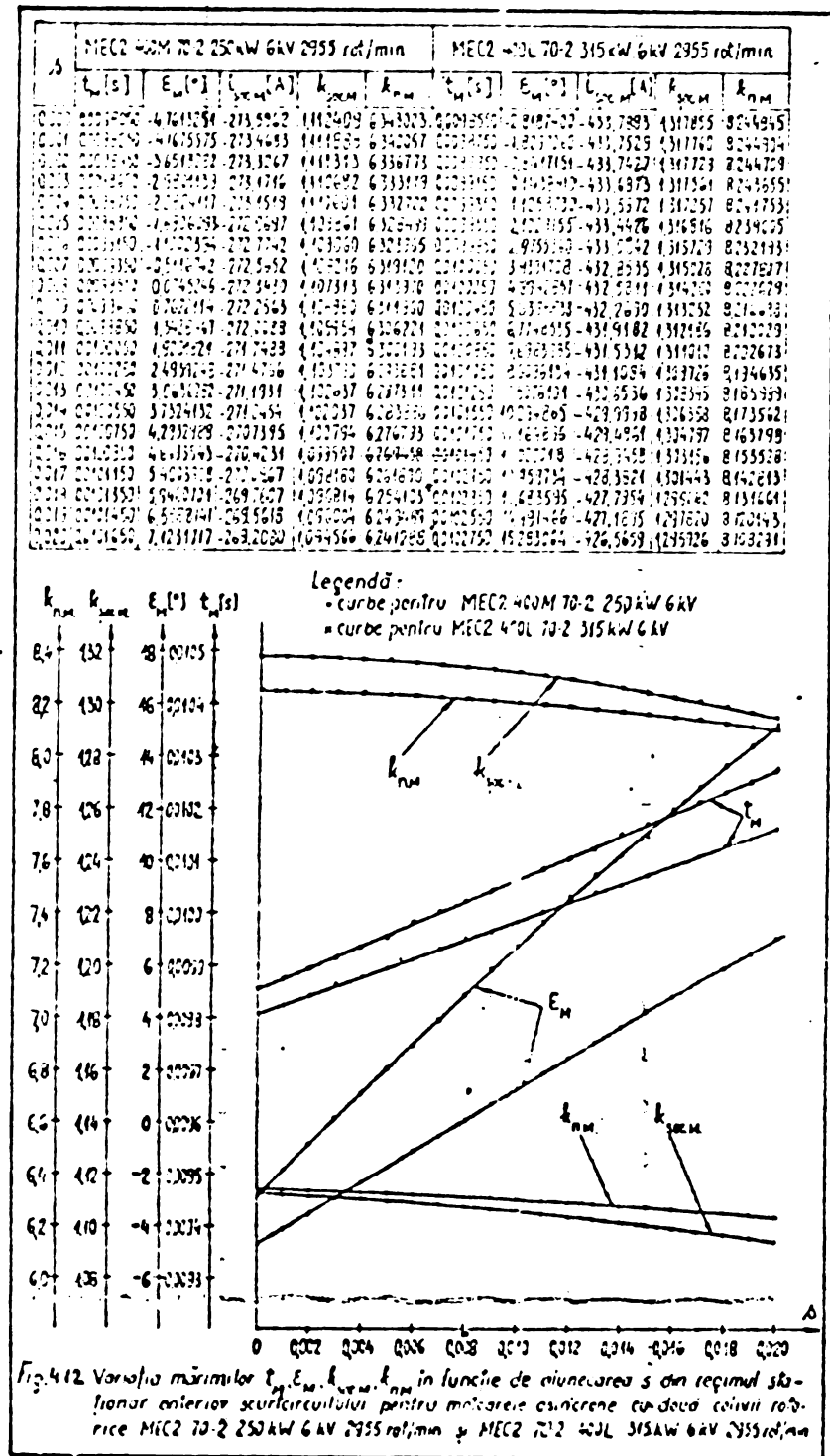


Fig.4.12 Variația mărimilor $t_M, \epsilon_M, k_{\text{șoc.M}}, k_{n.M}$ în funcție de alunecarea s din regimul staționar anterior scurtcircuitului pentru motoarele cu sarcină cu două cavități rotative MECC 70-2 250kW 6kV 2955 rot/min și MECC 70-2 400L 315kW 6kV 2955 rot/min

T'_{s0} , T''_{s0} din tabelul 4.2) și valorile mărimilor auxiliare D' , D'' pentru alunecarea s la care au funcționat motoarele înainte de încercarea de scurtcircuit. Deci s-a pus problema determinării acestei alunecări. După cum s-a specificat, înainte de încercarea de scurtcircuit, respectiv de cea de deconectare motoarele au funcționat în gol. Determinarea experimentală a alunecării de mers în gol s_0 constituie o problemă dificilă, fiind cunoscute dificultățile practice de măsurare a acestei mărimi /107/. De aceea, conform considerațiilor din /107, pg.362/ s-a folosit

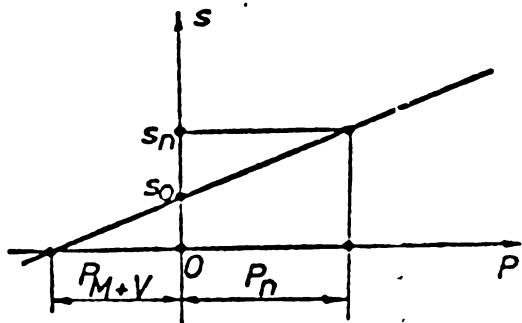


Fig. 4.13. Explicație pentru determinarea alunecării de mers în gol s_0 .

o metodă aproximativă de determinare a lui s_0 , metodă bazată pe considerentele ce urmează. La alunecări mici cuplul dezvoltat de curenții din rotorul motorului asincron este destul de exact proporțional cu alunecarea. Acest lucru este valabil și pentru puterea mecanică a rotorului, deoarece la alunecări mici cuplul este proporțional cu puterea mecanică.

alunecărilor mici, alunecarea este o dreaptă în funcție de puterea mecanică (vezi figura 4.13). Cu destul de bună aproximație se poate afirma că această dreaptă intersectează pe axa absciselor P_{M+V} , unde P_{M+V} reprezintă pierderile mecanice și prin ventilație. Având în vedere faptul că alunecarea nominală s_n a motoarelor supuse încercărilor are valori destul de mici (0,015), din fig. 4.13 rezultă :

$$(4.22) \quad s_0 \approx \frac{s_n}{1 + \frac{P_n}{P_{M+V}}}$$

Folosind caracteristicile de catalog din tabelul 4.1 și relația (4.22), rezultă pentru motorul de 250 kW valoarea $s_0 \approx 0,011s_n$, iar pentru cel de 315 kW valoarea $s_0 \approx 0,0094s_n$.

Desigur că această metodă de determinare a lui s_0 este destul de neprecisă, dar ea dă indicații orientative prețioase, în sensul că valorile lui s_0 sînt foarte mici în comparație cu s_n și avînd în vedere că într-un domeniu mult mai mare pentru s [$s = (0 \div 0,75)s_n$] valorile coeficienților D' , D'' sînt practic constante și egale cu unitatea (în acest domeniu abaterile lor față de unitate sînt sub 1%), în relațiile (3.68) de calcul a reactanțelor s-au folosit valorile coeficienților D' , D'' pentru alunecarea $s = 0$ (mers în gol ideal). Valorile calculate ale reactanțelor sînt indicate în tabelul 4.3.

TABELUL 4.3.

Nr crt	Tip motor	φ_{sa}	φ'_s	φ''_s	D_a	D'	D''	X''_s	X'_s	X_s	I_a	I_a	$\frac{a=100}{(12)-(13)}$	$Z_k = \frac{a=100}{13} \cdot \frac{U_n}{U_p}$	$\frac{a=100}{2_n} \cdot \frac{X''_s - Z_n}{Z_n}$
		(la $s=0$)	(la $s=0$)	(la $s=0$)	(la $s=0$)	(la $s=0$)	(la $s=0$)	(la $s=0$)	Ω	Ω	Ω	A	A	%	Ω
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	MEC2-400M-70-2	89°02'13"	-4°35'04"	12°33'32"	0,98414	0,99680	0,97607	18,85125	24,45324	462,3229	180,845	191	-0,142	21,6417	-13,632
2	MEC2-400L-70-2	85°12'15"	-4°58'26"	13°48'35"	0,98576	0,99682	0,98135	13,55638	18,19554	378,2772	251,834	252	-0,340	16,6310	-12,752

În tabelul 4.3 sînt de asemenea indicate valorile calculate ale impedanței de

pornire Z_k . Comparația între aceste valori și cele ale reactanței X_s'' arată că există diferențe destul de mari între cele două categorii de valori. Astfel abaterea valorii X_s'' față de valoarea Z_k este de $-13,692\%$ pentru motorul de 250 kW și de $-19,932\%$ pentru cel de 315 kW.

Pentru verificarea exactității cu care au fost determinați experimental din oscilograme curenții I , I' , I'' , tensiunea U , unghiurile de conectare ξ , și de defazaj φ , precum și a exactității cu care au fost calculate reactanța X_s'' și mărimile auxiliare D_a , φ_{sa} , φ_s' , φ_s'' s-au folosit două relații de verificare și anume (3.69), (3.70), care, în caz că determinările experimentale sînt exacte, iar calculele sînt corecte, trebuie să conducă la aceeași valoare pentru curenții I_a . În tabelul 4.3 sînt indicate valorile I_a , calculate cu aceste relații, în care pentru mărimile determinate experimental s-au considerat valorile din tabelul 4.2; pentru reactanța X_s'' valorile calculate și indicate în tabelul 4.3; iar pentru mărimile auxiliare D_a , φ_{sa} , φ_s' , φ_s'' s-au considerat valorile corespunzătoare alunecării $s = 0$, deoarece s-au avut în vedere concluziile referitoare la valoarea foarte mică s_0 a alunecării din regim anterior scurtcircuitului și cele referitoare la variația în raport cu alunecarea a respectivelor mărimi auxiliare. Abaterăa între valorile obținute pentru curenții I_a este de $-0,142\%$ pentru motorul de 250 kW și de $-0,340\%$ pentru cel de 315 kW. Aceste abateri mici între valorile curenților I_a , calculate cu cele două relații de verificare, în care intervin pe de o parte mărimi obținute experimental, iar pe de altă parte mărimi calculate cu relații analitice, dovedesc că atât metoda de prelucrare a oscilogramelor, în urma căreia au fost obținute respectivele mărimi experimentale, cât și relațiile analitice cu care au fost calculate celelalte mărimi, sînt corecte și suficient de precise.

4.1.2.3. Incercări de scurtcircuit indirect și rezultatele experimentale obținute în urma acestora.

Pentru verificarea experimentală a posibilității de determinare a parametrilor tranzitorii ai motoarelor asincrone cu două colivii rotorice prin metoda scurtcircuitului indirect și deci pentru validarea experimentală a acestei metode, au fost efectuate încercări de scurtcircuit indirect pe motoare de acest tip.

Fig. 4.14 redă un exemplu de oscilogramă a curenților de scurtcircuit indirect ai aceluiași motor pentru care s-au efectuat și încercări de scurtcircuit direct. Oscilogramele curenților de scurtcircuit indirect au fost prelucrate după metoda propusă în cap. 4.1.1. Astfel a fost efectuată separarea componentelor curenților de scurtcircuit indirect, iar în diagramele din fig. 4.15 și 4.16 au fost determinate constantele de timp T_{sa} , T_s' , T_s'' , precum și mărimile $\sqrt{2}I_Q'$, $\sqrt{2}I_Q''$. Rezultatele obținute în urma prelucrării oscilogramelor din fig. 4.14 sînt centralizate în tabelul 4.4.

Rezultatele experimentale obținute în urma încercării de scurtcircuit indirect, împreună cu cele obținute în urma încercării de deconectare au permis determinarea

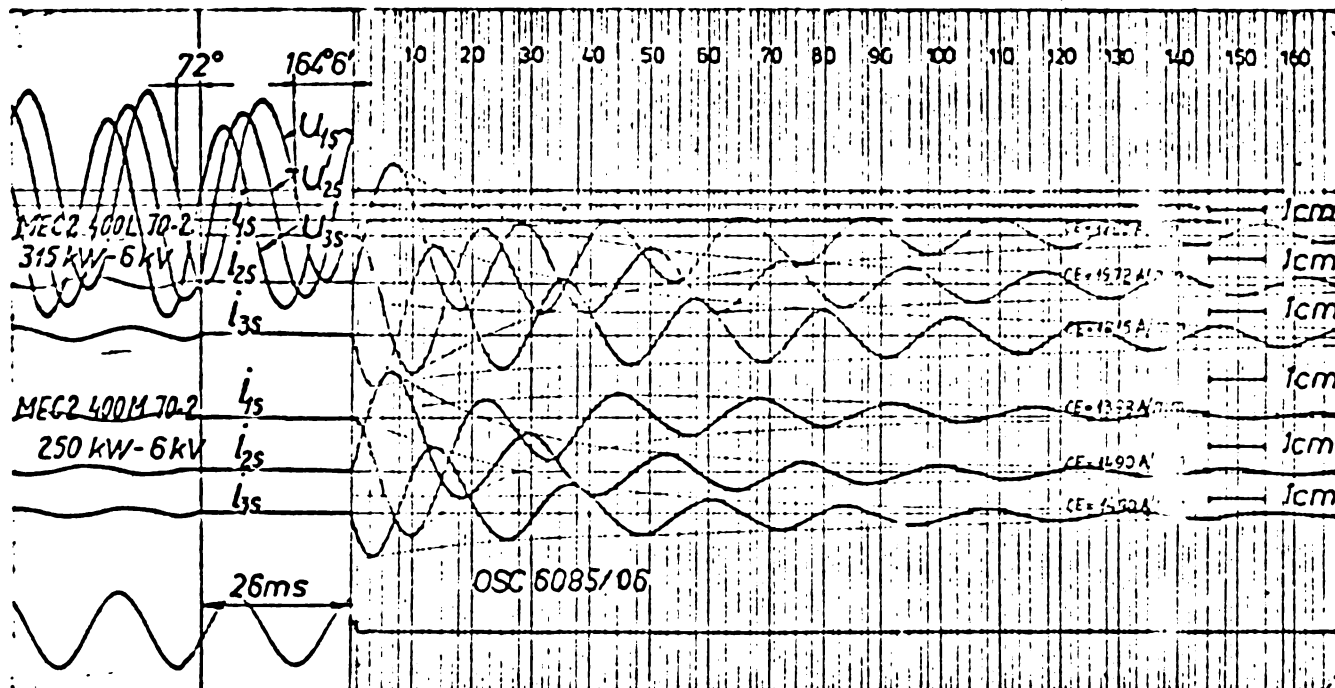


Fig.4.14. Oscilogramă a curentilor de scurtcircuit indirect ai motoarelor asincrone cu două colivii rotorice.

prin calcul cu ajutorul relațiilor (3.85) a reactanțelor X'_s, X''_s, X_s a motoarelor asincrone cu două colivii rotorice supuse acestor încercări. Valoarea U'_0 care intervine în relația (3.85) de calcul a reactanțelor a fost calculată la rândul ei cu relația (3.83), în care intervin mărimile t_0, T'_{s0}, U' . Mărimea t_0 a fost obținută prin citire directă pe oscilogramele curentilor de scurtcircuit indirect, iar mărimile T'_{s0}, U' au fost obținute în urma prelucrării oscilogramelor tensiunii reziduale, rezultate în urma încercărilor de deconectare (a se vedea tabelul 4.2).

Se observă că în relațiile (3.85) de calcul a reactanțelor intervin și mărimile auxiliare Q', Q'' date de relațiile (3.84), și care sînt funcții de alunecarea s din regimul staționar anterior probei de scurtcircuit indirect. De aceea inițial au fost calou-

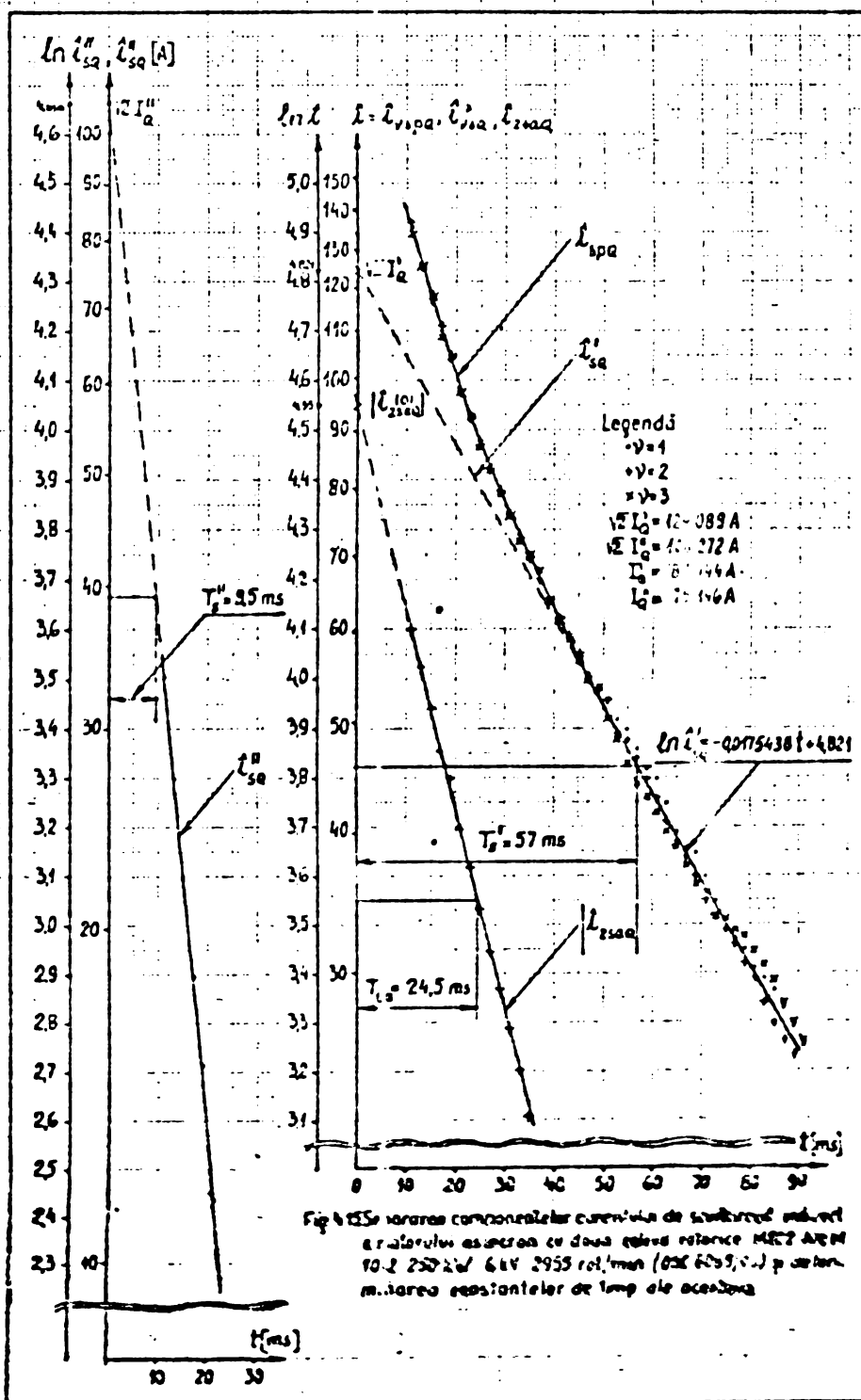
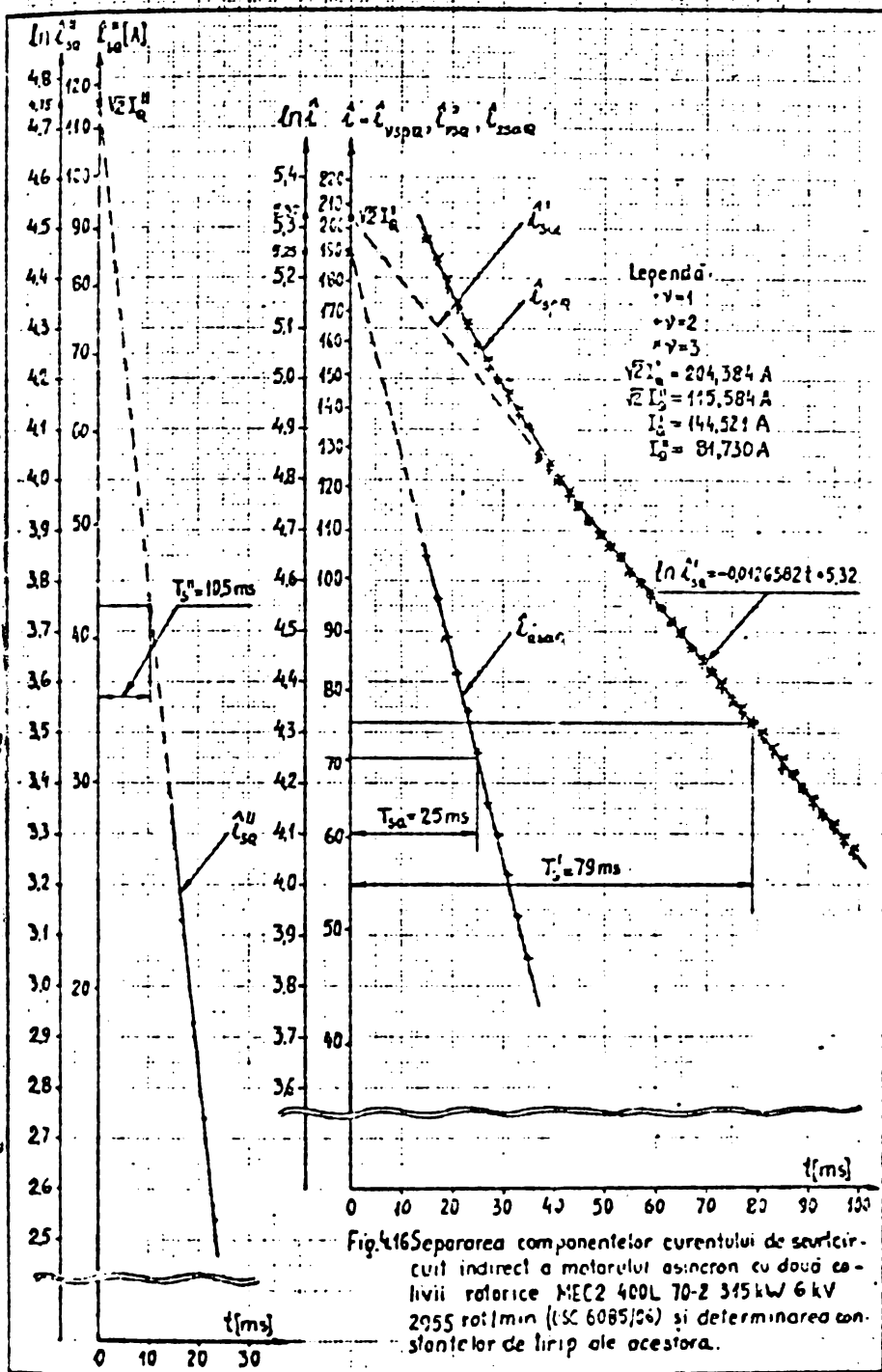


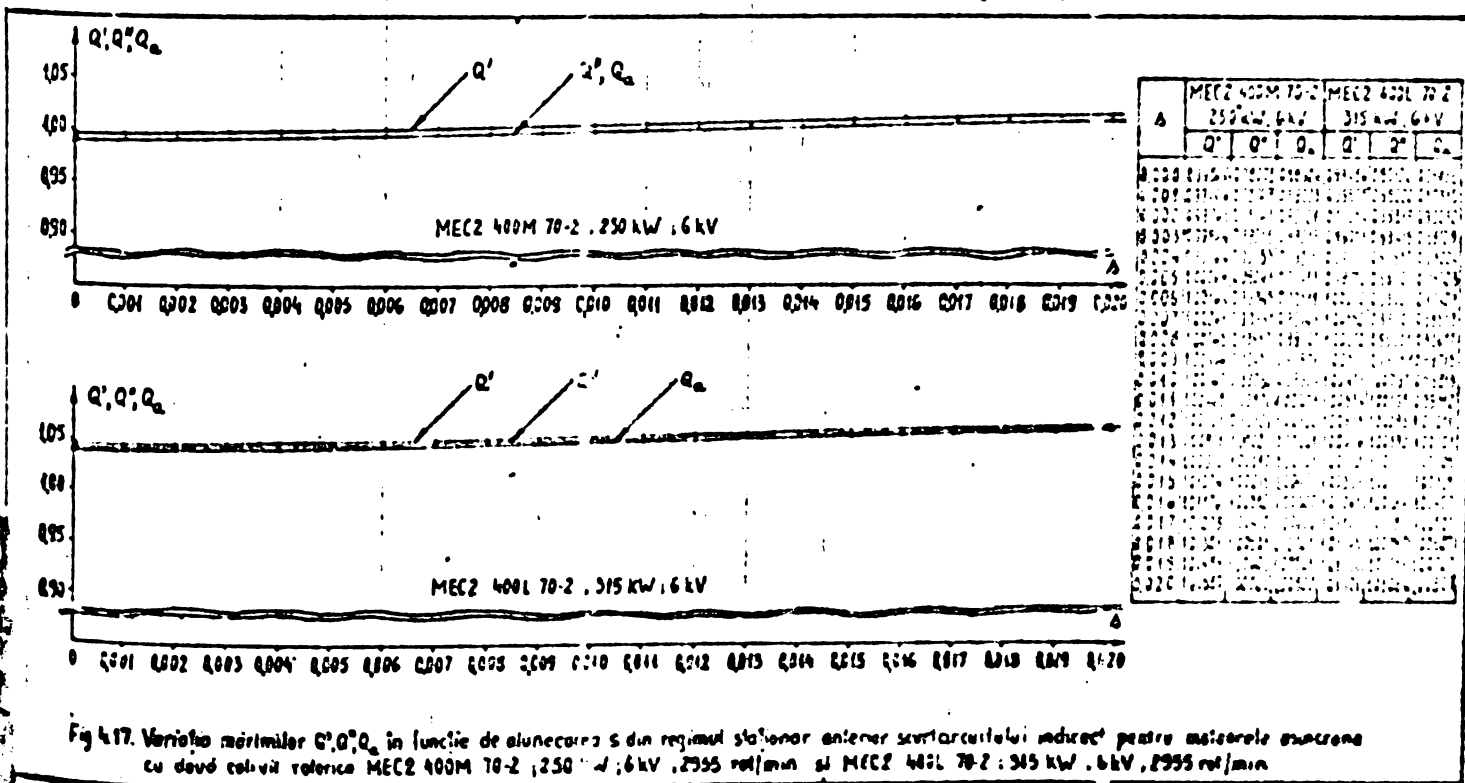
Fig.4.15. Se vorare corectarelor curentilor de scurtcircuit indirect ai motoarelor asincrone cu două colivii rotorice MEC2 400L 70-2 250 kW - 6 kV 2955 rot/min (OSC 6085/06) și determinarea rezistențelor de timp ale acestora.



late aceste mărimi auxiliare și reprezentate în fig.4.17 în funcție de alunecare.

Din analiza diagramelor din fig.4.17 se constată că mărimile auxiliare Q_0, Q', Q'' , la fel ca și mărimile D_0, D', D'' de la scurtcircuitul direct, prezintă funcție de alunecare și o variație extrem de lentă în jurul unității. Din acest motiv, și pentru faptul că înainte de încercarea de scurtcircuit indirect motoarele au funcționat în gol, toate considerentele privitoare la determinarea alunecării s_0 de mers în gol și a valorilor Q', Q'' la această alunecare, sînt similare cu cele referitoare la valorile s_0, D', D'' de la încercarea de scurtcircuit direct. Ca urmare în relațiile (3.85) s-au folosit valorile lui Q', Q'' pentru alunecarea $s = 0$ (mers în gol ideal).

Valorile reactanțelor motoarelor supuse încercării de



scurtcircuit indirect, calculate cu relația (3.85), sînt indicate în tabelul 4.4. În tabelul 4.4 sînt indicate de asemenea abaterile procentuale $a[\%]$ ale valorilor parametrilor obținuți în urma încercării de scurtcircuit indirect, față de valori-

TABELUL 4.4.

Nr. crt	Tip motor	Încercarea	t'_0	U'	U'_0	$I_{Q'}$	$I_{Q''}$	Q'	Q''	T'_{sa}	T'_s	T''_s	X'_s	X''_s	X_s
			ms	V	V	A	A	(los-o)	(los-c)	ms	ms	ms	Ω	Ω	Ω
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	MEC2-400M-70-2 250 kW; 6 kV; 2955 rot/min	Sec. indirect	26	3185,060	3114,132	87,444	75,146	0,99566	0,9877	24,5	57,0	9,5	18,999657	22,680481	44,558843
		Sec. direct	-	-	-	-	-	-	-	23,6	58,2	8,9	18,851255	24,459243	46,218292
		Abatere $a[\%]$	-	-	-	-	-	-	-	-	3,81	-206	6,47	0,787	-7,272
2	MEC2-400L-70-2 315 kW; 6 kV; 2955 rot/min	Sec. indirect	26	3163,475	3113,567	144,521	81,730	0,99456	0,99126	25,0	79,0	10,5	13,670258	17,214721	34,489591
		Sec. direct	-	-	-	-	-	-	-	26,0	75,0	10,0	13,556381	18,195546	37,827726
		Abatere $a[\%]$	-	-	-	-	-	-	-	-	-3,85	5,33	5,00	0,840	-5,39

le aceluiași parametri obținute în urma încercării de scurtcircuit direct. Avînd în vedere că toate rezultatele experimentale au fost obținute în urma aplicării unor metode grafo-analitice de prelucrare a oscilogramelor; se consideră acceptabile valorile acestor abateri procentuale și ca urmare metoda scurtcircuitului indirect poate fi folosită cu rezultate bune pentru determinarea parametrilor tranzitorii ai motoarelor asincrone.

4.1.2.4. Calculul din rezultatele experimentale obținute a parametrilor din schema echivalentă a modelului MA-2C-DCR-UR și a caracteristicilor de frecvență.

Cu ajutorul parametrilor tranzitorii determinați în cap. 4.1.2.1. și 4.1.2.2. au fost calculați, conform indicațiilor din cap. 3.1.5, parametrii din schema echivalentă (reprezentată în fig. 2.6) a modelului MA-2C-DCR-UR, iar conform indicațiilor din cap. 3.1.6 caracteristicile de frecvență ale motoarelor asincrone cu două colivii rotorice supuse încercărilor.

În tabelul 4.5 sînt centralizate valorile în u.r. ale parametrilor schemei echivalente a modelului MA-2C-DCR-UR, calculați din rezultatele experimentale, precum și valorile aceluiași parametri calculați din datele geometrice și constructive ale motoarelor supuse încercărilor. Din datele geometrice și constructive ale motoarelor au fost calculați atât parametrii nesaturați cît și cei saturați, calculul acestora fiind efectuat conform /7/, /23/, /99/, /113/ și prezentat în anexa 4.2. În tabelul 4.5 sînt indicate și abaterile procentuale ale parametrilor calculați din rezultatele experimentale față de cei calculați din datele geometrice și constructive ale motoarelor, drept bază de raportare fiind considerați aceștia din urmă. Analiza acestor abateri arată că în timpul încercărilor de scurtcircuit motoarele funcționează în regim saturat, deoarece cele mai mici abateri procentuale apar între parametrii calculați din datele experimentale și cei calculați din datele geometrice în regim de saturație. În valoare absolută ele nu depășesc 5 % pentru motorul de 250 kW și 10 % pentru motorul de

315 kW, de unde se poate trage concluzia că metoda, expusă în cap.3.1.5, pentru calcularea din parametrii tranzitorii determinați experimental a parametrilor

TABELUL 4.5

Nr crt	Tip motor	Parametrii tranzitorii determinați experimental și mărimi directe calculate din aceștia.							
		$Z_n(U_n)/(VSI_n)$	x''_s	x''_R	B_0	C_0	B^2	C^2	t_{sa}
1	MEC2-400M-70-2-6kV-250kW	443,57740	0,465976	0,2153536	24,080007	366,15262	59,22577	1253,3904	7414,1507
2	MEC2-400L-70-2-6kV-315kW	93,121011	0,1455741	0,1553967	26,703538	517,67164	74,22033	2065,5108	81681409

Nr crt	Tip motor	Mărimi derivate calculate cu relațiile (392) și (393)						
		σ_s	$\varphi(\sigma_s)$	$F(\sigma_s)$	σ_1	σ_2	t_1	t_2
1	MEC2-400M-70-2-6kV-250kW	$3,3712741 \cdot 10^{-2}$	$4,2045467 \cdot 10^4$	$-1,7653149 \cdot 10^6$	$9,3537840 \cdot 10^{-3}$	$3,2603376 \cdot 10^{-2}$	124,57017	244,58245
2	MEC2-400L-70-2-6kV-315kW	$3,0500000 \cdot 10^{-2}$	$7,6376575 \cdot 10^4$	$-4,4583255 \cdot 10^6$	$6,7588708 \cdot 10^{-3}$	$2,8820654 \cdot 10^{-2}$	165,97551	351,69614

Nr crt	Tip motor	Parametrii schemei echivalente a modelului MA-2C-DCR-UR calculați din parametrii tranzitorii determinați experimental									
		\tilde{X}_m	\tilde{X}_{sR}	\tilde{X}_{rR}	\tilde{X}_{2R}	r_s	\tilde{r}_1	\tilde{r}_2	\tilde{x}_s	\tilde{x}_1	\tilde{x}_2
1	MEC2-400M-70-2-6kV-250kW	39321437	$1,371 \cdot 10^8$	$3,322 \cdot 10^8$	$1,325 \cdot 10^8$	$2,230 \cdot 10^8$	$3,196 \cdot 10^8$	$4,002 \cdot 10^8$	$4,069 \cdot 10^8$	$3,762 \cdot 10^8$	$4,006 \cdot 10^8$
2	MEC2-400L-70-2-6kV-315kW	3,9383141	$1,23 \cdot 10^8$	$2,679 \cdot 10^8$	$1,687 \cdot 10^8$	$1,782 \cdot 10^8$	$2,306 \cdot 10^8$	$4,037 \cdot 10^8$	$4,062 \cdot 10^8$	$3,865 \cdot 10^8$	$4,055 \cdot 10^8$

Nr crt	Tip motor	Parametrii nesaturați ai schemei echivalente a modelului MA-2C-DCR-UR calculați din datele geometrice și constructive									
		Valoare (N)	$a(\%) = 100(E-N)/N$	$a(\%) = 100(E-N)/N$	$a(\%) = 100(E-N)/N$	$a(\%) = 100(E-N)/N$	$a(\%) = 100(E-N)/N$	$a(\%) = 100(E-N)/N$	$a(\%) = 100(E-N)/N$	$a(\%) = 100(E-N)/N$	$a(\%) = 100(E-N)/N$
1	MEC2-400M-70-2-6kV-250kW	45418981	-13,42	-15,25	-1,83	+3,56	+4,20	-2,78	2,14	-13,52	-13,33
2	MEC2-400L-70-2-6kV-315kW	44043066	-10,58	-15,81	-7,87	-0,67	+4,20	+1,72	-8,51	-13,75	-10,56

Nr crt	Tip motor	Parametrii saturați ai schemei echivalente a modelului MA-2C-DCR-UR calculați din datele geometrice și constructive									
		Valoare (S)	$a(\%) = 100(E-S)/S$	$a(\%) = 100(E-S)/S$	$a(\%) = 100(E-S)/S$	$a(\%) = 100(E-S)/S$	$a(\%) = 100(E-S)/S$	$a(\%) = 100(E-S)/S$	$a(\%) = 100(E-S)/S$	$a(\%) = 100(E-S)/S$	$a(\%) = 100(E-S)/S$
1	MEC2-400M-70-2-6kV-250kW	39471019	-0,38	-1,71	-2,68	-2,67	+4,20	-3,61	2,98	-0,31	-0,41
2	MEC2-400L-70-2-6kV-315kW	37065368	+4,55	+4,57	-8,66	-1,50	+1,20	-0,85	-7,09	+4,54	+4,54

schemei echivalente a modelului MA-2C-DCR-UR este corectă și suficient de exactă.

În tabelul 4.5 sînt de asemenea indicate valorile în u.r. ale constantelor $B_0, C_0, B^2, C^2, t_{sa}, x''_s$, calculate cu ajutorul parametrilor tranzitorii determinați

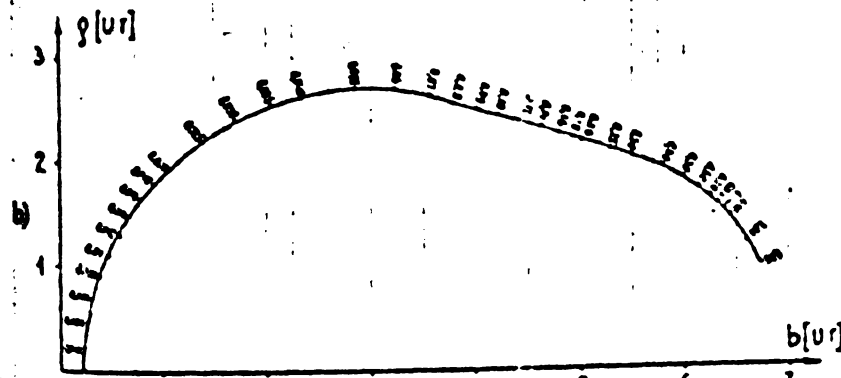
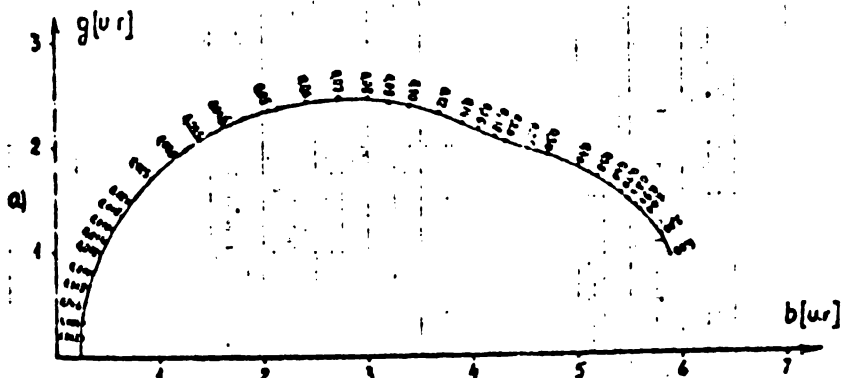


Fig.4.18. Caracteristicile de frecvență ale motoarelor asincrone cu două cavități rotorice:
 a) motor tip MEC2 400M 70-2 : 250kW : 6 kV : 2955 rot/min
 b) motor tip MEC2 400L 70-2 : 315 kW : 6 kV : 2955 rot/min

n	MEC2-400M-70-2 6kV-250kW-2955rot/min		MEC2-400L-70-2 6kV-315kW-2955rot/min	
	b[ur]	g[ur]	b[ur]	g[ur]
2000	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2002	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2004	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2006	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2008	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2010	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2012	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2014	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2016	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2018	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2020	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2022	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2024	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2026	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2028	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2030	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2032	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2034	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2036	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2038	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2040	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2042	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2044	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2046	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2048	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2050	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2052	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2054	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2056	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2058	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2060	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2062	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2064	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2066	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2068	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2070	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2072	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2074	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2076	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2078	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2080	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2082	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2084	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2086	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2088	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2090	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2092	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2094	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2096	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2098	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549
2100	0,2401145	0,0019549	0,2401145	0,0019549

experimental în cap.4.1.2.1 și 4.1.2.2. Cu aceste valori au fost obținute carac-

teristicile de frecvență în u.r. ale motoarelor supuse încercărilor, conform indicațiilor din cap.3.1.5. Caracteristicile de frecvență obținute sînt reprezentate în fig.4.18.

4.1.3. Incercări experimentale cu motoare asincrone cu colivie rotorică cu bare înalte.

4.1.3.1. Incercări de scurtcircuit direct și de deconectare și rezultatele experimentale obținute în urma acestora.

Pentru a verifica experimental posibilitatea de echivalare a motorului asincron cu o colivie rotorică cu bare înalte, din punct de vedere al comportării sale în timpul scurtcircuitului, cu un motor cu două colivii rotorice au fost efectuate încercări de deconectare și de scurtcircuit direct la borne pentru motoarele asincrone cu o colivie rotorică cu bare înalte ale căror caracteristici de catalog sînt redate în tabelul 4.6.

TABELUL 4.6.

Nr crl	Tip motor	U _n	P _n	I _n	cos φ _n	n _n	s _n	η	I ₀	cos φ ₀	P ₀	P _{cu0}	P _{MV}	P _{Fe}	U _{scn}	I _{sc}	cos φ _{sc}	P _{sc}	M _{max} M _n	M _p M _n	I _p I _n	GD ²
		kV	kW	A	-	rot/min	-	%	A	-	kW	kW	kW	kW	V	A	-	kW	-	-	-	da ² /m ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	M1B2-Exe II- T3-450Y-110-6	6	400	502	0,825	992	0,008	93,3	214	0,074	16,45	125	6,15	9,05	975	350	0,250	2,1	3,05	1,22	7,0	830
2	MAB2-400Y- -100-4	6	315	372	0,870	1485	0,010	93,2	130	0,078	10,50	100	4,00	5,50	960	235	0,297	1,8	2,60	1,30	6,2	259

Au fost oscilografiate curenții de scurtcircuit și tensiunile reziduale ale motoarelor respective. În fig.4.19 se prezintă o oscilogramă obținută în urma unei încercări de scurtcircuit direct, iar în fig.4.20 și 4.21 oscilograme ale tensiunii reziduale a motoarelor respective.

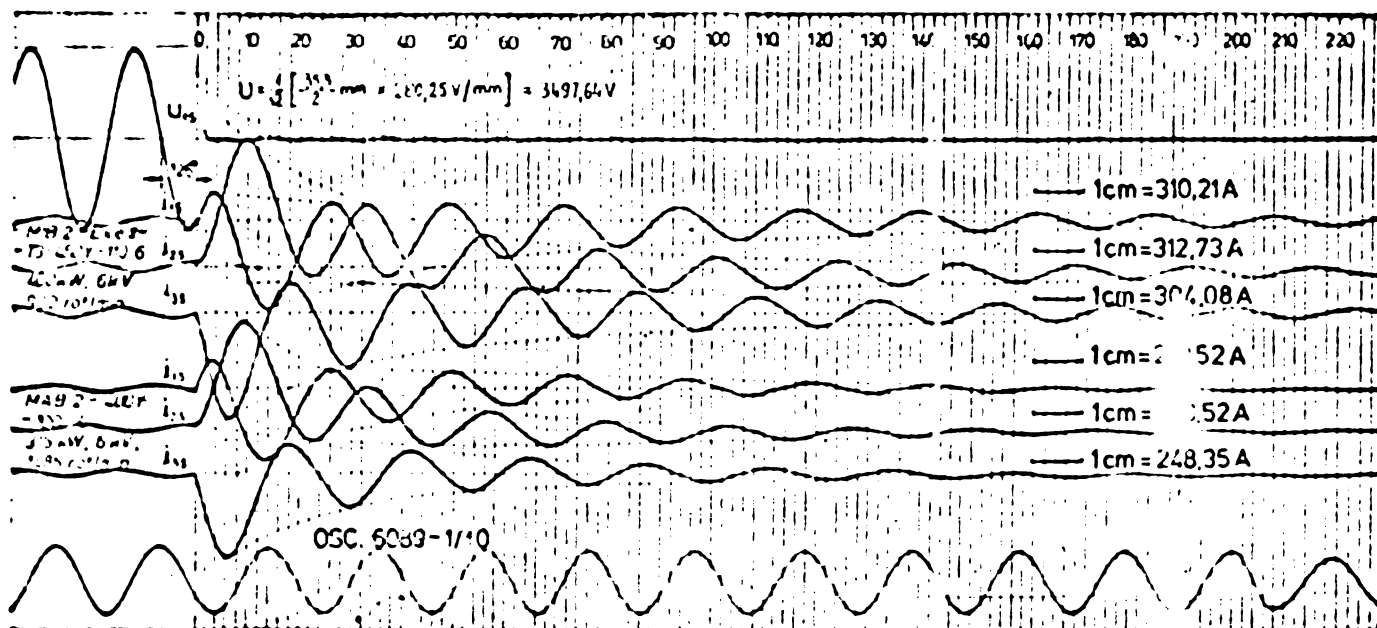


Fig 4.19. Oscilogramă a curenților de scurtcircuit direct ucițali spre locul de scurtcircuit al motoarelor asincrone cu bare înalte M1B2-Exe II-T3 450Y-110-6, 6kV, 400kW, 992 rot/min și MAB2-400Y-100-4, 6kV, 315kW, 1485 rot/min, când scurtcircuitul are loc la bornele motoarelor.

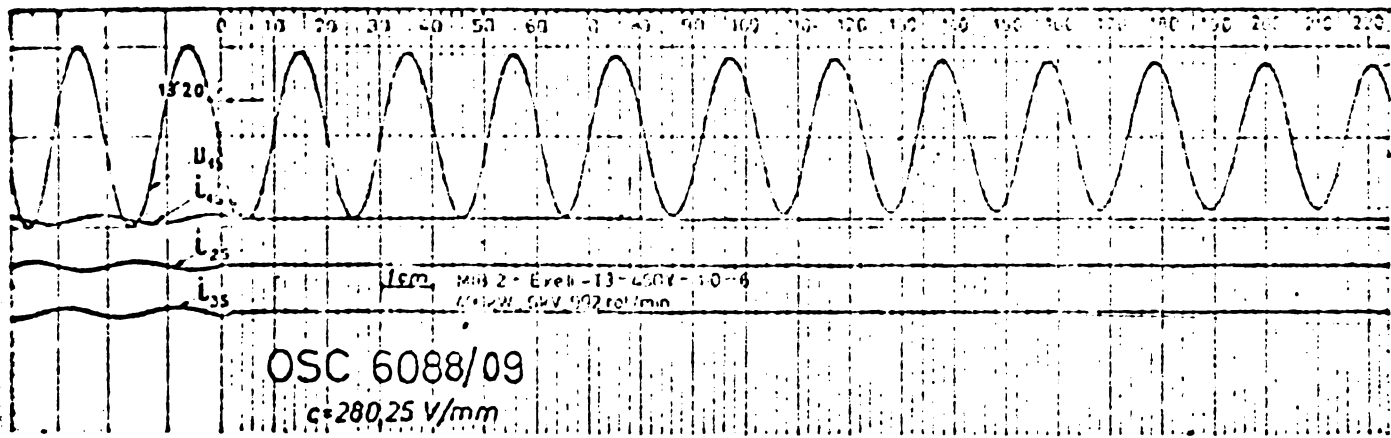


Fig.4.20. Oscilogramă a tensiunii reziduale a motorului asincron cu o colivie rotorică cu bare înalte MIB2-EreE-73-450V-10-6, 400kW, 992 rot/min.

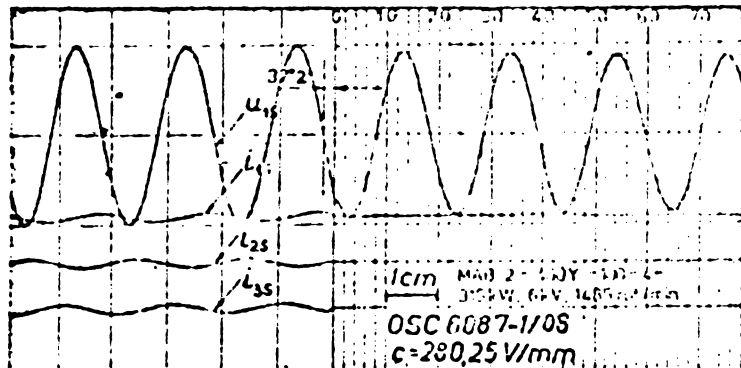


Fig.4.21. Oscilogramă a tensiunii reziduale a motorului asincron cu o colivie rotorică cu bare înalte MAB2-60-Y-100-4, 6kV, 315kW, 1485 rot/min.

Oscilogramele obținute în urma încercărilor de scurtcircuit direct și a încercărilor de deconectare au fost prelucrate după metoda propusă pentru motoarele cu două colivii rotorice (cap.4.1.1). Conform acestei metode, s-a admis că și în cazul motorului cu o colivie rotorică cu bare înalte ca și în cazul celui cu două colivii rotorice, curentul de scurtcircuit poate fi aproximat cu destulă precizie ca o sumă dintre o componentă aperiodică și două componente periodice de frecvență $(1-s)f$, iar tensiunea reziduală ca o sumă dintre o componentă periodică amortizată de frecvență înaltă și două componente periodice amortizate de frecvență $(1-s)f$, unde s este alunecarea motorului înainte de scurtcircuit, respectiv de deconectare, iar f este frecvența din regimul staționar anterior încercărilor. Aceste aproximații s-au dovedit destul de precise, deoarece folosind metoda respectivă de separare a celor trei componente ale curentului de scurtcircuit, respectiv ale tensiunii reziduale, s-a constatat că sînt îndeplinite toate condițiile de la punctele 6), 10), 11), 12), 13) ale metodei respective (a se vedea cap.4.1.1).

A fost efectuată separarea componentelor curenților de scurtcircuit direct din oscilograma din fig.4.19, iar în diagramele din fig.4.22 și fig.4.23 au fost determinate constantele de timp T'_{sa}, T'_s, T''_s , precum și mărimile $\sqrt{2}I', \sqrt{2}I''$. De asemenea a fost efectuată separarea componentelor tensiunii reziduale din oscilogramele din fig.4.20 și 4.21, iar în diagramele din fig.4.24 și 4.25 au fost determinate constantele de timp T'_{s0}, T''_{s0} , precum și mărimile $\sqrt{2}U', \sqrt{2}U''$.

Analiza abaterilor procentuale $a_{j3}[\%]$, obținute în urma separării componentelor curentului de scurtcircuit direct și tensiunii reziduale, precum și analiza diagramelor din fig.4.22, 4.23, 4.24, 4.25 arată că, în sistemul de coordonate semilogaritmice, componentele curentului de scurtcircuit, respectiv ale tensiunii

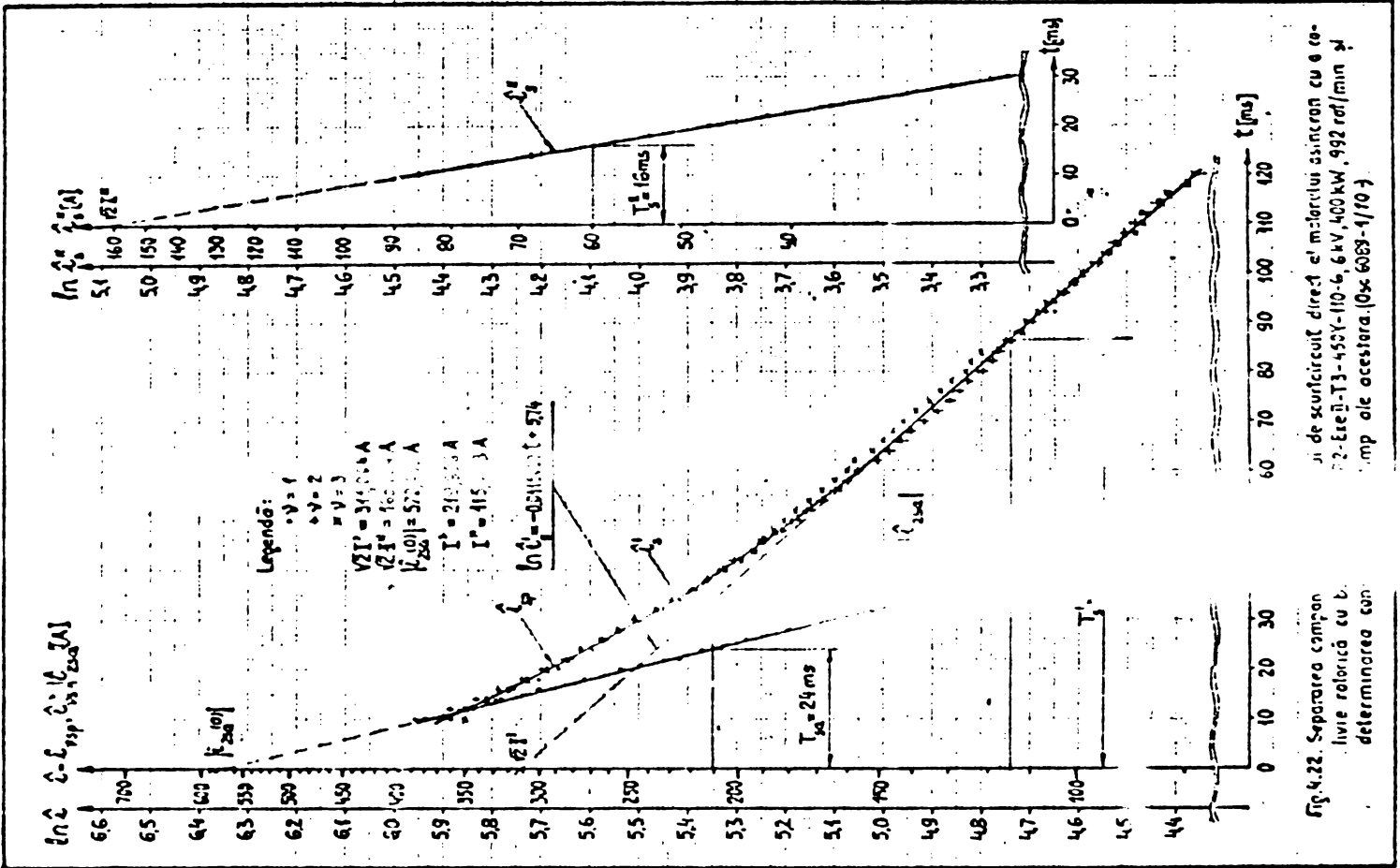


Fig. 4.22. Separarea componentelor curentului de scurtcircuit direct al motorului asincron cu o bobina de bobinaj cu o bobina de bobinaj asincron cu o bobina de bobinaj. (0x-6089-1/10)

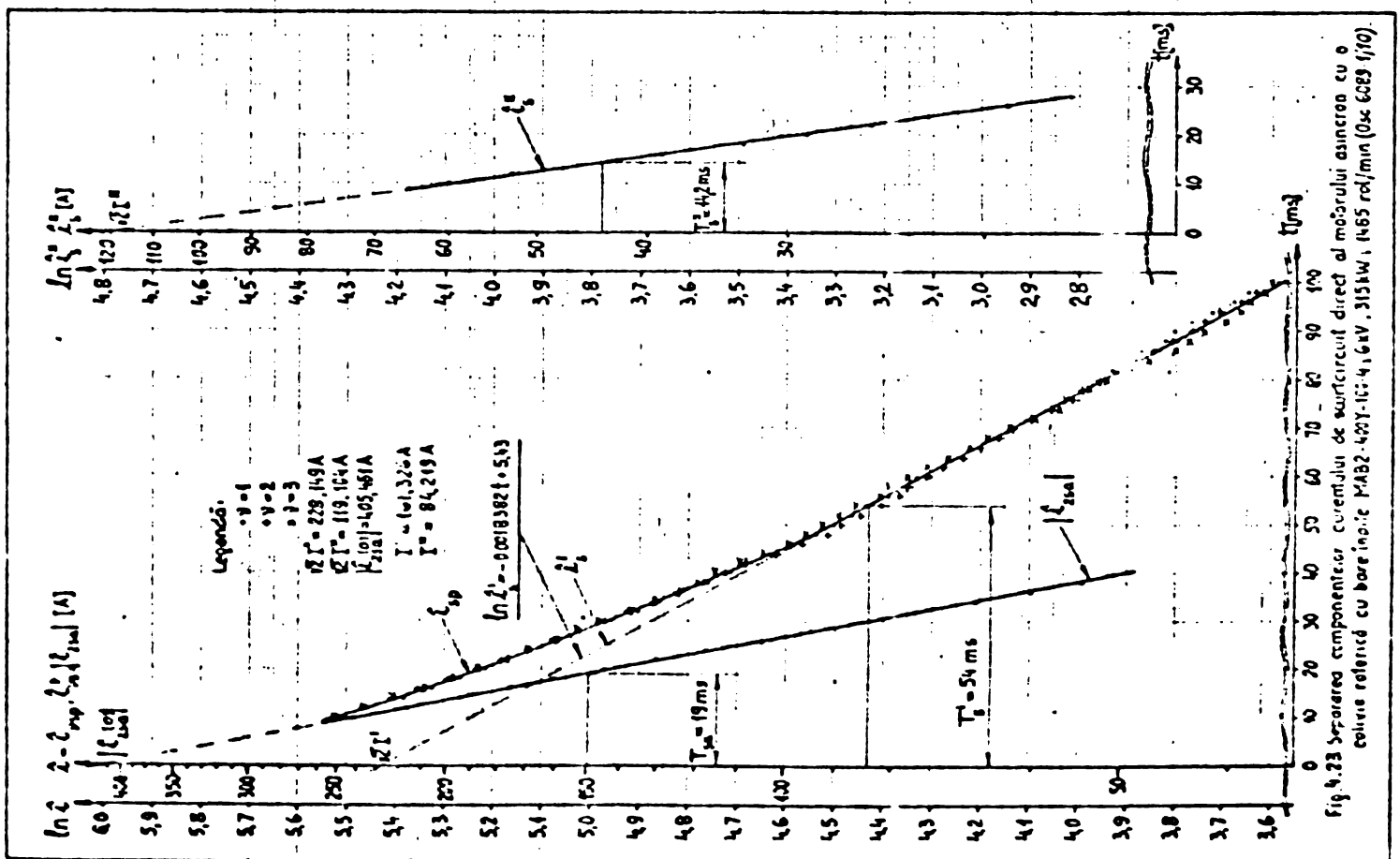
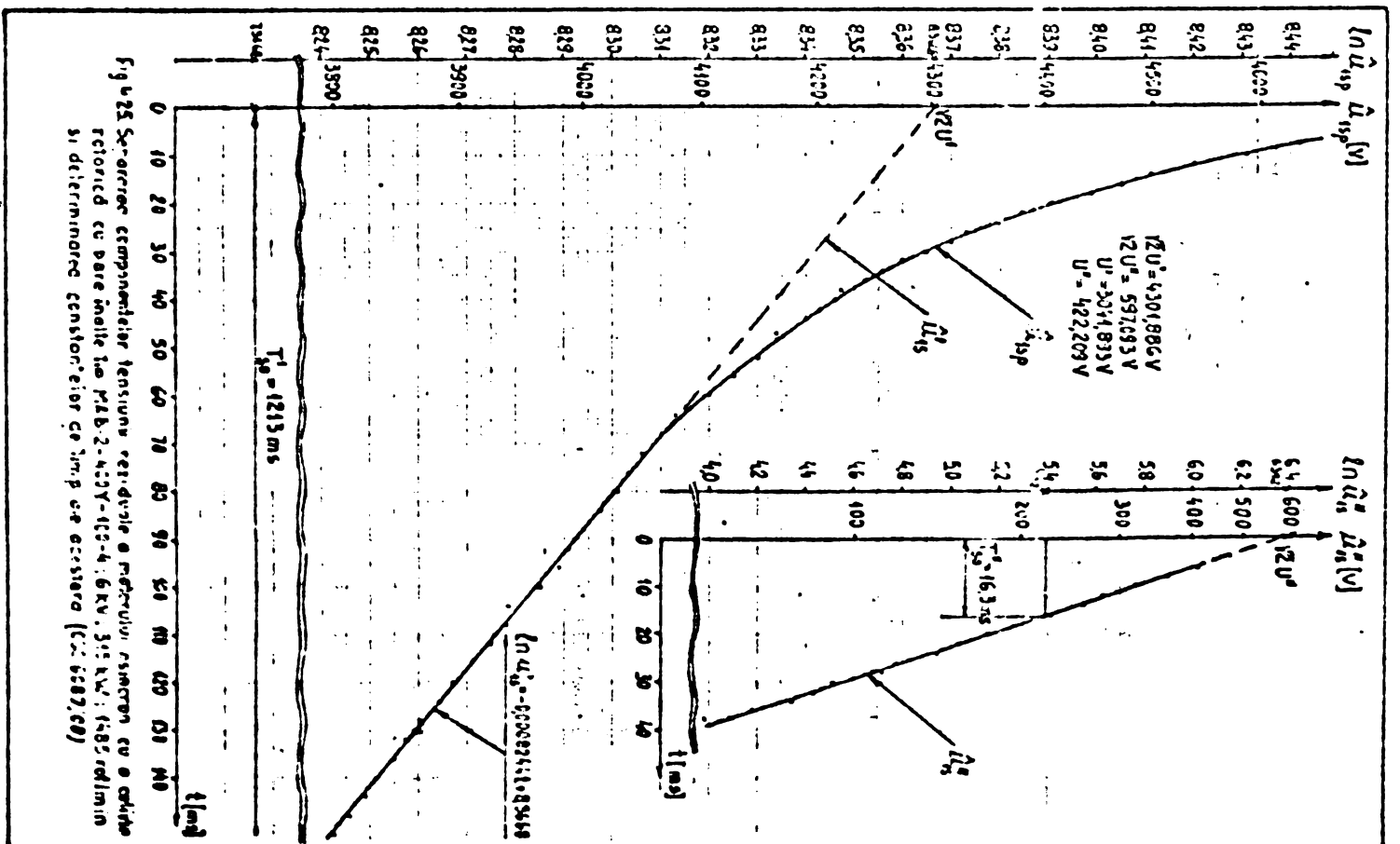
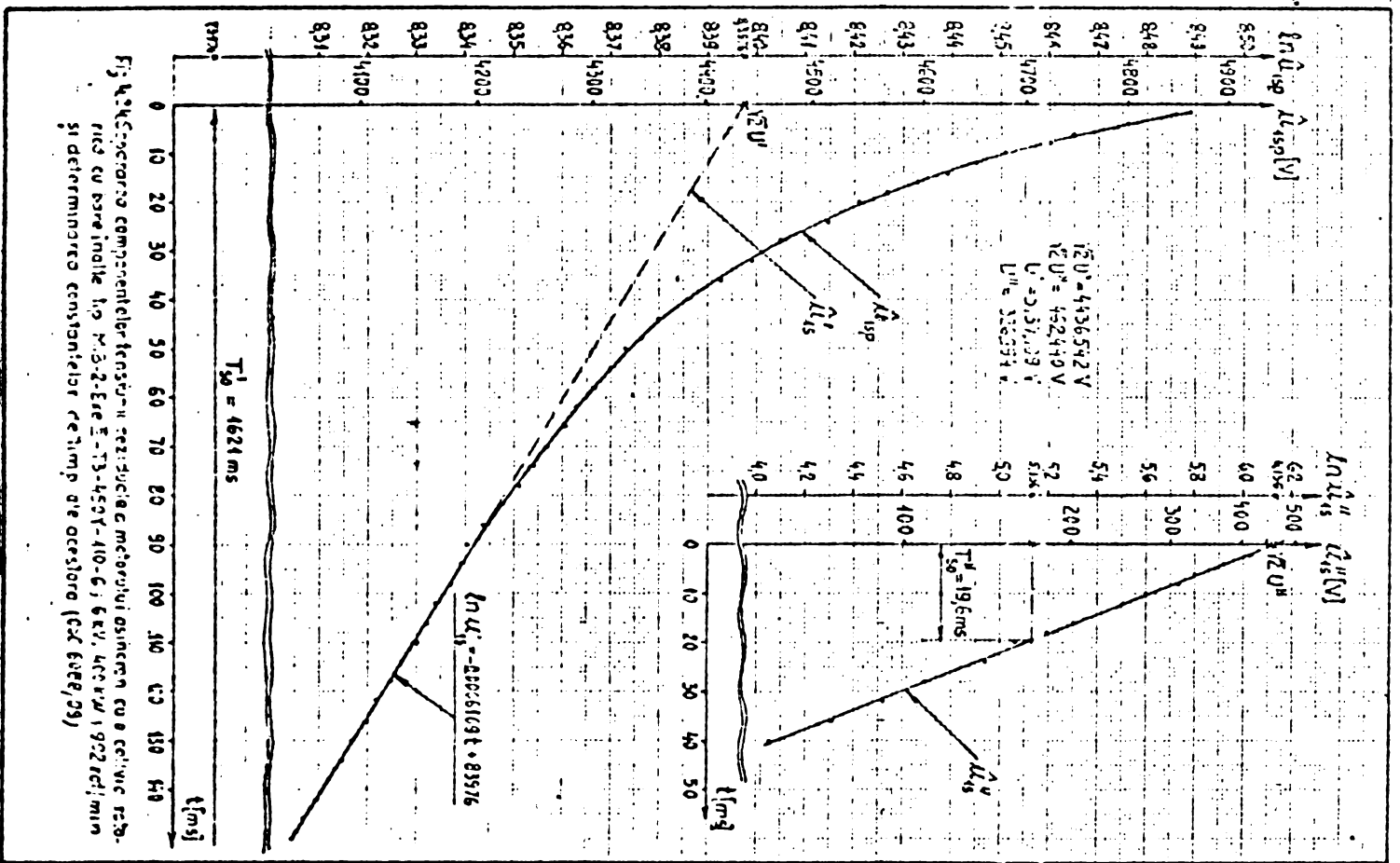


Fig. 4.23 Separarea componentelor curentului de scurtcircuit direct al motorului asincron cu o bobina de bobinaj cu o bobina de bobinaj asincron cu o bobina de bobinaj. (0x-6089-1/10)



ni reziduale se situează cu suficientă exactitate pe drepte, lucru ce permite determinarea constantelor de timp și a mărimilor $\sqrt{2}I'$, $\sqrt{2}I''$, $\sqrt{2}U'$, $\sqrt{2}U''$. Cu alte cuvinte, motorul asincron cu o colivie rotorică cu bare înalte se comportă în timpul unui scurtcircuit la bornele sale și în timpul de conectare în mod similar cu motorul cu două colivii rotorice. Rezultă că valoarea curentului de scurtcircuit, respectiv a tensiunii reziduale a motorului cu o colivie rotorică cu bare înalte este descrisă cu suficientă precizie de relația (3.54), respectiv (4.77), relații găsite pentru motorul asincron cu două colivii rotorice, și ca urmare motorul asincron cu o colivie rotorică cu bare înalte poate fi echivalat cu suficientă precizie cu un motor asincron cu două colivii rotorice.

Rezultatele experimentale obținute în urma prelucrării oscilogramelor sînt centralizate în tabelul 4.7.

TABELUL 4.7.

Nr. crt.	Tip motor	I_n	$\cos \varphi_n$	Mărimi măsurate în regim staționar anterior probei (mers în gol)				Mărimi primare obținute:														
				$U = \frac{U_n}{\sqrt{3}}$	$\frac{\cos \varphi}{\cos \varphi_0}$	$\varphi = \varphi_0$	$l = l_0$	prin măsurători directe pe oscilograme:							prin prelucrarea oscilogramelor:							
								ε_1	ε_2	ε_3	I_{soc}	$\hat{I}_{sp}(0,1)$	T_{sa}	T'_s	T''_s	I'	I''	$\hat{I}_{2sa}(0,1)$	T'_{50}	T''_{50}	U'	U''
A	V	°	A	°	°	A	A	ms	ms	ms	A	A	A	ms	ms	V	V					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	M132-Ere-75-450V 116.4kW-6kV	502	0,825	346,4	0,074	85°3'	21,4	306	186	66	666,189	98,689	24	86,5	16,0	219,55	115,403	572,49	1621	19,6	3137,109	326,921
2	M132-400V-100-6 315kW-6kV	372	0,870	346,4	0,078	85°32'	13,0	306	136	66	453,066	36,263	19	54,0	14,2	161,326	84,219	405,45	213	16,3	3041,893	422,203
Mărimi derivate din cele primare:																						
Nr. crt.	$\hat{I}_{sp}(0,1)$	I_{po}	I_{spo}	$k_{soc} = \frac{ I_{soc} }{I_{spo}}$	$k_n = \frac{ I_{soc} }{\sqrt{2}I_n}$	$k_{a1} = \frac{\hat{I}_{sp}(0,1)}{\sqrt{2}I_n}$	$k_{o,1} = \frac{\hat{I}_{sp}(0,1)}{\sqrt{2}I_n}$	$\frac{k_{a1} - k_{o,1}}{k_{a1}}$	$S_{x0,1} = \frac{k_{a1} P_n}{\cos \varphi_n}$	a	b_1	b_2	κ_1	κ_2								
															A	A	A	-	-	-	-	%
24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38								
1	97,898	335,359	474,269	4,405	9,384	4,389	4,379	0,720	673,455	11,266667	11,560694	0,0000	0,6169031	51,021408								
2	35,807	245,545	347,283	4,305	8,612	0,689	0,631	1,215	249,466	5,2631579	12,518519	7,0422535	0,8244623	61,345493								

Mărimea $\hat{I}_{sp}(0,1)$ a fost calculată cu relația (4.19).

Examinarea acestor rezultate conduce la următoarele concluzii :

- Ca și în cazul motoarelor asincrone cu două colivii rotorice și la motoarele asincrone cu o colivie rotorică cu bare înalte există diferențe cantitative foarte mari între valorile constantelor de timp T'_s și T''_s ($T'_s \gg T''_s$), respectiv între valorile constantelor de timp T'_{50} și T''_{50} ($T'_{50} \gg T''_{50}$). De asemenea constanta de timp T_{sa} este mult mai mică decât T'_s .

- Valorile mari obținute pentru contribuția $S_{x0,1}$ a motoarelor asincrone cu o colivie cu bare înalte la puterea de scurtcircuit, în comparație cu puterea lor nominală P_n , conduce la concluzia că nu se poate neglija această contribu-

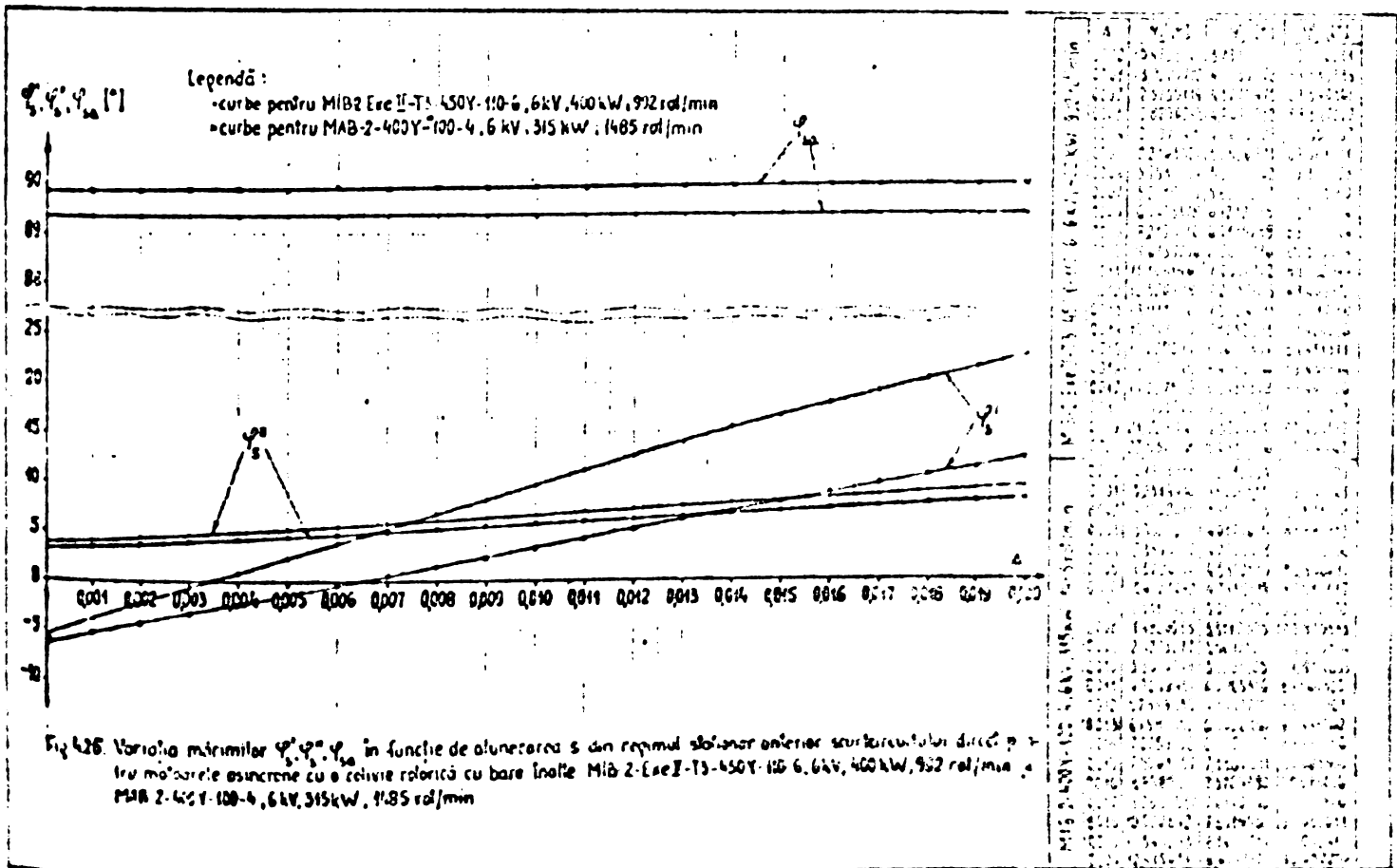
ție nici în cazul acestui tip de motor.

-Se remarcă valorile foarte mari ale curenților de șoc față de curentul nominal (a se vedea valorile coeficientului k_n din tabelul 4.7), ceea ce arată că nu se pot neglija curenții de șoc nici pentru acest tip de motor.

-Există o concordanță foarte bună între valorile $f_{sp}(0,1)$, respectiv $k_{0,1}$, obținute prin măsurători directe și cele obținute prin calcul aplicând relația (4.19). Abaterile procentuale ale valorilor $f_{sp}(0,1)$ calculate, față de cele obținute din oscilogramă sînt de 0,72 % pentru motorul de 400 kW și de 1,215 % pentru motorul de 315 kW.

4.1.3.2. Determinarea din rezultatele experimentale obținute a curenților de șoc maximi, a coeficienților k_{soc} , $k_{n.M}$ și a reactanțelor X'_s , X''_s , X_s .

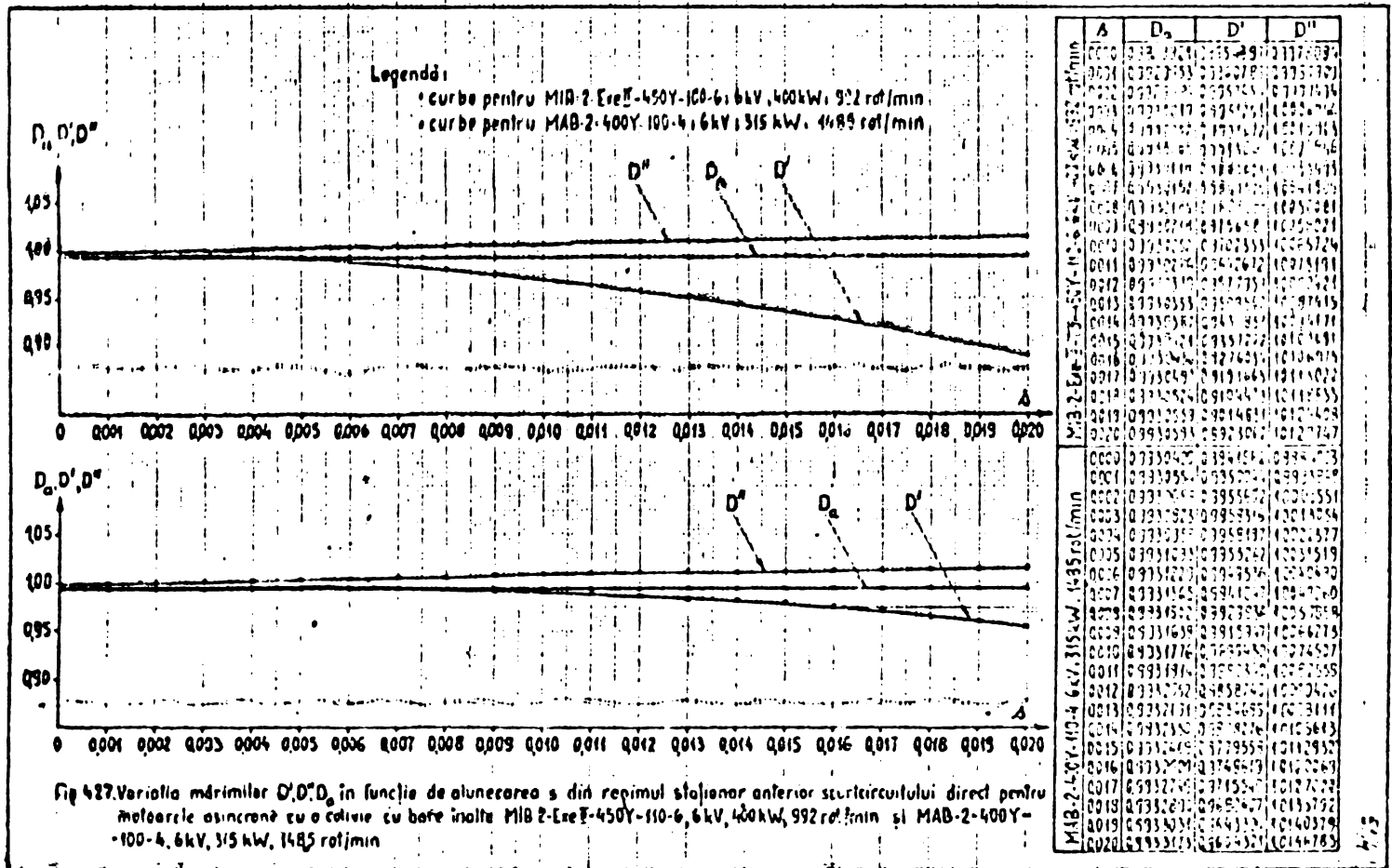
Rezultatele experimentale obținute în cap.4.1.3.1. au permis calculul cu relația (3.68) a reactanțelor X'_s , X''_s , X_s pentru motoarele asincrone cu o colivie rotorică cu bare înalte supuse încercărilor. Ca și pentru motoarele asincrone cu două colivii rotorice, în prealabil au fost determinate variațiile mărimilor auxiliare D_s , D' , D'' , φ'_{sa} , φ'_s , φ''_s în funcție de alunecarea s din regimul staționar anterior încercărilor (fig.4.26 și 4.27). Analiza curbelor de variație a



acestor mărimi auxiliare în funcție de alunecarea s conduce la aceleași concluzii ca și în cazul motoarelor cu două colivii rotorice (a se vedea cap.4.1.2.2), o dovadă în plus că motorul asincron cu o colivie rotorică cu bare înalte poate fi echivalat cu un motor asincron cu două colivii rotorice.

Avînd în vedere că înaintea încercărilor de scurtcircuit și de deconectare, motoarele supuse acestor încercări au funcționat în gol, cu observațiile din cap.

4.1.2.2 referitoare la determinării alunecării de ners în gol s_0 și a valorilor la această alunecare a mărimilor auxiliare, au fost calculate cu relația (3.63)



și conținute în tabelul 4.8 valorile reactanțelor X''_s , X'_s , X_s .

În tabelul 4.8 sînt indicate și valorile mărimilor auxiliare care au fost folosite în calcule, precum și valorile curentului I_a , calculate cu relațiile de

TABELUL 4.8.

Nr. cr.	Tip motor	φ_{sc} (ln s=0)	φ'_s (ln s=0)	φ''_s (ln s=0)	D_a (ln s=0)	D' (ln s=0)	D'' (ln s=0)	X''_s	X'_s	X_s	I_a (3.69)	I_a (3.70)	$\alpha=100$ (%) (11)	$\beta=100$ (%) (12)	$\gamma=100$ (%) (13)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	MAB-2-Ere II-450Y-110-6	83,32661	54,73034	37,93966	9992992	9995439	9997805	1,842553	12,73361	225,9472	342469	354,34	-1,370	28580	-0,157
2	MAB-2-400Y-100-4	82,85238	64,97193	24,1215	9993304	9994450	9998460	1,350113	16,53159	316,1253	254,794	254,065	-0,497	150195	-10,109

verificare (3.69), (3.70). Abaterile între valorile obținute pentru curentul I_a este de -1,37 % pentru motorul de 400 kW și de -0,497 % pentru cel de 315 kW. Aceste abateri mici indică, pe de o parte că metoda de prelucrare a oscilogramelor propusă pentru motoarele cu două colivii rotorice este aplicabilă și celor cu o colivie cu bare înalte și că relațiile analitice ale curentului de scurtcircuit și tensiunii reziduale găsite pentru motoarele asincrone cu două colivii rotorice sînt valabile și pentru cele cu o colivie rotorică cu bare înalte, iar pe de altă parte că motorul asincron cu o colivie rotorică cu bare înalte poate fi echivalat cu un motor asincron cu două colivii rotorice.

Pe baza datelor experimentale obținute în cap.4.1.3.1 pentru motoarele cu o colivie rotorică cu bare înalte, au fost apoi calculate, în funcție de aluneca-

4.1.3.3. Incercări de scurtcircuit indirect și rezultatele experimentale obținute în urma acestora.

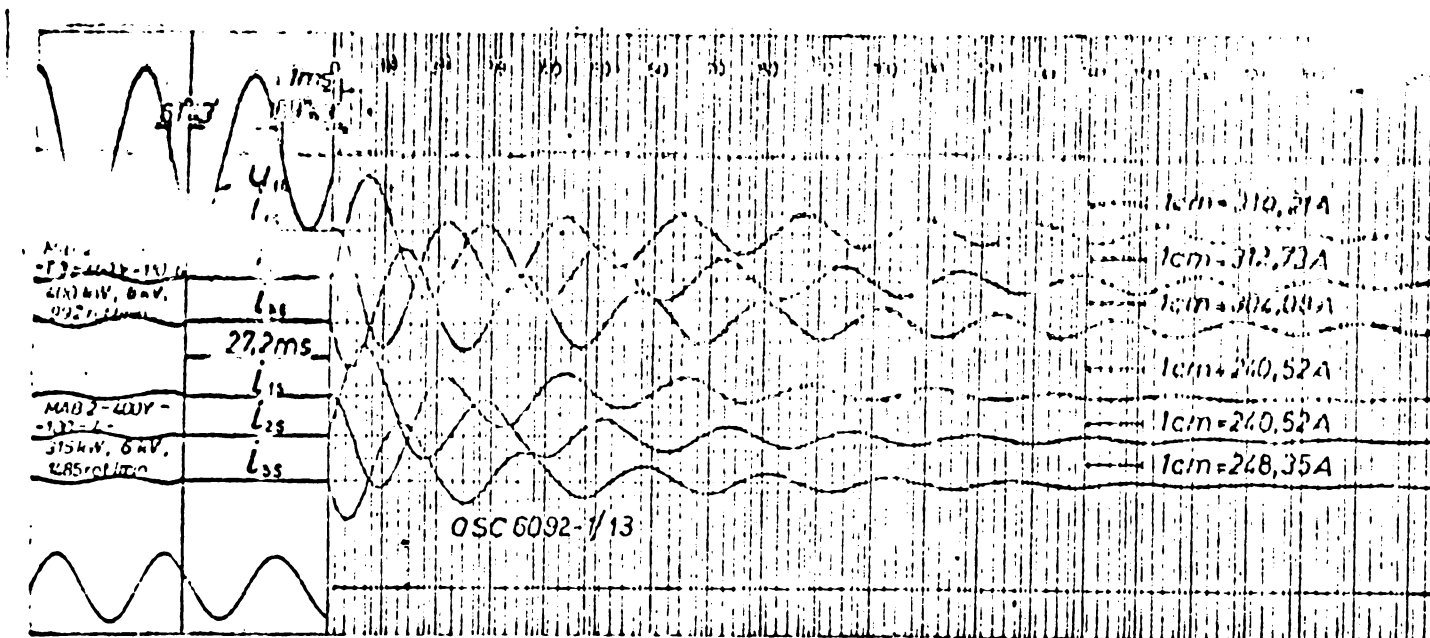


Fig.4.29 Oscilogramă a curenților de scurtcircuit indirect ai motoarelor asincrone cu o colivie rotorică cu bare înalte MIB2-Exe II-T3-450V-110-6: 6 kV, 403 kW, 992 rot/min și MAB2-400V-100-4, 6 kV, 315 kW, 1485 rot/min.

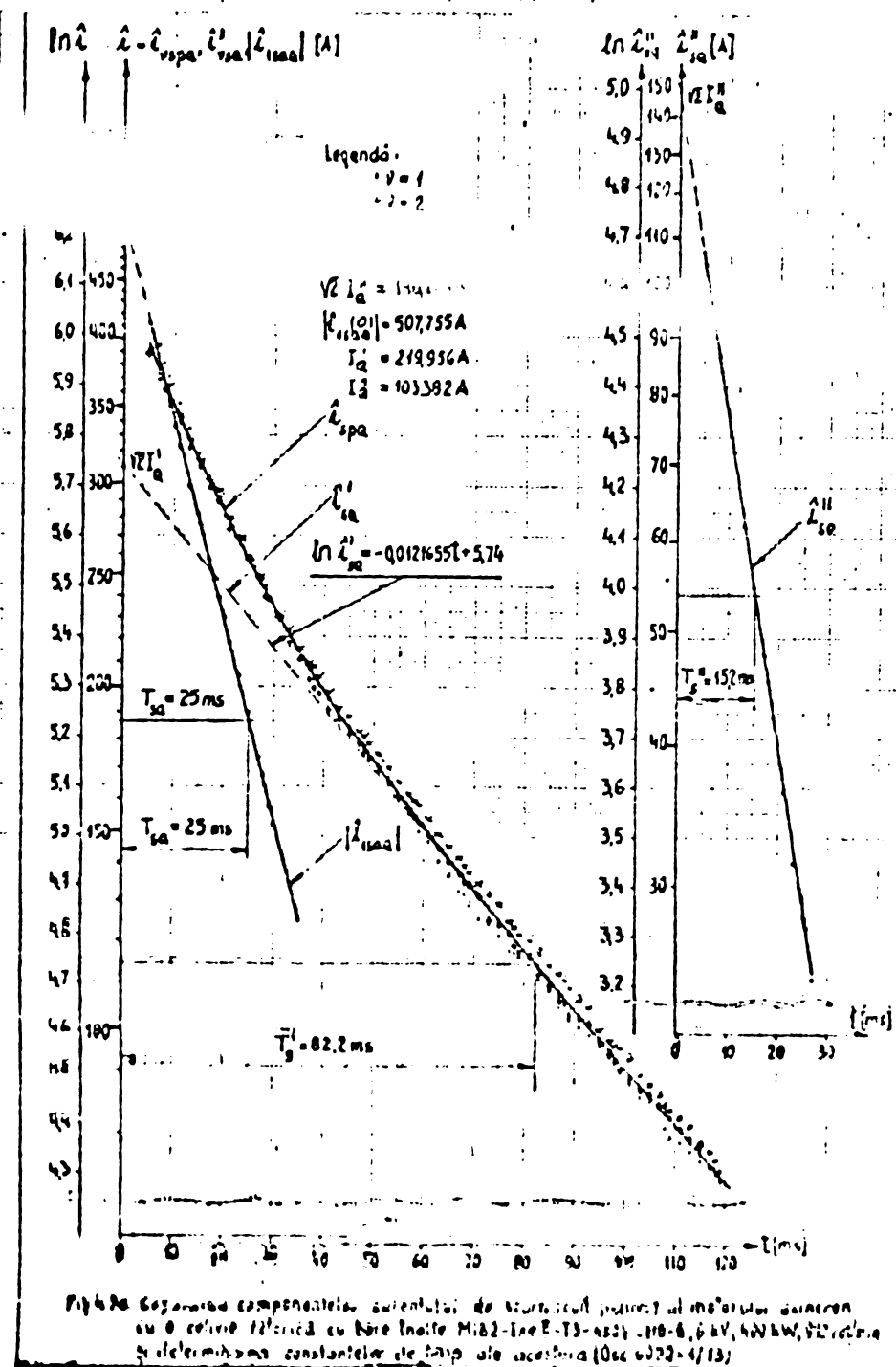
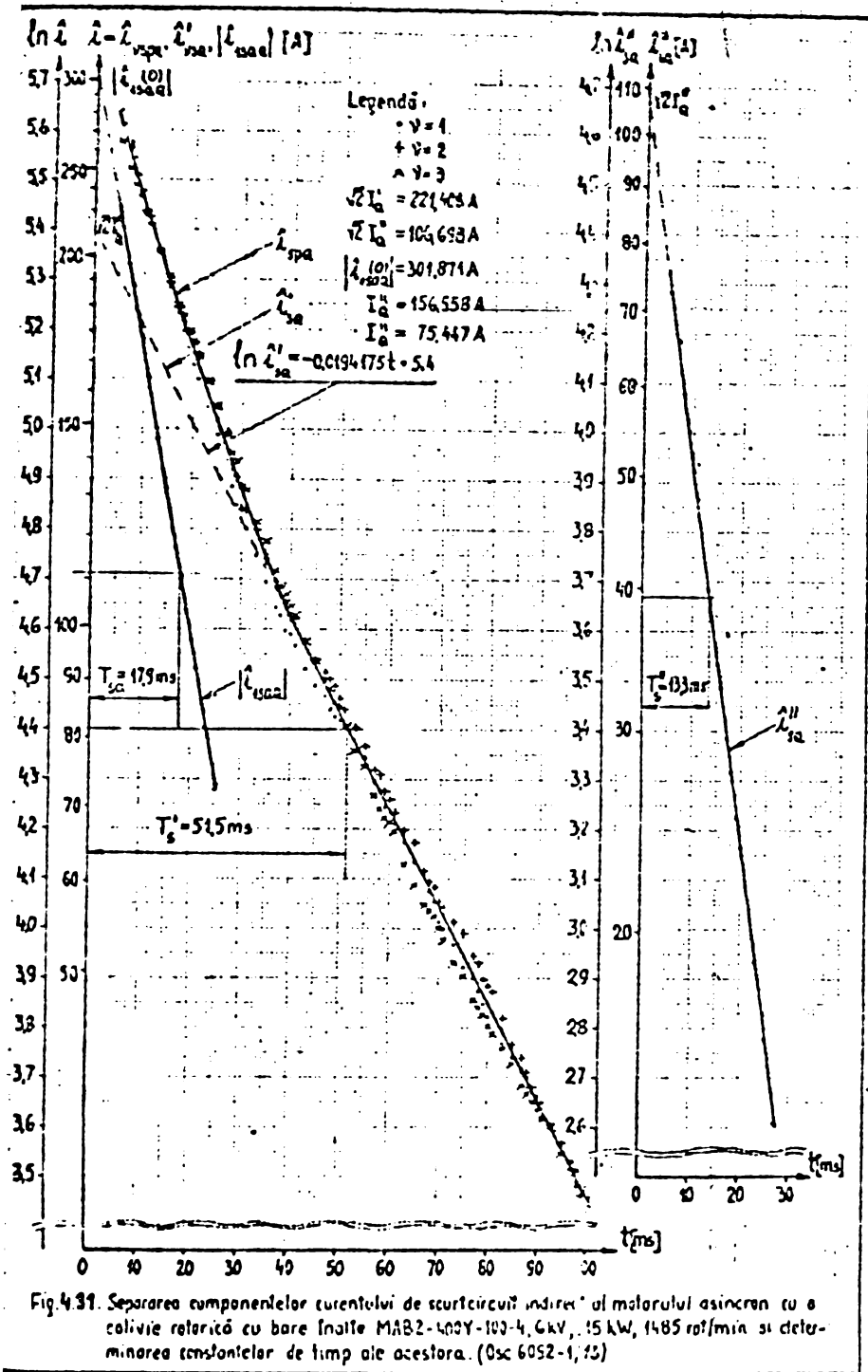


Fig.4.30 Descompunerea componentelor curenților de scurtcircuit indirect al motorului asincron cu o colivie rotorică cu bare înalte MIB2-Exe II-T3-450V-110-6: 6 kV, 403 kW, 992 rot/min și determinarea constantelor de timp ale acestuia (OSC 6092-1/13)

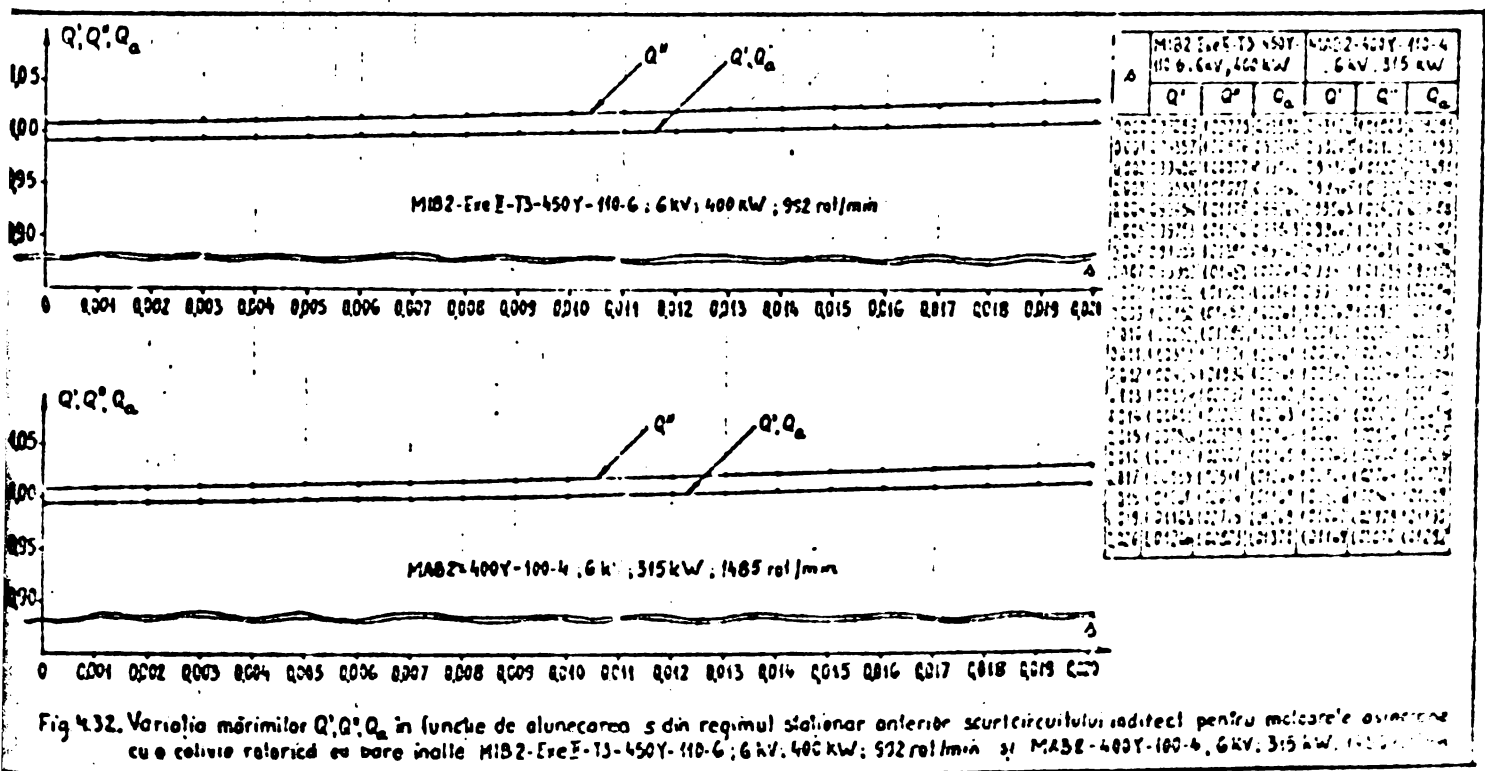
Deoarece folosirea metodei scurtcircuitului indirect pentru determinarea parametrilor tranzitorii dă rezultate bune în cazul motoarelor asincrone cu două colivii rotorice (a se vedea cap.4.1.2.3) și întrucât, așa după cum s-a văzut motorul asincron cu o colivie rotorică cu bare înalte poate fi echivalat cu un motor cu două colivii rotorice, rezultă că metoda scurtcircuitului indirect va trebui să dea rezultate bune și pentru motoarele asincrone cu o colivie rotorică cu bare înalte. Pentru verificarea acestui lucru, motoarele asincrone cu o colivie rotorică cu bare înalte cu caracteristicile din tabelul 4.6 au fost supuse încercării de scurtcircuit indirect. Înaintea încerc-



...ării motoarelor, acestea au funcționat în gol. În fig. 4.29 se indică un exemplu de oscilogramă a curentilor de scurtcircuit indirect obținută pentru motoarele respective.

Oscilogramele curentilor de scurtcircuit indirect au fost prelucrate după metoda folosită pentru motoarele cu două colivii rotorice. Astfel a fost efectuată separarea componentelor curentului de scurtcircuit indirect din oscilograma din fig. 4.29, iar în diagramele din figurile 4.30 și 4.31 au fost obținute constantele de timp ale motoarelor supuse încercării scurtcircuitului indirect, precum și curentii $\sqrt{2}I_{sc}^1$, $\sqrt{2}I_{sc}^2$. Rezultatele experimentale obținute în urma prelucrării oscilogramelor sînt centralizate în tabelul 4.9.

Procedînd în mod cu totul similar ca și pentru motoarele cu două colivii rotorice, s-a



calculat apoi cu ajutorul relației (3.84) variația mărimilor auxiliare Q', Q'', Q_0 în funcție de alunecarea s din regimul staționar anterior încercării (fig.4.32).

Din fig.4.32 se observă că și pentru motoarele asincrone cu o colivie rotorică cu bare înalte, ca și pentru cele cu două colivii rotorice, mărimile auxiliare Q_0, Q', Q'' prezintă o variație extrem de lentă în jurul unității.

Cu ajutorul relației (3.85) au fost apoi calculate reactanțele X'_s, X''_s . Pentru stabilirea valorilor U', t_0, U'_0, Q', Q'' , necesare pentru determinarea cu ajutorul relației (3.85) a reactanțelor X'_s, X''_s s-a procedat întocmai ca și pentru motoarele asincrone cu două colivii rotorice (a se vedea cap. 4.1.2.4). Valorile reactanțelor motoarelor cu o colivie rotorică cu bare înalte supuse încercării de scurtcircuit indirect, calculate cu relația (3.85) sînt indicate în tabelul 4.9.

TABELUL 4.9.

Nr. crt.	Tip motor	Încercarea	t_0	U'	U'_0	I'_q	I''_q	Q'	Q''	T'_{sa}	T'_s	T''_s	X''_s	X'_s	X_s
			ms	V	V	A	A	(la s=0)	(la s=0)						
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	MAB2 Exc-T3-450Y-1106:400kW; 6kV; 992 rot/min	Sec. indirect	272	3137,109	3084,908	219,956	103,382	0,99259	1,00775	25,0	82,2	15,2	9,5158878	13,086306	24,97639
		Sec. direct	-	-	-	-	-	-	-	24,0	86,5	16,0	9,842555	12,79861	22,59492
		Abaterea α (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	4,166	-4,971	-5,00	-3,319	2,248
2	MAB2-100Y-100-4 315 kW; 6kV; 1485 rot/min	Sec. indirect	272	3041,893	2974,441	156,558	75,447	0,99170	1,0023	17,9	51,5	13,3	12,790472	16,956191	36,921225
		Sec. direct	-	-	-	-	-	-	-	19,0	54,0	14,2	13,501113	16,50459	34,81255
		Abaterea α (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-5,789	-4,63	-6,318	-5,263	2,699

În tabelul 4.9 sînt indicate și valorile parametrilor acelorăși motoare, obținute în urma încercării de scurtcircuit direct.

Abaterile procentuale relativ mici ale parametrilor tranzitorii obținuți în urma încercării de scurtcircuit indirect față de aceeași parametri obținuți în urma încercării de scurtcircuit direct, conduc la concluzia că încercarea de scurtcircuit indirect poate fi utilizată cu rezultate bune și în cazul motoarelor cu bare înalte.

4.1.3.4. Determinarea din rezultatele încercării de scurtcircuit indirect a parametrilor tranzitorii ai motorului MA-20-DOR al motoarelor cu două colivii rotorice, echivalente motoarelor reale cu o colivie rotorică cu bare înalte supuse încercărilor. Calculul caracteristicilor de frecvență ale motoarelor reale cu colivie rotorică cu bare înalte.

Parametrii schemei corespunzătoare modelului MA-20-DOR a motorului cu două colivii rotorice, echivalent unui motor real cu colivie rotorică cu bare înalte au fost calculați în funcție de parametrii tranzitorii ai motorului real determinați experimental în cap.4.1.3.1 și 4.1.3.2. Calculurile au fost efectuate pentru măsurarea cu colivie rotorică cu bare înalte și pentru măsurarea în condiții formate cu indicațiile din cap.3.1.5, iar rezultatele în u.r. obținute sînt centralizate în tabelul 4.10. De asemenea în acest tabel sînt indicate și valorile

riile uoara dintre parametrii care au putut fi calculați în anexa 4.2 din datele geometrice și constructive ale motoarelor reale. Pentru acești parametrii abate-

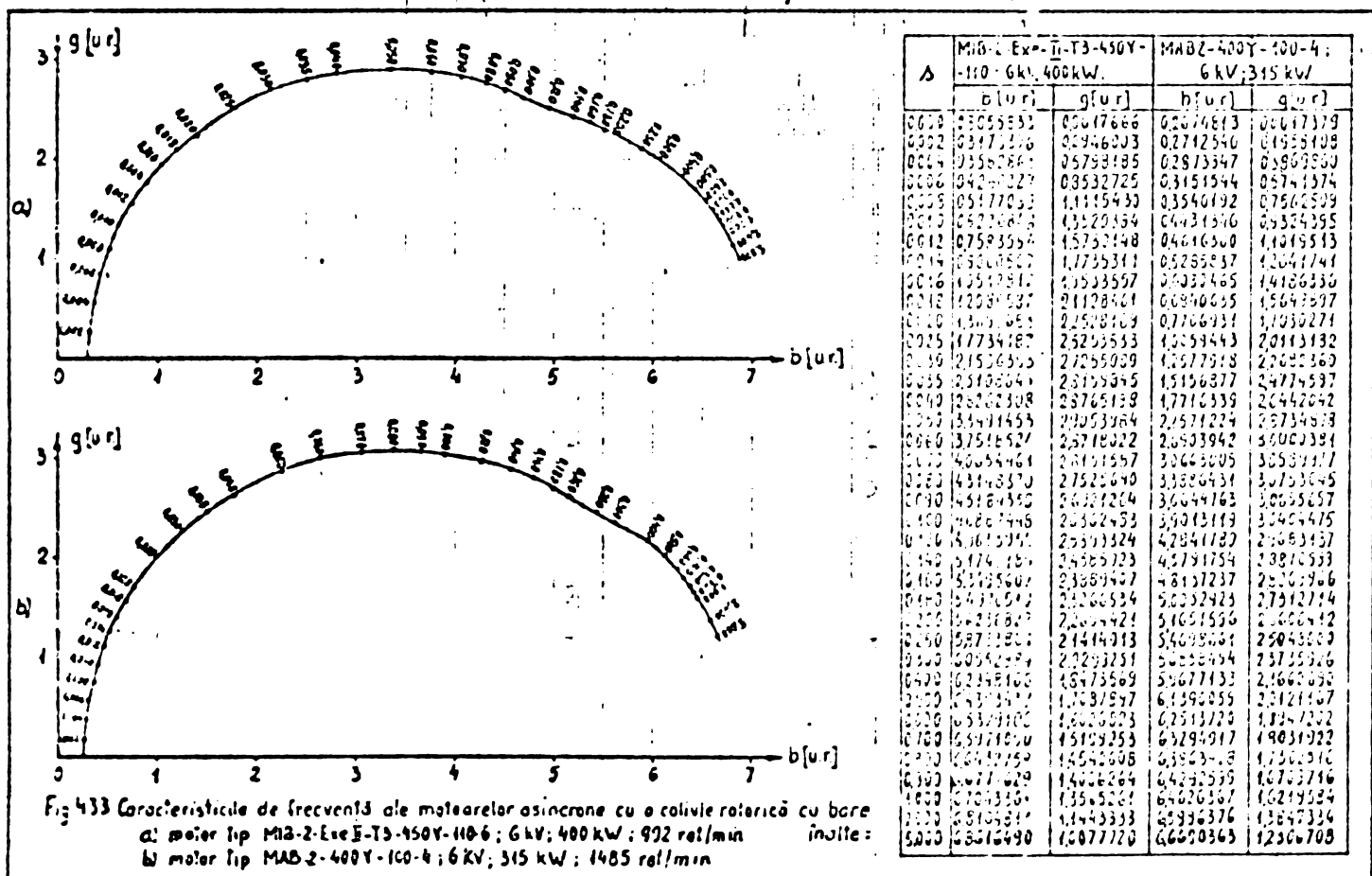
TABELUL 4.10.

Nr crt	Tip motor	Parametrii tranzitorii determinați experimental și mărimi directe calculate din aceștia							
		$Z_n = (U_n)/(V\sqrt{I_n})$	x_s''	x_s'	B_0	C_0	B^2	C^2	$t_{s,a}$
		Ω	u_r	u_r	u_r	u_r	u_r	u_r	u_r
1	MIB2-450Y-110-6-6kV-400kW	69006008	0,1426333	0,1854710	32201325	515,40949	436,50032	3135,7312	7,5398224
2	MAB2-400Y-100-4-6kV-315kW	93121011	0,1449846	0,1772381	21,425662	386,19598	75,080127	1951,4083	59630260

Nr crt	Tip motor	Mărimi derivate calculate cu relațiile (392) și (393)						
		σ_s	$\psi(\sigma_s)$	$F(\sigma_s)$	σ_1	σ_2	t_1	t_2
1	MIB2-450Y-110-6-6kV-400kW	$3,3718675 \cdot 10^{-2}$	$1,0041545 \cdot 10^{-2}$	$-6,0527777 \cdot 10^{-2}$	$3,3654049 \cdot 10^{-2}$	$3,8552530 \cdot 10^{-2}$	181,96783	333,44186
2	MAB2-400Y-100-4-6kV-315kW	$2,7819704 \cdot 10^{-2}$	$3,0911374 \cdot 10^{-2}$	$-1,1318164 \cdot 10^{-1}$	$1,5757579 \cdot 10^{-2}$	$3,8138905 \cdot 10^{-2}$	167,17592	219,02006

Nr crt	Simbolul parametrului	Unitatea de măsură	\bar{x}_m	\bar{x}_{sr}	\bar{x}_{ir}	\bar{x}_{2r}	r_s	\bar{r}_1	\bar{r}_2	\bar{x}_s	\bar{x}_1	\bar{x}_2
			ur	ur	ur	ur	ur	ur	ur	ur	ur	ur
Tip motor												
Parametrii schemei echivalente a modelului MA-2C-DCR-UR calculați din parametrii tranzitorii determinați experimental												
1	MIB2-450Y-110-6-6kV-400kW	Valoare (E)	3,1639350	$1,10400610 \cdot 10^{-1}$	$4,3798552 \cdot 10^{-1}$	$1,2626681 \cdot 10^{-1}$	$1,6617330 \cdot 10^{-1}$	$1,7528025 \cdot 10^{-2}$	$5,8611006 \cdot 10^{-3}$	3,2743415	3,2077336	3,2908039
2	MAB2-400Y-100-4-6kV-315kW	Valoare (E)	3,6344189	$1,0930176 \cdot 10^{-1}$	$3,8186322 \cdot 10^{-1}$	$1,4410891 \cdot 10^{-1}$	$2,4239490 \cdot 10^{-1}$	$2,2388142 \cdot 10^{-2}$	$4,2251930 \cdot 10^{-3}$	3,3384206	3,6926055	3,7785278
Tip motor												
Parametrii schemei echivalente a modelului MA-2C-DCR-UR calculați din datele geometrice și constructive												
1	MIB2-450Y-110-6-6kV-400kW	Valoare (G)	3,4717902	$1,2124364 \cdot 10^{-1}$	—	—	$1,7015011 \cdot 10^{-2}$	—	—	3,5530338	—	—
		$a(\%) = 100(E-G)/G$	-8,87	-8,94	—	—	19,42	—	—	-8,67	—	—
2	MAB2-400Y-100-4-6kV-315kW	Valoare (G)	3,7011289	$1,2088867 \cdot 10^{-1}$	—	—	$2,3675173 \cdot 10^{-2}$	—	—	3,8220176	—	—
		$a(\%) = 100(E-G)/G$	-1,80	-9,83	—	—	+2,81	—	—	-2,19	—	—

riile dintre valorile calculate din datele geometrice și constructive și valorile calculate din parametrii tranzitorii sînt sub 10 %. Aceasta este o dovadă a corectitudinii metodei propuse în cap.2.2.2 pentru echivalența motorului asincron cu o colivie cu bare înalte printr-un motor cu două colivii rotorice, precum



și a relațiilor găsite în cap.3.1.5 pentru calculul parametrilor motorului echivalent.

Cunoașterea valorilor parametrilor tranzitorii a permis și calculul, conform indicațiilor din cap.3.1.6, a caracteristicilor de frecvență a motoarelor cu colivie cu bare înalte supuse încercărilor, reprezentate în fig. 4.33.

4.2. Incercări experimentale cu motoare asincrone de categoria II.

4.2.1. Incercări de scurtcircuit direct și de deconectare și rezultatele obținute în urma acestora.

În scopul verificării experimentale a rezultatelor obținute în urma studiului teoretic întreprins în cap.3.2 asupra comportării în timpul scurtcircuitelor a motoarelor asincrone de categoria II și asupra posibilităților de determinare a parametrilor tranzitorii ai acestora, au fost efectuate încercări de scurtcircuit direct și de deconectare cu motoare din această categorie. Incercările au fost efectuate conform schemei de încercare din fig.3.3, după același program ca și pentru motoarele asincrone de categoria I.

Înainte de efectuarea încercării de scurtcircuit trifazat direct, respectiv de deconectare, motoarele au funcționat în gol. Caracteristicile tehnice ale motoarelor cu rotor bobinat supuse încercărilor sînt indicate în tabelul 4.11.

TABELUL 4.11.

Nr. (r)	Tip motor	U_n kV	P_n kW	I_n A	$\cos\phi_n$	n_n r/min	s_n %	η %	I_n A	$\cos\phi_n$	P_n kW	P_{cu} kW	P_{me} kW	P_{ec} kW	U_{scn} V	I_{sr} A	$\cos\phi_{sr}$	P_{sc} kW	U_1 V	I_1 A	R_s Ω	R_{r1} Ω	M_{max}	GD^2 kgm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	M1107 550V 110-4 400kW, 6kV	6	400	477	0,87	1481	1,26	91,0	160	0,112	2635	0,96	14,47	8,96	938	285	0,234	17,25	670	368	130	0,014	36M _n	52
2	M1107 550V 130 II 630kW, 6kV	6	630	735	0,83	730	1,467	93,5	206	0,094	2495	0,89	9,20	12,9	1220	376	0,250	27,40	1110	340	0,021	0,023	27M _n	565

Nr. (r)	Z_s	Z_r	q_s	q_r	y_s	k_{bs}	Z_r	q_r	n_{cs}	a_s	y_r	k_{br}	$k_z = k_R$	$k_s = k_r R_{r1}$		
26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
1	60	5	22	1	1-12	0,875	72	6	2	1	1-19	0,957	70,244	950	0,983	4293
2	96	4	27	2	1-9	0,831	120	5	2	1	1-16	0,957	21,986	985	0,505	70070

Semnificația unora dintre notațiile folosite în tabelul 4.11 este următoarea :

U_1 = tensiunea la inelele rotorului; I_1 = curentul nominal rotoric; R_s = rezistența înfășurării statorice; R_{r1} = rezistența înfășurării rotorice; R_1 = rezistența înfășurării rotorice reduse la stator; $k_z(k_R)$ = coeficientul de reducere al impedanțelor (rezistențelor); $Z_s(Z_r)$ = numărul de creștături statorice (rotorice) ; $q_s(q_r)$ = numărul de creștături pe pol și fază pentru stator (rotor); $n_{cs}(n_{or})$ = numărul de conductoare pe creștătură pentru înfășurarea statorică (rotorică); $a_s(a_r)$ = numărul de căi în paralel pentru înfășurarea statorică (rotorică); $y_s(y_r)$ = pas al înfășurării statorice (rotorice); $k_{bs}(k_{br})$ = factorul de înfășurare al înfășurării (rotorice).

La scurtcircuit trifazat direct au fost oscilografiate curenții tuturor fazelor, iar la deconectare tensiunea unei faze. În scopul evitării apariției unor erori întâmplătoare, atât încercarea de scurtcircuit direct, cât și cea de deconectare au fost repetate de mai multe ori. În fig.4.34 și 4.36 sînt prezentate exemple de oscilograme ale curenților de scurtcircuit trifazat direct, iar în fig.4.35 și 4.37 exemple de oscilograme ale tensiunii reziduale pentru motoarele asincrone supuse încercărilor. Oscilogramele curenților de

scurtcircuit direct, respectiv ale tensiunilor reziduale au fost prelucrate în concordanță cu expresia analitică (3.126), respectiv (3.136), expresii obținute

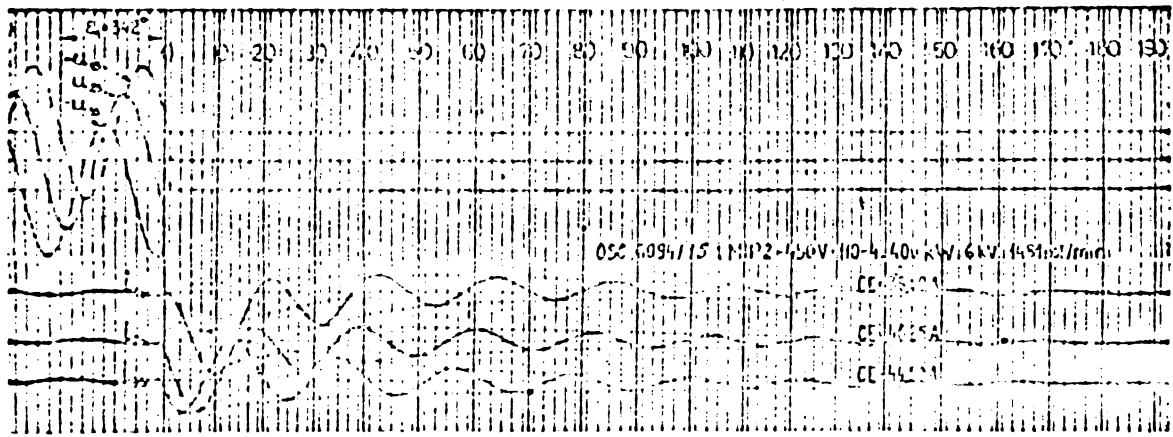


Fig. 4.34 Oscilogramă a curenților de scurtcircuit direct ai motorului asincron cu rotor bobinat MIP2-450V-110-4: 400 kW; 6 kV; 1481 rot/min

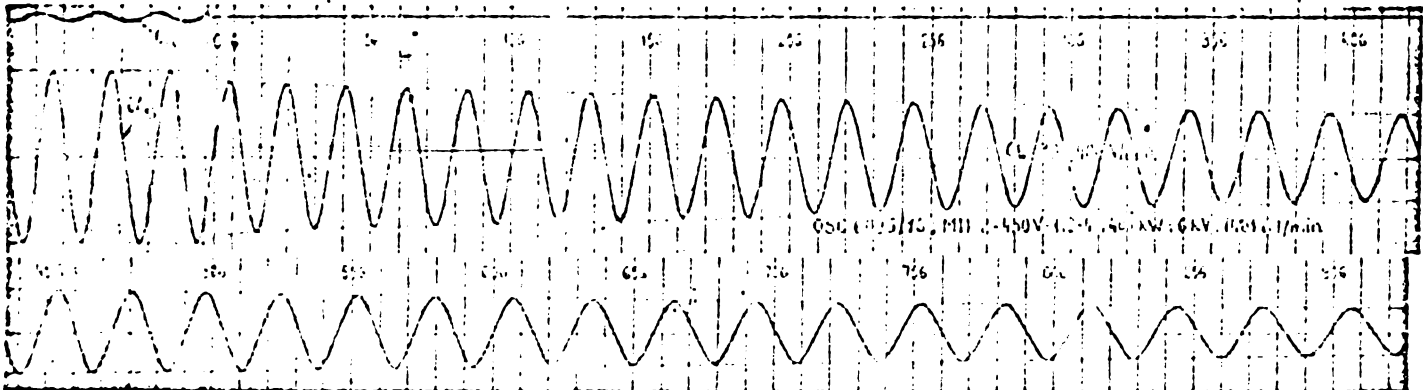


Fig. 4.35 Oscilogramă a tensiunilor reziduale a motorului asincron cu rotor bobinat MIP2-450V-110-4: 400 kW; 6 kV; 1481 rot/min.

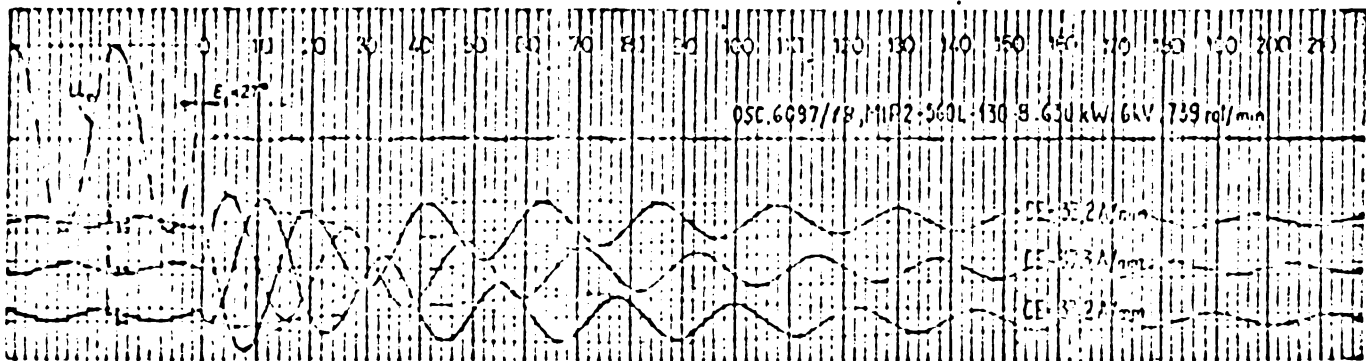


Fig. 4.36 Oscilogramă a curenților de scurtcircuit direct ai motorului asincron cu rotor bobinat MIP2-560L-130-8: 630 kW; 6 kV; 739 rot/min

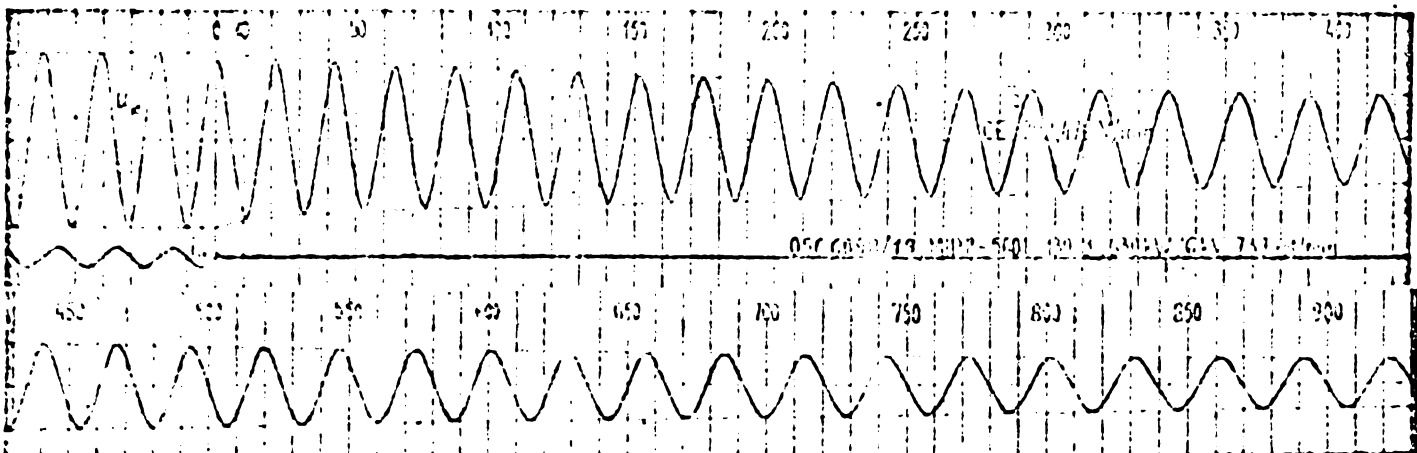
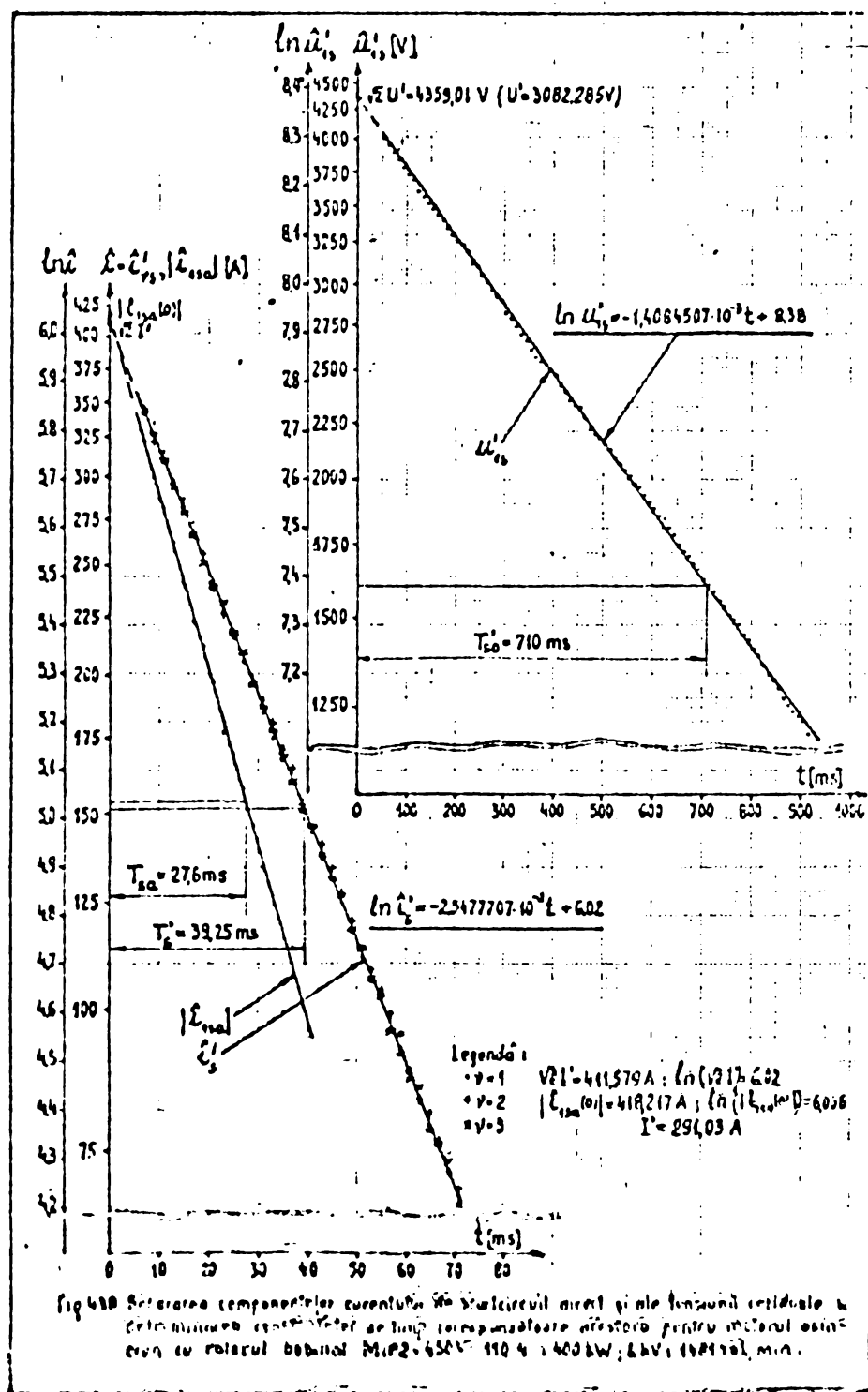


Fig. 4.37 Oscilogramă a tensiunilor reziduale a motorului asincron cu rotor bobinat MIP2-560L-130-8: 630 kW; 6 kV; 739 rot/min

pe cale teoretică pentru curenții de scurtcircuit direct, respectiv pentru tensiunile reziduale. Prelucrarea oscilogramelor a fost efectuată conform metodei expuse în cap.4.1.1 pentru motoarele asincrone de categoria I, cu respectarea unor particularități impuse de structura expresiilor analitice ale curenților de scurtcircuit, respectiv ale tensiunilor reziduale. Astfel, spre deosebire de motoarele asincrone de categoria I, la care componenta periodică a curențului de scurt-

circuit direct era suma a două funcții armonice amortizate cu constante de timp diferite, la motoarele asincrone de categoria II componenta periodică a curentului de scurtcircuit direct este compusă dintr-o singură funcție armonică amortizată cu constanta de timp T'_g , și această componentă a fost denumită componentă tranzitorie. Ca urmare, componenta aperiodică și cea periodică tranzitorie a curentului de scurtcircuit direct pot fi separate folosind relațiile (4.1), nemaifiind însă necesară prelucrarea în continuare a componentei periodice. Această



observație este valabilă și pentru tensiunea de restabilire, care pentru motoarele asincrone de categoria II conține numai componenta periodică amortizată având frecvență înaltă și o singură componentă periodică având frecvența $(1-s)f$, amortizată cu constanta de timp T'_{s0} și denumită componentă tranzitorie. În concluzie, la prelucrarea oscilogramelor curentilor de scurtcircuit direct și ale tensiunilor reziduale ale motoarelor asincrone de categoria II s-a aplicat metoda de prelucrare propusă în cap.4.1.1 pentru motoarele asincrone de categoria I, cu respectarea particularităților mai sus amintite.

Au fost separate componentele curentului de scurtcircuit direct și ale tensiunii reziduale pentru motoarele cu rotor bobinat

după încercările. În diagramele reprezentate în fig.4.38 și 4.39 au fost determinate constantele de timp T_{sa} , T'_g , T'_{s0} , precum și mărimile $\sqrt{2}I'$, $|i_{sa}(0)|$, $\sqrt{2}U'$. Componenta aperiodică a apărut cu valoarea inițială cea mai mare pe faza 1a. Pe asemenea au fost determinate prin măsurători directe pe oscilograme unghiurile de conectare, curentul i_{scc} , $i_{sp}(0,1)$ și timpul t_{scc} după care apărea curentul de scc pe faza 1a. Principalele rezultate obținute în urma prelucrării oscilogramelor sînt centralizate în tabelul 4.12. În acest tabel sînt de asemenea

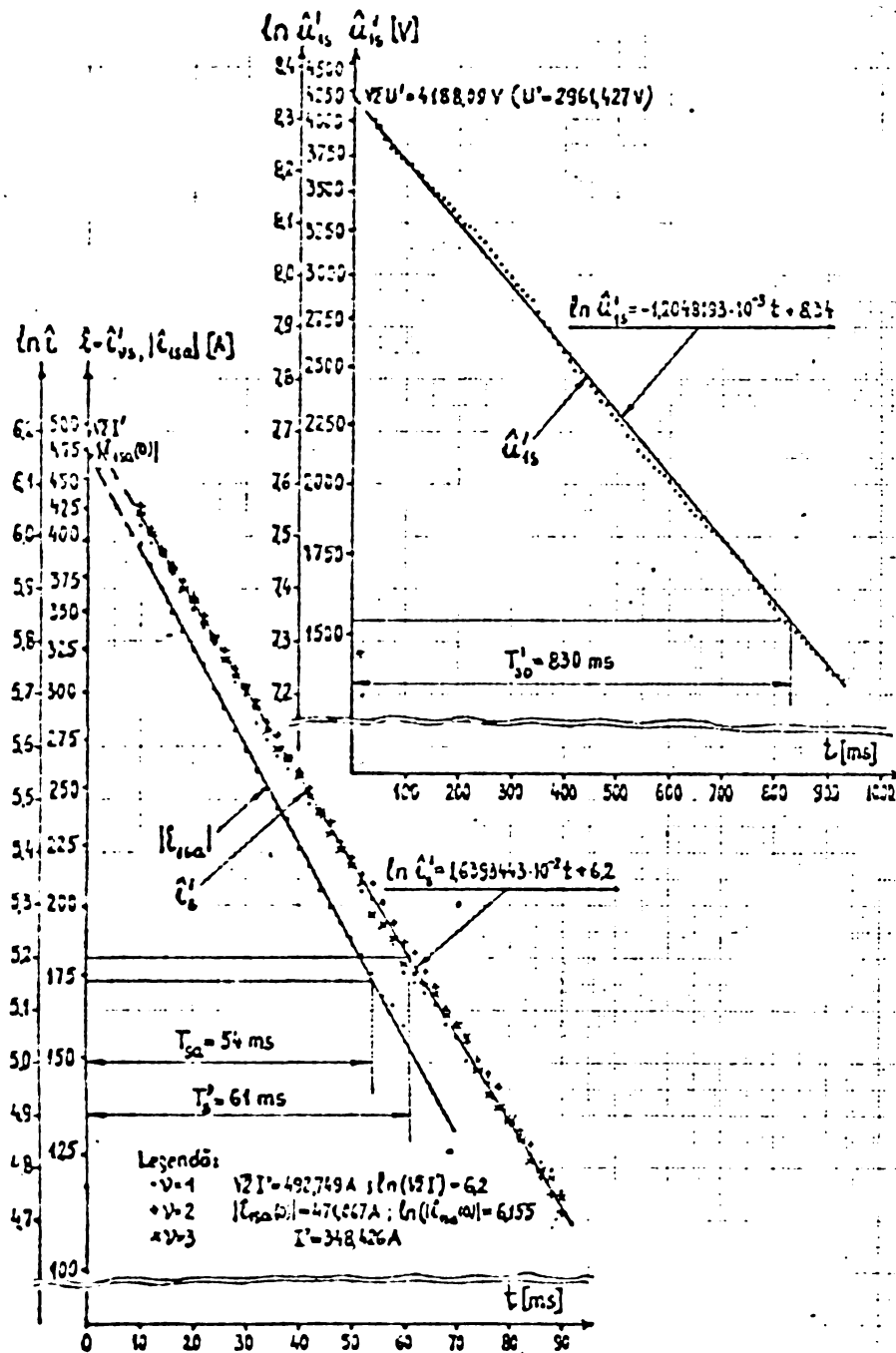


Fig. 4.39 Separarea componentelor curentului de scurtcircuit direct și ale tensiunii reziduale și determinarea constantelor de timp corespunzătoare acestora pentru motorul asincron cu rotorul bobinat MIP2-560L-130-B ; 630 kW , 6 kV ; 735 rot/min!

nea indicate valorile obținute pentru $S_{k0,1}$ (contribuția la puterea de scurtcircuit la momentul $t = 0,1$ [s]), respectiv $\hat{i}_{sp}(0,1)$, calculate cu relațiile (4.20), respectiv (4.19).

Analiza rezultatelor obținute în urma prelucrării oscilogramelor conduce la următoarele concluzii :

- Pentru anele motoare funcțiile i_{1sp} , i_{2sp} , i_{3sp} practic coincid, fiind drepte în sistemul de coordonate semilogaritmice. Abaterile procentuale maxime $a_{vs} [\%]$ ale acestor funcții, calculate cu relația (4.14), față de media lor aritmetică \hat{i}_{sp} , calculată la rândul ei cu relația (4.15) nu depășesc 2,38 % pentru motorul de 400 kW și 3,28 % pentru cel de 630 kW.

- Funcția u_{1sp} este o dreaptă în sistemul de coordonate semilogaritmice pentru anele

TABELUL 4.12.

Nr crt	Tip motor	Mărimi măsurate în regim staționar anterior p. apei (mers în gol)						Mărimi primare obținute:												
		I_n	$\cos \varphi_n$	$U = \frac{U_n}{\sqrt{3}}$	$\frac{\cos \varphi}{\cos \varphi_0}$	$\varphi = \varphi_0$	$I = I_0$	prin măsurători directe pe oscilograma:						prin prelucrarea oscilogramelor :						
							ε_1	ε_2	ε_3	i_{sc}	t_{sc}	$\hat{i}_{sp}(0,1)$	T'_{50}	T'_{61}	T'_{30}	I'_{po}	$\hat{i}_{sp} = \sqrt{2} I_{po}$	$\hat{i}_{sa}(0)$	T'_{so}	U'
		A	-	V	-	[°]	A	[°]	[°]	[°]	A	ms	A	ms	ms	A	A	A	ms	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	MIP2-450V-110-4 400kW;6kV	477	0,39	3464	0,142	81,836	150	342	222	102	-536,75	1000	34,234	276	39,25	291030	411,579	-418,217	710	3082,285
2	MIP2-560L-130-B 630kW;6kV	735	0,88	3464	0,094	84,666	280	27	-93	-213	-813,0	725	98,863	540	61,00	348,426	492,749	-471,067	830	2561,427

Nr crt	$\hat{i}_{sp}(0,1)$	Mărimi derivate din cele primare:								
		$k_{soc} = \frac{ i_{soc} }{i_{spo}}$	$k_n = \frac{ i_{soc} }{\sqrt{2} I_n}$	$k_{a1} = \frac{ \hat{i}_{sp}(0,1) }{\sqrt{2} I_n}$	$k_{o1} = \frac{ \hat{i}_{sp}(0,1) }{\sqrt{2} I_n}$	$100 \frac{k_{o1} - k_{a1}}{k_{a1}}$	$\frac{k_{a1}}{\cos \varphi_n}$	$a = \frac{1}{T'_{50}}$	$b = \frac{1}{T'_{61}}$	$c = \frac{1}{T'_{30}}$
	A	-	-	-	%	kVA	s ⁻¹	s ⁻¹	s ⁻¹	
1	32208496	1,459039	8,8462462	0,5075307	0,4774601	-5,925	226,104	36,231884	25,477707	1,4034507
2	35646170	1,507393	7,0253150	0,9511115	0,9201640	-3,254	680,969	18,518519	16,393443	1,2048193

Mărimea $\hat{i}_{sp}(0,1)$ a fost calculată cu relația 4.9.

motoare supuse încercării de deconectare.

- Între valorile coeficientului $k_{0,1}$ rezultate în urma măsurătorilor directe pe oscilograme și cele calculate cu ajutorul relației (4.19) există o bună concordanță. Abaterile procentuale sînt relativ mici și anume -5,925 % pentru motorul de 400 kW și -3,254 % pentru cel de 630 kW.

- Au fost îndeplinite toate condițiile cerute de metoda de prelucrare a oscilogramelor propusă în cap.4.1.1.

Ca urmare, rezultă că expresiile (3.126), respectiv (3.136) deșcriu cu fidelitate variația în timp a curenților de scurtcircuit direct, respectiv a tensiunilor reziduale ale motoarelor asincrone de categoria II, iar metoda propusă pentru prelucrarea oscilogramelor dă rezultate satisfăcătoare. Trebuie de asemenea remarcate valorile relativ mari ale curenților de șoc și ale contribuțiilor la puterea de scurtcircuit la $t = 0,1$ secunde a motoarelor supuse încercărilor.

4.2.2 Determinarea din rezultatele experimentale obținute a reactanțelor X'_s, X_s .

s	MIP2-450V-110-4; 400kW; 6kV; 1431r/m				MIP2-560V-130-6; 630kW; 6kV; 739r/m			
	D'_a	D_a	ψ'_s [°]	ψ_{sa} [°]	D'_a	D_a	ψ'_s [°]	ψ_{sa} [°]
0,000	0,999115	0,999914	-1,2551	87,7051	0,999977	0,999975	-0,3378	87,7052
0,001	1,000049	0,999925	-1,2551	87,7051	1,000034	0,999976	-0,3378	87,7052
0,002	1,001111	0,999936	-1,2551	87,7051	1,001116	0,999975	-0,3378	87,7052
0,004	1,001733	0,999939	-1,2551	87,7051	1,001733	0,999975	-0,3378	87,7052
0,006	1,002514	0,999940	-1,2551	87,7051	1,002514	0,999975	-0,3378	87,7052
0,008	1,003410	0,999941	-1,2551	87,7051	1,003410	0,999975	-0,3378	87,7052
0,010	1,004360	0,999941	-1,2551	87,7051	1,004360	0,999975	-0,3378	87,7052
0,012	1,005364	0,999941	-1,2551	87,7051	1,005364	0,999975	-0,3378	87,7052
0,014	1,006422	0,999941	-1,2551	87,7051	1,006422	0,999975	-0,3378	87,7052
0,016	1,007534	0,999941	-1,2551	87,7051	1,007534	0,999975	-0,3378	87,7052
0,018	1,008700	0,999941	-1,2551	87,7051	1,008700	0,999975	-0,3378	87,7052
0,020	1,009920	0,999941	-1,2551	87,7051	1,009920	0,999975	-0,3378	87,7052
0,022	1,011194	0,999941	-1,2551	87,7051	1,011194	0,999975	-0,3378	87,7052
0,024	1,012522	0,999941	-1,2551	87,7051	1,012522	0,999975	-0,3378	87,7052
0,026	1,013904	0,999941	-1,2551	87,7051	1,013904	0,999975	-0,3378	87,7052
0,028	1,015340	0,999941	-1,2551	87,7051	1,015340	0,999975	-0,3378	87,7052
0,030	1,016830	0,999941	-1,2551	87,7051	1,016830	0,999975	-0,3378	87,7052
0,032	1,018374	0,999941	-1,2551	87,7051	1,018374	0,999975	-0,3378	87,7052
0,034	1,019972	0,999941	-1,2551	87,7051	1,019972	0,999975	-0,3378	87,7052
0,036	1,021624	0,999941	-1,2551	87,7051	1,021624	0,999975	-0,3378	87,7052
0,038	1,023330	0,999941	-1,2551	87,7051	1,023330	0,999975	-0,3378	87,7052
0,040	1,025090	0,999941	-1,2551	87,7051	1,025090	0,999975	-0,3378	87,7052
0,042	1,026904	0,999941	-1,2551	87,7051	1,026904	0,999975	-0,3378	87,7052
0,044	1,028772	0,999941	-1,2551	87,7051	1,028772	0,999975	-0,3378	87,7052
0,046	1,030694	0,999941	-1,2551	87,7051	1,030694	0,999975	-0,3378	87,7052
0,048	1,032670	0,999941	-1,2551	87,7051	1,032670	0,999975	-0,3378	87,7052
0,050	1,034700	0,999941	-1,2551	87,7051	1,034700	0,999975	-0,3378	87,7052
0,052	1,036784	0,999941	-1,2551	87,7051	1,036784	0,999975	-0,3378	87,7052
0,054	1,038922	0,999941	-1,2551	87,7051	1,038922	0,999975	-0,3378	87,7052
0,056	1,041114	0,999941	-1,2551	87,7051	1,041114	0,999975	-0,3378	87,7052
0,058	1,043360	0,999941	-1,2551	87,7051	1,043360	0,999975	-0,3378	87,7052
0,060	1,045660	0,999941	-1,2551	87,7051	1,045660	0,999975	-0,3378	87,7052
0,062	1,048014	0,999941	-1,2551	87,7051	1,048014	0,999975	-0,3378	87,7052
0,064	1,050422	0,999941	-1,2551	87,7051	1,050422	0,999975	-0,3378	87,7052
0,066	1,052884	0,999941	-1,2551	87,7051	1,052884	0,999975	-0,3378	87,7052
0,068	1,055400	0,999941	-1,2551	87,7051	1,055400	0,999975	-0,3378	87,7052
0,070	1,057970	0,999941	-1,2551	87,7051	1,057970	0,999975	-0,3378	87,7052
0,072	1,060594	0,999941	-1,2551	87,7051	1,060594	0,999975	-0,3378	87,7052
0,074	1,063272	0,999941	-1,2551	87,7051	1,063272	0,999975	-0,3378	87,7052
0,076	1,065994	0,999941	-1,2551	87,7051	1,065994	0,999975	-0,3378	87,7052
0,078	1,068760	0,999941	-1,2551	87,7051	1,068760	0,999975	-0,3378	87,7052
0,080	1,071570	0,999941	-1,2551	87,7051	1,071570	0,999975	-0,3378	87,7052
0,082	1,074424	0,999941	-1,2551	87,7051	1,074424	0,999975	-0,3378	87,7052
0,084	1,077322	0,999941	-1,2551	87,7051	1,077322	0,999975	-0,3378	87,7052
0,086	1,080264	0,999941	-1,2551	87,7051	1,080264	0,999975	-0,3378	87,7052
0,088	1,083250	0,999941	-1,2551	87,7051	1,083250	0,999975	-0,3378	87,7052
0,090	1,086280	0,999941	-1,2551	87,7051	1,086280	0,999975	-0,3378	87,7052
0,092	1,089354	0,999941	-1,2551	87,7051	1,089354	0,999975	-0,3378	87,7052
0,094	1,092472	0,999941	-1,2551	87,7051	1,092472	0,999975	-0,3378	87,7052
0,096	1,095634	0,999941	-1,2551	87,7051	1,095634	0,999975	-0,3378	87,7052
0,098	1,098840	0,999941	-1,2551	87,7051	1,098840	0,999975	-0,3378	87,7052
0,100	1,102090	0,999941	-1,2551	87,7051	1,102090	0,999975	-0,3378	87,7052

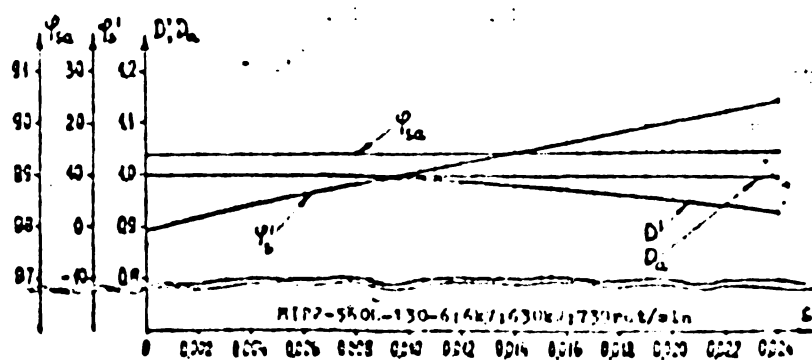
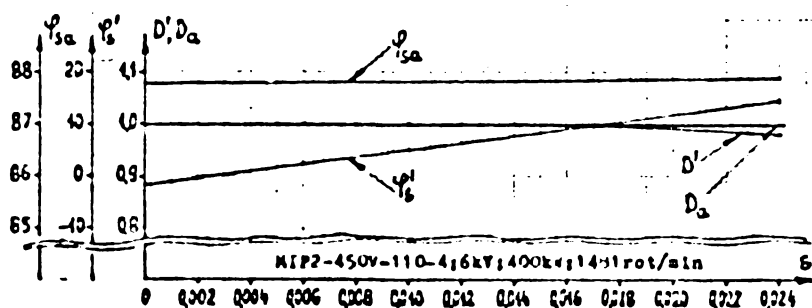


Fig. 4.40 Variația curbelor $D'_a, D_a, \psi'_s, \psi_{sa}$ în funcție de alunecarea s din regimul anterior scurtcircuitului direct pentru motoarele asincrone de rotorul bobinat MIP2-450V-110-4; 400kW; 6kV; 1431r/m și MIP2-560V-130-6; 630kW; 6kV; 739r/m

În scopul determinării prin calcule, cu relațiile (3.135) a reactanțelor X'_s, X_s , inițial au fost calculate în funcție de alunecarea s din regimul anterior încercărilor, mărimile auxiliare $D'_a, D_a, \psi'_s, \psi_{sa}$, care sînt reprezentate în figura 4.40. Analiza curbelor din fig.4.40 conduce la concluzii similare cu cele găsite pentru motoarele asincrone de categoria I (a se vedea cap.4.1.2.2). Astfel în domeniul alunecărilor $s=0,1s_n$, unde s_n este alunecarea nominală a motoarelor, mărimile auxiliare D'_a, D_a , sînt practic constante și foarte apropiate de unitate, abaterile față de unitate fiind sub 0,1 %. În același domeniu al alunecărilor și mărimea auxiliară ψ_{sa} este practic constantă. Concluziile de mai sus, referitoare

re la aceste mărimi auxiliare, arată că valorile reactanțelor X'_s , X_s , calculate cu relația (3.135) nu depind de alunecarea s din regimul anterior încercării, ceea ce era de altfel de așteptat. În tabelul 4.13 sînt centralizate pe lîngă valorile reactanțelor X'_s , X_s , și mărimile necesare la calculul acestor valori, precum și cele necesare la calculul cu relația (3.128) și (3.130) a valorii de verificare I_a .

TABELUL 4.13.

Nr. cri	Tip motor	s_0	$\varphi_{sa}(s_0)$	$\varphi'_s(s_0)$	$D_a(s_0)$	$D'(s_0)$	X'_s	X_s	I_a (3.128)	I_a (3.130)	$a(\%)$ $\frac{(I_a - I_{a0})}{I_{a0}} \cdot 100$	i_{soc}^*	i_{soc}	$a(\%) = \frac{(i_{soc}^* - i_{soc})}{i_{soc}^*} \cdot 100$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	MIP2-450V-110-4 400kW, 6kV	$4,41 \cdot 10^{-4}$	87,107716	-64,98619	0,9989193	0,9998395	11,243085	203,37809	337,77655	363,63523	-0,279	-597,089	-596,750	-0,06
2	MIP2-560V-130-8 630kW, 6kV	$2,11 \cdot 10^{-4}$	89,321001	-61,558344	0,9997596	1,0001801	9,2131157	125,35879	375,90641	374,21009	+0,445	-816,483	-813,400	-0,38

Deoarece motoarele au funcționat în gol înainte de efectuarea încercărilor, alunecarea de mers în gol s_0 din tabelul 4.13 a fost determinată cu relația (4.22).

Pentru verificarea exactității cu care au fost determinate experimental, fie prin măsurători directe pe oscilograme, fie prin prelucrarea oscilogramelor mărimile $I = I_0$, U , ϵ_v , φ , i_{soc} , t_{soc} , I' , $|i_{1sa}(0)|$, T'_{s0} , T'_s , T_{sa} din tabelul 4.12, precum și a exactității cu care au fost calculate mărimile s_0 , $\varphi_{sa}(s_0)$, $D'(s_0)$, $D_a(s_0)$, X'_s , X_s din tabelul 4.13, s-au folosit relațiile de verificare (3.128) și (3.130) pentru calculul mărimii I_a , precum și relația (3.125) pentru calculul valorii i_{soc}^* la timpul t_{soc} . Abaterile între valorile I_a calculate cu cele două relații de verificare este de -0,279 % pentru motorul de 400 kW și de +0,445 % pentru cel de 630 kW. Abaterile între valorile i_{soc}^* calculate cu relația (3.126) și valorile i_{soc}^* măsurate este de -0,06 % pentru motorul de 400 kW și de -0,38 % pentru cel de 630 kW. Aceste abateri mici dovedesc încă odată că atât metoda de prelucrare a oscilogramelor, cât și relațiile analitice folosite pentru calculul mărimilor menționate mai sus sînt corecte și suficient de precise.

§.2.3. Calculul din rezultatele experimentale a caracteristicilor de frecvență și a parametrilor schemei echivalente a modelului MA-1C-DCR.

Cu ajutorul parametrilor tranzitorii determinați în cap. 4.2.1 și 4.2.2 au fost

TABELUL 4.14.

Datele inițiale de calcul:	Tip motor	Simbol param.	-	-	r_s	r_l	x_{ss}	x_{ls}	$x_{st} + x_{ls}$	x_m	$x_s = x_m + x_{st}$
		Unitățile măsură	-	-	u.r.	u.r.	u.r.	u.r.	u.r.	u.r.	u.r.
Datele de proiectare și parametrii din încercările de sîndi	MIP2-450V-110-4 400kW, 6kV	VALOARE (E)	-	-	0,0178548	0,0125755	0,0774060	0,0013388	0,1593448	27219132	2,8004762
	MIP2-560V-130-8 630kW, 6kV	VALOARE (E)	-	-	0,0115228	0,0102303	0,0977399	0,1054938	0,2032337	25620761	2,6598155
Datele de proiectare și parametrii din încercările de sîndi	Tip motor	Simbol parametru (relație de calcul)	$Z_n = \frac{U_n}{\sqrt{3} I_n}$	$x_x = \frac{I_n}{I_{sc}}$	r_s	r_l	-	-	$x_{st} + x_{ls} = \frac{1}{\sqrt{2}^2 - (r_s + r_l)^2}$	-	$x_s = \frac{I_n}{I_0 \sin \varphi_0}$
	Unitățile măsură		Ω	u.r.	u.r.	u.r.	-	-	u.r.	-	u.r.
Abolerea	MIP2-450V-110-4 400kW, 6kV	VALOARE (P)	72,622675	0,1673664	0,0179007	0,0135416	-	-	0,1643885	-	30177693
	MIP2-560V-130-8 630kW, 6kV	VALOARE (P)	47,130634	0,1954787	0,0114575	0,0107258	-	-	0,1942155	-	25843009
Abolerea	MIP2-450V-110-4 400kW, 6kV	$a(\%) = \frac{(E)-(P)}{(P)}$	-	-	-0,256	-7,134	-	-	-3,068	-	-7017
	MIP2-560V-130-8 630kW, 6kV	$a(\%) = \frac{(E)-(P)}{(P)}$	-	-	+0,570	-4,655	-	-	+4,643	-	-3039

calculate ,conform indicațiilor din cap.3.2.6 caracteristicile de frecvență în u.r. ale motoarelor asincro-

ne cu rotor bobinat supuse încercărilor. Acestea sînt reprezentate în fig.4.41.De asemenea au fost calculați conform indicațiilor din capitolul 3.2.5 parametrii din schema echivalentă a modelului MA-1C-DCR-VR.În tabelul 4.14 sînt centralizate valorile în u.r. ale acestor parametri,valorii calculate din datele experimentale, conform indicațiilor din cap.3.2.5,precum și valorile unora dintre acești parametri care au putut fi calculate din datele centralizate în tabelul 4.11 și obținute fie în urma încercărilor obișnuite de ștand fie în urma calculului de proiectare. Abaterile procentuale maxime între valorile parametrilor calculați din datele obținute în urma încercărilor și din datele de proiectare și probele

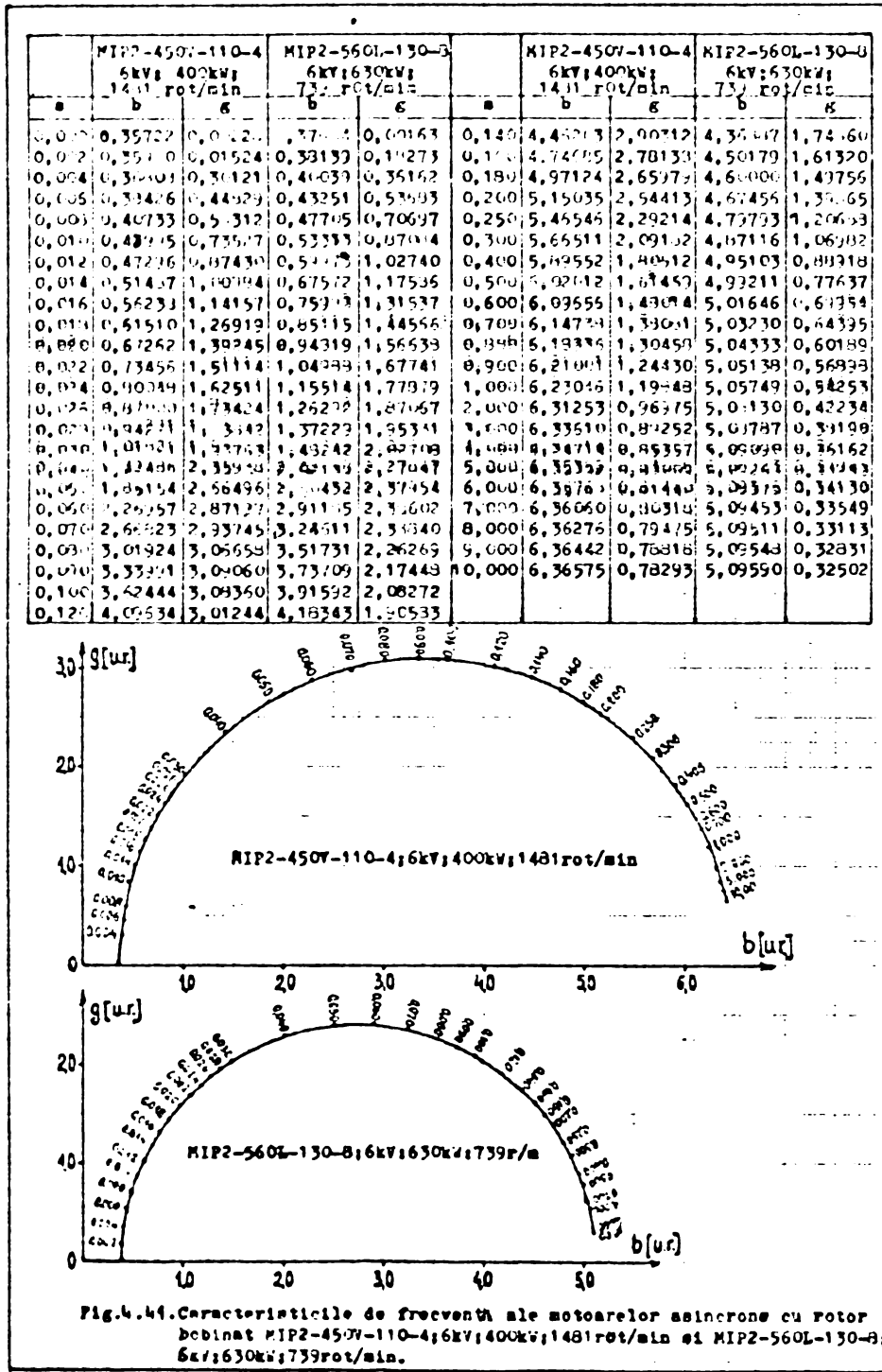


Fig.4.41.Caracteristicile de frecvență ale motoarelor asincrone cu rotor bobinat MIP2-450V-110-4;6kV;400kW;1411rot/min și MIP2-560L-130-3;6kV;630kW;739rot/min.

obținute de ștand sînt de -7,134 % pentru motorul de 400 kW și de -4,66 % pentru motorul de 630 kW, ceea ce conduce la concluzia că metoda de calcul a parametrilor experimentali din cap.3.2.5 este corectă și suficient de precisă.

4.2.4. Determinarea din rezultatele experimentale a curenților de șoc maximi și a coeficienților $k_{\text{șoc.M}}$, $k_{\text{n.M}}$

Cunoașterea valorilor parametrilor tranzitorii determinați în cap.4.2.1 și în cap.4.2.2, precum și a modului de variație a mărimilor auxiliare ψ'_s , ψ'_{sa} în funcție de alunecarea s din regimul anterior încercărilor de scurtcircuit direct și de deconectare ,a permis determinarea cu ajutorul relației (3.131) a curențului de șoc maxim $i_{\text{șoc.M}}$ în funcție de alunecarea s. A fost de asemenea determinat în funcție de alunecarea s, unghiul de conectare ξ_M la care trebuie să se producă scurtcircuitul pentru a obține curențul de șoc maxim și timpul t_M după care apare respectivul curenț de șoc. Timpul t_M a fost obținut prin rezolvarea

ecuației transcendente (3.132). Curentul I și unghiul φ din regimul anterior scurtcircuitului, necesare pentru determinarea mărimilor $i_{\text{șoc.M}}$, t_M , ξ_M , au fost determinate în funcție de alunecarea s din caracteristicile de frecvență obținute în cap.4.3.3. Variația mărimilor $i_{\text{șoc.M}}$, t_M , ξ_M , precum și a coeficienților $k_{n.M}$, $k_{\text{șoc.M}}$ în funcție de alunecarea s este reprezentată în figura 4.42.

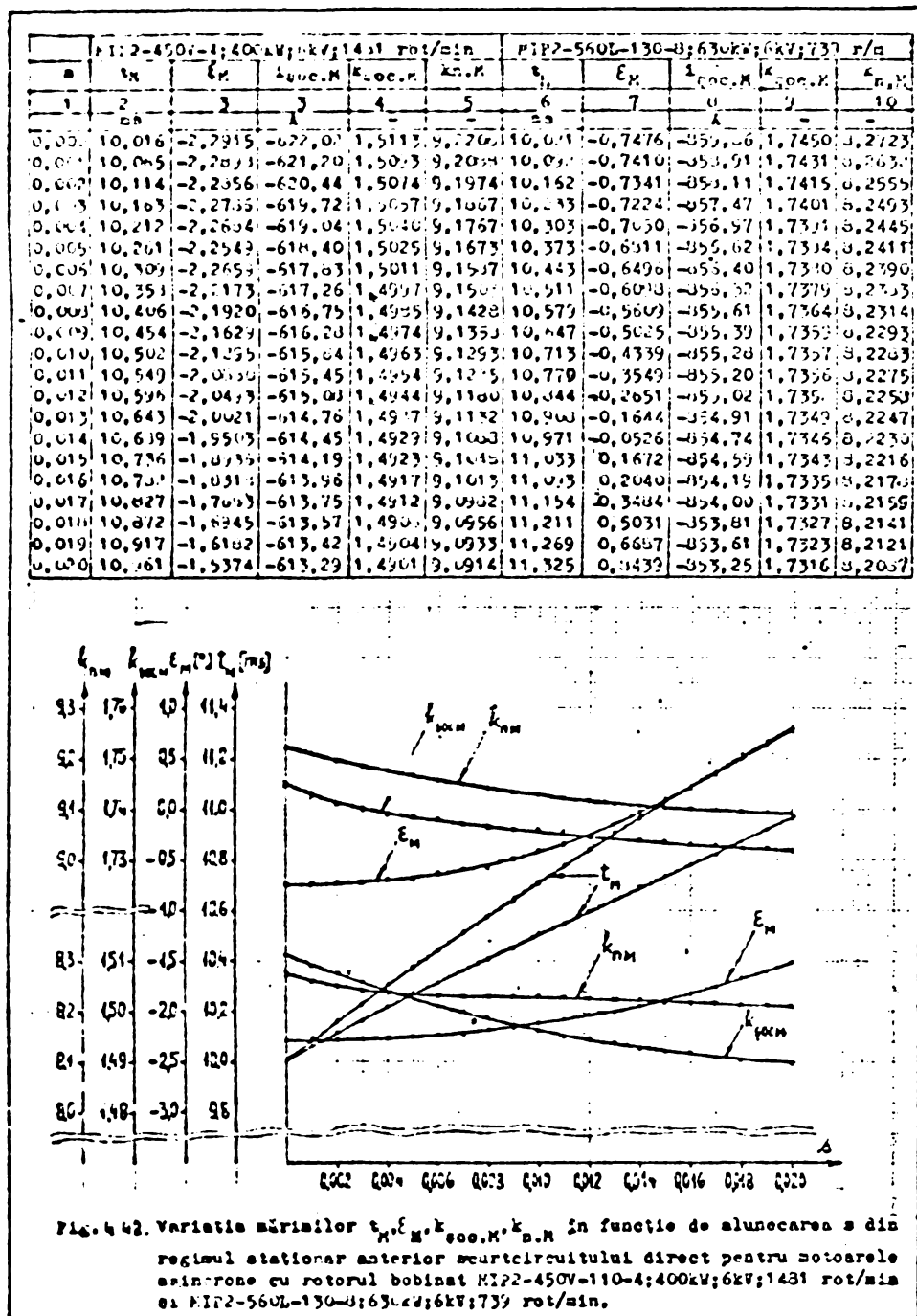
Analiza rezultatelor din fig.4.42 conduce la următoarele concluzii :

- Dacă alunecarea variază în domeniul $0 \div s_n$, unghiul ξ_M variază foarte puțin în jurul valorii de 0° , ceea ce arată că, indiferent de alunecarea s la care funcționează motorul, scurtcircuitul trebuie să se producă practic la trecerea prin zero a tensiunii pentru a apare curent de șoc maxim.

- Dacă scurtcircuitul se produce la valorile unghiului de conectare ξ_M din fig.4.42, atunci timpul t_M după care apare curentul de șoc maxim este practic o jumătate de perioadă la frecvența industrială de 50 Hz, deoarece t_M variază foarte puțin în funcție de alunecarea s în jurul valorii de 10 ms. Astfel, pentru un domeniu de variație al alunecării cuprins între 0 și alunecarea nominală s_n , timpul t_M variază între 10,016 milisecunde și 10,596 milisecunde pentru motorul de 400 kW și între 10,021 milisecunde și 10,971 milisecunde pentru motorul de 630 kW.

- Cel mai mare curent de șoc apare dacă înainte de scurtcircuit motoarele au funcționat în regim de mers în gol ideal ($s=0$).

- Valorile mari ale coeficientului $k_{n.M}$ (9,2203 pentru motorul de 400 kW și 8,2723 pentru cel de 630 kW) indică că în timpul scurtcircuitului apar amplitudini ale curentului extrem de mari în comparație cu regimul de funcționare la sarcină nominală, ceea ce conduce la sollicitarea puternică atât a motoarelor cât și a instalațiilor de alimentare ale acestora.



4.3. Tabele cu datele rezultate din prelucrarea oscilogramelor obținute în urma încercărilor cu motoare asincrone de categoria I și II.

Datele rezultate din prelucrarea oscilogramelor obținute în urma încercărilor de deconectare, de scurtcircuit direct și de scurtcircuit indirect cu motoare asincrone de categoria I și II, precum și datele rezultate în urma separării componentelor tensiunilor reziduale și ale curenților de scurtcircuit sînt centralizate în tabelele 4.15, ..., 4.22.

Tabelul 4.15. Separarea componentelor tensiunii reziduale a motoarelor asincrone cu două colivii rotorice.

t	σ_{1op}	σ_{1cp}	$\ln(\sigma_{1op})$	$\ln(\sigma_{1cp})$	$\frac{\ln(\sigma_{1op}) - \ln(\sigma_{1cp})}{\ln(\sigma_{1op})}$	$\ln(\sigma_{1cp})$	σ_{1cp}	t	σ_{1op}	σ_{1cp}	$\ln(\sigma_{1op})$
min	max	V				V		min	max	V	
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4
T. 1.1.1.1. A. REZIDUALA TORC. 6080/16; MCG-2 400 N 70-2; 250 kW 6 kV; 2955 rot/min; $C_{\sigma} = 201,95$ V/mm											
0	17,375	4899,055	8,496797	8,412900	0,083897	8,378126	394,699	112	14,500	4036,420	8,315314
4	16,900	4765,174	8,469079	8,409335	0,059744	8,621662	276,248	116	14,425	4067,272	8,316728
8	16,550	4656,438	8,449151	8,405871	0,043281	8,263667	193,199	120	14,400	4060,224	8,304993
12	16,300	4595,248	8,432930	8,402406	0,030524	4,228479	138,169	124	14,350	4046,172	8,305515
16	16,050	4525,458	8,417774	8,398941	0,018533	4,426013	83,037	128	14,300	4032,028	8,302025
20	15,950	4497,262	8,411724	8,395477	0,015740	4,252291	70,206	132	14,250	4017,930	8,299222
24	15,800	4454,268	8,401775	8,392012	0,009763	3,767781	43,204	136	14,200	4003,832	8,295907
28	15,700	4425,772	8,395426	8,388547	0,006879	3,412685	30,347	140	14,150	3989,734	8,291479
32	15,600	4393,576	8,389036					144	14,100	3975,636	8,287940
36	15,550	4384,478	8,385886					148	14,050	3961,538	8,284387
40	15,500	4370,380	8,382605					152	14,025	3954,480	8,282006
44	15,400	4342,104	8,376132					156	13,950	3933,144	8,277245
48	15,350	4338,006	8,372990					160	13,900	3919,242	8,273554
52	15,300	4317,999	8,369318					164	13,850	3905,146	8,270050
56	15,250	4299,999	8,366344					168	13,825	3898,097	8,268244
60	15,150	4271,631	8,359766					172	13,800	3891,048	8,266434
64	15,100	4257,596	8,356460					176	13,725	3869,901	8,262034
68	15,050	4243,498	8,353143					180	13,700	3862,852	8,259181
72	15,000	4229,400	8,349815					184	13,650	3848,754	8,255504
76	14,950	4215,302	8,346477					188	13,600	3834,656	8,251835
80	14,900	4201,204	8,343126					192	13,550	3820,558	8,248152
84	14,850	4187,106	8,339765					196	13,500	3806,460	8,244455
88	14,800	4173,008	8,336394					200	13,450	3792,362	8,240744
92	14,750	4158,910	8,333003					204	13,400	3778,264	8,237070
96	14,700	4144,812	8,329613					208	13,375	3771,215	8,235152
100	14,650	4130,714	8,326205					212	13,325	3751,117	8,231407
104	14,600	4116,616	8,322795					216	13,275	3743,019	8,227643
108	14,550	4102,518	8,319386					220	13,200	3721,922	8,221922
T. 1.1.1.1. A. REZIDUALA TORC. 6080/16; MCG-2 400 N 70-2; 315 kW 6 kV; 2955 rot/min; $C_{\sigma} = 201,95$ V/mm											
0	15,075	4135,714	8,436128	8,406600	0,029528	8,083899	471,915	100	12,900	4097,336	8,343534
4	14,950	4113,596	8,428347	8,403553	0,024794	8,743694	310,650	104	12,875	4195,170	8,341074
8	14,850	4091,478	8,420566	8,400507	0,020061	8,410804	223,511	108	12,850	4197,044	8,337750
12	14,750	4069,360	8,412785	8,397461	0,015332	8,132927	169,522	112	12,825	4198,898	8,334203
16	14,650	4047,242	8,404994	8,394415	0,010602	4,740710	115,536	116	12,800	4190,752	8,330542
20	14,550	4025,124	8,397203	8,391369	0,005873	4,537195	71,447	120	12,750	4184,360	8,326552
24	14,450	4003,006	8,389412	8,388323	0,001889	4,271959	49,367	124	12,725	4175,914	8,322975
28	14,350	3980,888	8,381621	8,385277	0,001154	3,909836	39,280	128	12,700	4167,185	8,319202
32	14,250	3958,770	8,373830	8,382231	0,000419	3,331857	29,193	132	12,675	4158,027	8,315249
36	14,150	3936,652	8,366039	8,379185	0,000184	3,110844	21,043	136	12,650	4148,869	8,311185
40	14,050	3914,534	8,358248	8,376139	0,000049	2,859831	15,894	140	12,625	4139,711	8,307002
44	13,950	3892,416	8,350457	8,373093	0,000014	2,716818	11,745	144	12,600	4130,553	8,302717
48	13,850	3870,298	8,342666	8,370047	0,000000	2,716818	5,597	148	12,550	4075,000	8,301215
52	13,800	3862,852	8,340744	8,369244				152	12,500	4074,000	8,301133
56	13,750	3855,406	8,338822	8,368441				156	12,475	4064,954	8,301051
60	13,700	3847,960	8,336900	8,367638				160	12,450	4055,908	8,300969
64	13,650	3840,514	8,334978	8,366835				164	12,400	4046,862	8,300887
68	13,600	3833,068	8,333056	8,366032				168	12,375	4037,816	8,300805
72	13,550	3825,622	8,331134	8,365229				172	12,350	4028,770	8,300723
76	13,500	3818,176	8,329212	8,364426				176	12,325	4019,724	8,300641
80	13,450	3810,730	8,327290	8,363623				180	12,300	4010,678	8,300559
84	13,400	3803,284	8,325368	8,362820				184	12,275	4001,632	8,300477
88	13,350	3795,838	8,323446	8,362017				188	12,250	3992,586	8,300395
92	13,300	3788,392	8,321524	8,361214				192	12,225	3983,540	8,300313
96	13,250	3780,946	8,319602	8,360411				196	12,200	3974,494	8,300231
100	13,200	3773,500	8,317680	8,359608				200	12,175	3965,448	8,300149
104	13,150	3766,054	8,315758	8,358805				204	12,150	3956,402	8,300067
108	13,100	3758,608	8,313836	8,358002				208	12,125	3947,356	8,300000

Tabelul 4.16. Separarea componentelor curentului de scurtcircuit direct debitat de motoarele asincrone cu două colivii rotorice.

t	FAZA 1a			FAZA 2a			FAZA 3a			i _{sp}	ln(i _{sp})	a _{1s}	a _{2s}	a _{3s}
	i _{1np}	i _{1op}	ln(i _{1op})	i _{2op}	i _{2op}	ln(i _{2op})	i _{3op}	i _{3op}	ln(i _{3op})					
n	mm	A		mm	A		mm	A		A		%	%	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SCURT-CIRCUIT LA BORNĂ (DIRECT); OSC. 6092/16; M.C2-400M-70-2; 250KW; 6kV; 2955 rot/min; FAZA 1a: C=13,98A/mm; FAZA 2a: C=14,9A/mm; FAZA 3a: C=14,9A/mm														
12	3,75	136,305	4,914895	6,550	128,085	4,855911	7,200	137,030	4,970569	134,000	4,898511	1,55	-3,88	1,23
14	3,50	123,074	4,817390	6,200	122,130	4,805425	6,600	129,140	4,851123	124,440	4,823938	-1,14	-1,82	+2,90
16	3,25	116,034	4,753883	5,800	116,220	4,755495	6,000	116,220	4,755495	116,150	4,754951	-0,11	+0,05	+0,05
18	3,00	109,345	4,685321	5,400	109,333	4,699457	5,400	108,025	4,681362	109,750	4,689076	-0,37	+1,04	-0,69
20	2,75	100,655	4,611709	5,000	104,300	4,647271	5,900	102,810	4,632883	102,530	4,630788	-1,82	+1,66	0,22
22	2,50	96,467	4,569149	4,600	97,595	4,580826	5,500	96,850	4,573163	96,960	4,574331	-0,52	+0,64	-0,12
24	2,25	90,770	4,507430	4,200	93,125	4,533343	5,200	92,350	4,525911	92,170	4,523146	-1,36	+1,08	0,83
26	2,00	87,375	4,470209	3,800	87,910	4,476313	4,800	87,155	4,467803	87,480	4,473448	-0,12	+0,49	-0,38
28	1,75	83,880	4,430387	3,400	84,930	4,441877	4,400	81,950	4,405109	83,560	4,425334	0,35	+1,61	-1,95
30	1,50	80,385	4,389419	3,000	78,970	4,369068	4,000	80,460	4,387760	79,930	4,381250	0,50	-1,24	+0,65
32	1,25	77,890	4,351475	2,600	75,890	4,330602	3,600	75,990	4,330602	76,520	4,337591	1,32	-0,69	-0,63
34	1,00	75,395	4,314027	2,200	72,805	4,290333	3,200	72,865	4,290333	73,340	4,295115	2,93	-1,46	-0,46
36	0,75	72,900	4,283736	1,800	68,540	4,227417	2,800	70,030	4,248974	70,420	4,254506	3,22	-2,67	-0,55
38	0,50	70,405	4,250053	1,400	67,050	4,205438	2,400	67,423	4,210978	68,241	4,223040	2,94	-1,74	-1,20
40	0,25	67,910	4,211439	1,000	64,070	4,159976	2,000	65,560	4,187365	65,694	4,195012	2,68	-2,47	-0,20
42	0,00	65,415	4,157755	0,600	61,090	4,124459	1,600	61,835	4,124459	62,426	4,133937	1,89	-0,95	-0,95
44	0,00	61,060	4,124808	0,200	59,600	4,087655	1,200	59,600	4,087655	60,354	4,100227	2,50	-1,75	-1,25
46	0,00	59,065	4,079647	0,800	57,365	4,049434	0,800	57,365	4,049434	57,938	4,059164	1,95	-0,98	-0,98
48	0,00	56,610	4,036344	0,400	55,503	4,016428	0,400	54,013	3,999215	55,378	4,014128	2,24	-0,23	-1,20
50	0,00	54,522	3,998604	0,000	53,268	3,975426	0,000	52,150	3,954124	53,215	3,976186	2,27	-0,03	-2,18
52	0,00	52,425	3,959393	0,000	52,120	3,932462	0,000	51,033	3,932462	51,850	3,948535	1,09	0,50	-1,59
54	0,00	51,077	3,932355	0,000	50,288	3,917756	0,000	49,915	3,910321	50,400	3,920139	1,22	-0,24	-0,98
56	0,00	48,581	3,889222	0,000	48,485	3,880016	0,000	48,423	3,880016	48,477	3,881089	0,21	-0,02	-0,11
58	0,00	46,833	3,846580	0,000	46,935	3,848763	0,000	46,563	3,840795	46,777	3,845391	0,12	0,34	-0,10
60	0,00	45,086	3,808560	0,000	45,445	3,816502	0,000	45,445	3,816503	45,525	3,813866	0,53	0,26	0,26

TABEL 4.16 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
62	1,150	44,037	3,785030	2,950	43,955	3,783166	2,925	43,583	3,774655	43,658	3,780964	0,41	0,22	-0,63
64	1,050	42,639	3,752759	2,850	42,465	3,748690	2,775	41,348	3,722012	42,150	3,741250	1,16	0,75	-1,90
66	0,950	41,241	3,719433	2,750	40,975	3,717062	2,700	40,230	3,694613	40,815	3,709057	1,04	0,39	-1,43
68	0,825	39,474	3,676136	2,650	39,485	3,675920	2,625	39,113	3,666342	39,364	3,672851	0,33	0,31	-0,64
70	0,700	37,746	3,630379	2,575	38,368	3,647210	2,500	37,750	3,617652	37,788	3,631991	-0,11	1,53	-1,42
72	0,625	36,693	3,601708	2,500	37,250	3,617652	2,450	36,505	3,597449	36,358	3,605977	-0,33	1,17	-0,85
74	0,550	35,649	3,573721	2,425	36,133	3,587192	2,350	35,015	3,555776	35,520	3,572317	0,14	1,50	-1,54
76	0,450	34,751	3,533715	2,300	34,270	3,534270	2,300	34,270	3,534270	34,270	3,534085	-0,04	0,02	0,02
78	0,400	33,557	3,513996	2,250	33,525	3,512291	2,275	33,153	3,501118	33,400	3,508259	0,43	0,34	-0,77
80	0,350	31,455	3,440598	2,175	32,408	3,478389	2,175	31,663	3,455133	31,662	3,460786	-1,22	1,78	-0,55
82	0,300	30,706	-	1,550	23,095	-	1,550	23,095	-	23,350	-	1,92	-0,95	-0,95

SCURT-CIRCUIT LA BORNĂ (DIRECT); OSC. 6097/16; M.C2-400M-70-2; 315KW; 6kV; 2955 rot/min;
FAZA 1a: C=19,55A/mm; FAZA 2a: C=19,72A/mm; FAZA 3a: C=18,19A/mm

10	12,60	239,193	5,477269	12,150	239,598	5,478963	13,200	239,500	5,478997	239,457	5,478373	-0,11	+0,06	+0,05
12	11,40	226,790	5,421317	11,450	225,794	5,419623	12,450	225,968	5,420391	226,018	5,420611	+0,12	+0,10	+0,02
14	10,20	214,390	5,367750	10,875	214,455	5,368100	11,600	214,170	5,366770	214,335	5,367540	+0,02	+0,05	-0,07
16	9,00	203,463	5,315482	10,325	203,609	5,316202	11,250	204,189	5,319039	203,753	5,316909	+0,14	-0,07	+0,21
18	8,00	194,530	5,270586	9,875	194,735	5,271640	10,750	195,113	5,273576	194,793	5,271935	-0,14	-0,02	+0,18
20	7,40	185,500	5,232214	9,275	185,903	5,235056	10,250	186,029	5,229348	185,737	5,228699	-0,07	+0,05	+0,27
22	6,80	179,050	5,195471	8,850	176,494	5,173271	9,850	178,778	5,189142	177,974	5,181036	+0,38	-0,80	+0,40
24	6,20	170,710	5,159266	8,550	168,605	5,127555	9,400	170,610	5,139370	169,525	5,135653	+0,18	-0,81	+0,37
26	5,80	165,740	5,115436	8,150	166,718	5,077851	9,250	167,025	5,073274	165,115	5,068443	0,28	-2,65	+1,63
28	5,40	162,770	5,073330	7,775	153,323	5,037547	8,900	161,535	5,024752	159,229	5,070220	+2,24	-3,70	+1,46
30	5,00	155,373	5,039719	7,525	149,393	4,977864	8,650	156,525	5,005288	155,220	5,038503	+0,37	-4,42	+1,12
32	4,60	151,843	5,007910	7,150	146,993	4,917746	8,350	151,594	5,000837	148,224	4,929150	+2,51	-4,92	+2,21
34	4,20	140,935	4,949701	6,950	137,054	4,970375	7,750	141,603	4,943363	139,521	4,933277	+0,59	-1,79	+0,50
36	3,80	140,439	4,914771	6,900	136,068	4,913194	7,475	135,671	4,910234	137,223	4,922303	2,12	-0,95	-1,15
38	3,50	134,280	4,905116	6,750	133,110	4,891176	7,250	131,593	4,879672	132,225	4,881047	1,32	-0,09	-1,23
40	3,50	130,619	4,867659	6,600	130,152	4,868703	7,000	127,050	4,844580	129,624	4,850543	0,72	0,52	-1,58
42	3,20	125,055	4,829753	6,400	126,208	4,837931	6,825	123,274	4,813263	124,720	4,827544	0,72	1,15	-0,73
44	3,00	123,070	4,812795	6,250	123,250	4,814214	6,650	120,693	4,793207	122,329	4,806798	0,60	0,71	-1,04
46	2,80	119,100	4,779763	6,050	119,306	4,811691	6,475	117,521	4,765591	118,642	4,776113	0,19	0,56	-0,24
48	2,75	116,123	4,754645	5,800	114,376	4,739491	6,325	114,790	4,743180	115,090	4,745795	0,89	-0,63	-0,26

Componentelor curentului de scurtcircuit direct
 debitat de motoarele asincrone cu două colivii rotorice.
 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
50	5,700	113,145	4,722670	5,700	112,404	4,722099	6,150	111,623	4,715122	112,391	4,721981	0,67	0,01	-0,68
52	5,500	109,175	4,692252	5,500	109,446	4,695431	6,100	110,715	4,706959	109,779	4,699466	-0,55	-0,55	0,85
54	5,375	106,694	4,669962	5,350	105,502	4,653779	5,950	107,923	4,682661	106,730	4,670779	-0,02	-1,15	1,18
56	5,250	104,213	4,646432	5,250	103,530	4,639261	5,800	105,270	4,656520	104,338	4,647632	-0,12	-0,77	0,89
58	5,100	101,235	4,617444	5,175	101,690	4,621989	5,600	101,640	4,621437	101,522	4,620272	-0,78	0,25	0,12
60	5,000	99,250	4,597642	5,100	100,572	4,610974	5,500	99,825	4,603418	99,882	4,603973	-0,63	0,59	-0,66
62	4,875	96,769	4,572324	4,925	97,121	4,575957	5,400	98,010	4,585069	97,300	4,577799	-0,54	-0,10	0,73
64	4,750	94,288	4,546349	4,800	94,656	4,550249	5,300	94,200	4,547329	94,441	4,547977	-0,16	+0,23	-0,06
66	4,500	91,310	4,514260	4,650	91,698	4,518501	5,050	91,659	4,518059	91,595	4,515942	-0,25	+0,16	+0,12
68	4,500	89,325	4,492281	4,550	89,726	4,496761	4,950	89,843	4,492059	89,631	4,492703	-0,34	+0,11	+0,24
70	4,350	86,348	4,459390	4,400	86,766	4,463238	4,800	87,120	4,467287	86,745	4,462975	-0,46	+0,03	+0,43
72	4,250	84,363	4,435123	4,300	84,796	4,440243	4,700	85,305	4,445233	84,821	4,440545	-0,54	-0,03	+0,57
74	4,150	82,378	4,411312	4,200	82,824	4,416718	4,550	82,503	4,413798	82,595	4,413945	-0,26	+0,28	-0,02
76	4,000	79,400	4,374498	4,000	78,880	4,367928	4,350	78,953	4,363846	79,078	4,370428	+0,40	-0,25	-0,16
78	3,900	77,415	4,349181	3,950	77,894	4,355349	4,300	78,045	4,357236	77,785	4,353944	+0,48	+0,14	+0,33
80	3,850	76,423	4,336277	3,850	75,922	4,329707	4,150	75,323	4,321779	75,889	4,322772	+0,70	+0,04	-0,75
82	3,750	74,439	4,309960	3,750	73,350	4,303329	4,100	74,415	4,303558	74,269	4,307673	+0,23	-0,43	+0,70
84	3,650	72,452	4,283131	3,650	71,978	4,276361	3,950	71,253	4,272386	72,041	4,277235	+0,57	-0,09	+0,44
86	3,550	70,460	4,256152	3,550	70,006	4,249581	3,850	69,878	4,248744	70,117	4,250168	-0,50	-0,15	-0,19
88	3,450	68,463	4,228579	3,450	68,034	4,222008	3,750	68,063	4,220426	68,193	4,222342	+0,43	-0,23	-0,19
90	3,350	66,468	4,201164	3,400	67,048	4,205409	3,700	67,155	4,207003	66,900	4,203702	-0,60	+0,22	+0,39
92	3,250	64,473	4,166959	3,300	65,076	4,179556	3,550	64,433	4,175619	64,874	4,169384	-0,28	+0,22	-0,37
94	3,150	62,479	4,133154	3,200	63,104	4,153794	3,450	62,517	4,151945	61,001	4,144412	+0,70	+0,04	-0,74
96	3,050	60,484	4,100006	3,100	61,132	4,119016	3,350	60,253	4,117633	61,157	4,113314	+0,68	+0,04	-0,28
98	2,950	58,489	4,067416	3,000	60,160	4,085070	3,300	59,985	4,085933	59,804	4,087878	+0,24	+0,52	+0,25
100	2,900	57,495	4,052915	2,950	59,174	4,060345	3,200	59,000	4,061821	57,940	4,059402	-0,64	+0,40	+0,24

TABEL 4.16. (continuare)

SCURTCIRCUIT LA BOMBS (DIRECT); OSC.6092/16												
SEPARAREA COMPONENTEI APERIODICE SI A COMPONENTEI PERIODICE SUPRATRANZITORII												
t	F. A. Z. A. 2n					I _{np}	ln(I _{np})	ln(I _{1n})	d=ln(I _{1n})/-ln(I _{1n})	ln(I _{1n})	I _{1n}	
	I _{1n}	I _{2n}	I _{3n}	I _{4n}	I _{5n}							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
M.02-1000-70-2 ; 250 kW ; 6 kV ; 2955 rot/min ; F.A. 2n ; OS = 14,9 A/mm												
10	3,30	-13,40	-4,756	70,778	4,259565	134,000	4,892511	4,639814	0,261297	1,429918	30,075	
12	3,30	-12,50	-4,300	64,070	4,159376	124,448	4,821881	4,607450	0,221438	1,327571	24,719	
14	3,30	-11,70	-3,900	58,110	4,052138	116,198	4,754951	4,580086	0,185865	1,229504	19,728	
16	3,30	-11,00	-3,605	52,813	3,952215	107,753	4,682078	4,551725	0,153354	1,139099	15,640	
18	3,30	-10,40	-3,400	50,055	3,872513	105,259	4,630718	4,519257	0,128071	1,055002	12,622	
20	3,30	-9,90	-3,200	45,445	3,816803	98,209	4,574391	4,464922	0,109198	2,307477	10,040	
22	3,30	-9,50	-3,050	42,465	3,748589	92,125	4,523146	4,423829	0,092517	2,026022	8,141	
24	3,30	-9,20	-2,900	39,740	3,686973	87,483	4,473425	4,383765	0,073183	1,746757	6,315	
M.02-1000-70-2 ; 215 kW ; 6 kV ; 2955 rot/min ; F.A. 2n ; OS = 12,72 A/mm												
10	3,15	-10,65	-4,150	65,848	3,902228	129,157	4,470372	4,290227	0,211507	1,021034	15,610	
12	3,15	-10,10	-3,850	58,238	3,822226	126,018	4,419811	4,240000	0,180616	1,660771	17,108	
14	3,15	-9,60	-3,625	51,877	3,752117	114,339	4,367549	4,191335	0,154207	1,421097	20,600	
16	3,15	-9,20	-3,475	46,631	3,690003	103,753	4,319709	4,145057	0,130242	1,214132	24,427	
18	3,15	-8,80	-3,325	42,479	3,636144	101,793	4,273735	4,100000	0,111238	1,070076	20,620	
20	3,15	-8,50	-3,225	38,407	3,587276	100,737	4,229888	4,055333	0,093360	2,212309	17,156	
22	3,15	-8,20	-3,100	34,400	3,542937	177,974	4,187633	4,010667	0,074971	2,583130	12,055	
24	3,15	-8,00	-3,000	30,600	3,501041	151,975	4,146953	3,966000	0,058651	3,119106	9,201	
26	3,15	-7,80	-2,900	26,978	3,460594	135,115	4,106842	3,922333	0,045349	3,140454	8,572	
28	3,15	-7,60	-2,800	23,517	3,421593	125,203	4,067221	3,878667	0,033551	1,912402	6,775	
30	3,15	-7,50	-2,775	20,267	3,383979	115,250	4,029091	3,835000	0,024037	1,226124	5,811	
32	3,15	-7,40	-2,700	17,292	3,347667	108,134	4,092190	3,791333	0,017484	1,203191	3,620	

Tabelul 4.17. Separarea componentelor curentului de scurtcircuit indirect debitat de motoarele asincrone cu două colivii rotorice.

k	FAZA 1a			FAZA 2a			FAZA 3a			i _{opG}	ln i _{opG}	a _{1a}	a _{2a}	a _{3a}
	i _{1opG}	i _{1opQ}	ln i _{1opQ}	i _{2opG}	i _{2opQ}	ln i _{2opQ}	i _{3opG}	i _{3opQ}	ln i _{3opQ}					
	A			mm			mm			A				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SCURT-CIRCUIT INDIRECT; CSC.6033/16; M.C2-400M 70-2; 250kW; 6kV; 2955 rot/min; FAZA 1a: CG=13,98A/mm; FAZA 2a: CG=14,90A/mm; FAZA 3a: CG=14,90A/mm.														
11	7,700	135,006	4,809754	9,100	135,530	4,909635	9,100	135,590	4,909536	135,595	4,909573	+0,01	+0,00	-0,01
12	7,000	125,970	4,834952	9,450	125,905	4,835528	9,450	125,905	4,835528	125,977	4,835305	-0,04	+0,02	+0,02
13	7,400	117,432	4,765859	7,950	117,432	4,765859	7,900	117,715	4,768224	117,525	4,766651	-0,08	-0,08	+0,16
14	7,200	110,447	4,704420	7,425	110,633	4,706214	7,375	109,515	4,696061	110,196	4,701760	+0,22	+0,40	-0,62
15	7,400	103,457	4,639109	7,000	104,300	4,646737	7,000	104,300	4,646737	104,017	4,644525	+0,54	+0,27	+0,27
16	7,000	97,260	4,583540	6,550	97,595	4,583830	6,500	96,850	4,573163	97,425	4,579155	+0,44	+0,16	-0,60
17	6,600	92,258	4,524597	6,200	92,678	4,523131	6,200	92,678	4,523131	92,341	4,527652	-0,30	+0,15	+0,15
18	6,250	87,375	4,470209	5,900	87,910	4,476314	5,850	87,168	4,467803	87,493	4,471444	-0,12	+0,43	-0,36
19	5,600	83,080	4,423387	5,600	83,440	4,424128	5,575	83,668	4,419653	83,263	4,424403	+0,50	-0,03	-0,47
20	5,700	79,586	4,378094	5,350	79,715	4,378458	5,300	79,978	4,383068	79,457	4,375716	+0,29	+0,32	-0,61
21	5,450	76,191	4,333743	5,100	75,970	4,330602	5,100	75,970	4,330602	76,067	4,331453	+0,18	-0,09	-0,09
22	5,200	72,838	4,290786	4,900	73,010	4,290596	4,875	72,537	4,285481	72,761	4,287455	-0,12	+0,31	-0,20
23	5,000	69,900	4,247066	4,675	69,658	4,243590	4,700	70,030	4,248924	69,922	4,246522	+0,05	-0,23	+0,24
24	4,800	67,104	4,206344	4,500	67,050	4,205439	4,475	66,878	4,199768	66,944	4,204156	+0,24	+0,15	-0,40
25	4,600	64,308	4,163834	4,300	64,070	4,159776	4,325	64,447	4,165773	64,274	4,163155	+0,05	-0,32	+0,76
26	4,475	61,932	4,124933	4,150	61,835	4,124469	4,150	61,835	4,124469	61,843	4,124599	+0,03	-0,01	-0,01
27	4,350	59,415	4,084547	4,000	59,600	4,087656	3,975	59,729	4,081786	59,444	4,084520	+0,00	+0,31	-0,31
28	4,100	57,119	4,048515	3,850	57,395	4,049434	3,825	56,922	4,042820	57,225	4,046991	+0,15	+0,24	-0,41
29	3,950	55,221	4,011343	3,700	55,170	4,009694	3,675	54,757	4,002914	55,030	4,007987	+0,34	+0,17	-0,51
30	3,800	53,123	3,972630	3,575	53,268	3,975326	3,500	52,150	3,954124	52,847	3,957401	+0,52	+0,60	-1,32
31	3,620	53,474	3,973186	3,525	52,523	3,961242	3,400	50,600	3,925137	52,219	3,955446	2,40	0,59	-2,99
32	3,500	50,328	3,914562	3,300	49,170	3,892504	3,250	48,425	3,880017	49,203	3,890060	2,07	-0,28	-1,79
33	3,550	49,629	3,904576	3,275	48,798	3,887679	3,100	46,190	3,832764	48,206	3,875477	2,95	1,23	-4,18
34	3,370	47,183	3,854023	3,125	46,653	3,840796	2,950	43,955	3,783167	45,400	3,826472	2,79	1,44	-4,24
35	3,250	45,435	3,816783	3,000	44,700	3,791974	2,875	42,630	3,757414	44,124	3,791534	2,51	0,85	-3,35
36	3,200	44,736	3,800778	2,900	43,210	3,766072	2,800	41,720	3,730981	43,222	3,766349	3,50	-0,03	-3,48
37	3,050	42,639	3,752769	2,750	40,975	3,712963	2,700	40,230	3,694613	41,221	3,720410	3,29	-0,74	-2,55

TABEL 4.17. (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
38	2,870	40,192	3,693660	2,650	39,485	3,675971	2,600	38,740	3,658873	39,473	3,675608	1,82	0,03	-1,86
39	2,770	38,734	3,658278	2,550	37,995	3,637455	2,500	37,250	3,617653	38,012	3,637320	2,06	-0,05	-2,01
40	2,750	38,445	3,649228	2,450	36,505	3,597450	2,400	35,760	3,576831	36,903	3,608302	4,18	-1,94	-3,10
41	2,620	36,697	3,602708	2,325	34,643	3,545082	2,325	34,643	3,545082	35,327	3,564650	3,88	-1,94	-1,94
42	2,500	34,550	3,553918	2,275	33,208	3,523342	2,275	33,898	3,523342	34,548	3,533647	2,07	-1,02	-1,02
43	2,400	33,552	3,513036	2,200	32,760	3,489819	2,250	33,525	3,512292	32,952	3,495062	1,82	-0,52	1,74
44	2,300	32,354	3,470537	2,150	32,035	3,466830	2,200	32,780	3,489819	32,323	3,475780	-0,52	-0,89	1,41
45	2,250	31,455	3,448558	2,050	30,545	3,419202	2,175	32,407	3,478309	31,469	3,443068	-0,04	-2,94	2,98
46	2,175	30,406	3,414555	2,000	29,800	3,394508	2,125	31,662	3,455133	30,625	3,421751	-0,71	-2,69	3,40
47	2,125	29,707	3,391391	1,900	28,310	3,343215	2,050	30,545	3,419201	29,521	3,385102	0,63	-4,10	3,47
48	2,075	29,008	3,375598	1,800	26,870	3,289147	2,000	29,800	3,394508	28,545	3,351406	1,63	-5,04	4,40
49	2,000	27,958	3,330775	1,750	26,076	3,260977	1,900	28,310	3,343215	27,441	3,312265	1,87	-5,00	3,14
50	1,975	26,911	3,321554	1,700	25,330	3,231089	1,825	27,192	3,302941	26,478	3,276314	1,64	-4,34	2,70
51	1,850	25,863	3,252813	1,650	24,489	3,201136	1,750	26,075	3,260977	25,508	3,232979	1,39	-3,62	2,22
SCURT-CIRCUIT INDIRECT; CSC.6033/16; M.C2 400L 70-2; 315 kW; 6kV; 1955 rot/min; FAZA 1a: CG=19,09 A/mm; FAZA 2a: CG=19,72 A/mm; FAZA 3a: CG=18,15 A/mm.														
15	9,915	196,813	5,282253	9,975	196,707	5,281715	10,050	196,928	5,282253	196,82	5,282321	-0,01	-0,06	+0,05
17	9,450	187,893	5,234221	9,525	187,833	5,235553	10,350	187,853	5,235657	187,75	5,235144	-0,09	+0,04	+0,05
19	9,100	180,635	5,190478	8,975	176,987	5,176076	9,950	180,592	5,196243	179,40	5,193645	+0,69	-1,34	+0,36
21	8,700	172,635	5,151527	8,650	170,572	5,131133	9,550	173,333	5,155212	172,20	5,149067	+0,29	-0,94	+0,66
23	8,350	165,748	5,110466	8,350	164,662	5,103895	9,150	166,073	5,112424	165,49	5,103935	+0,15	-0,50	+0,35
25	8,050	159,733	5,073976	8,050	158,746	5,067305	8,800	159,720	5,073422	159,42	5,071539	+0,23	-0,42	+0,19
27	7,800	154,830	5,043370	7,700	151,844	5,027854	8,550	155,183	5,044602	153,95	5,036642	+0,57	-1,37	+0,80
29	7,500	148,875	5,003107	7,500	147,900	4,996536	8,250	149,738	5,000067	148,83	5,002956	+0,03	-2,62	+0,60
31	7,250	143,913	4,969706	7,275	143,463	4,966077	7,950	144,293	4,971843	143,88	4,963045	+0,02	-0,30	+0,28
33	7,000	138,950	4,934114	7,050	139,026	4,934661	7,700	139,755	4,939891	139,24	4,936225	-0,21	-0,16	+0,37
35	6,850	135,972	4,912453	6,850	135,082	4,905882	7,450	135,718	4,900885	135,47	4,908411	+0,41	-0,75	-0,15
37	6,450	128,033	4,853384	6,500	128,180	4,853436	7,000	127,050	4,844581	127,75	4,850108	+0,22	+0,33	-0,55
39	6,300	125,055	4,828754	6,300	124,236	4,822183	6,900	125,235	4,830192	124,04	4,827049	+0,17	-0,49	+0,32
41	6,150	122,078	4,804656	6,150	121,278	4,798085	6,700	121,605	4,800778	121,60	4,801177	+0,35	-0,31	-0,04
43	5,950	118,107	4,771595	6,000	118,320	4,771393	6,550	118,882	4,770136	118,45	4,774378	-0,28	-0,10	+0,33
45	5,850	116,123	4,754646	5,850	115,362	4,740075	6,350	115,253	4,747125	115,57	4,749354	+0,47	-0,18	-0,28
47	5,700	113,145	4,728670	5,700	112,404	4,722099	6,200	112,530	4,723220	112,69	4,724667	+0,40	-0,26	-0,14

Tabelul 4.17. Separarea componentelor curentului de scurtcircuit indirect debitat de motoarele asincrone cu două colivii rotorice. (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
49	5,500	107,175	4,692252	5,600	110,432	4,704400	6,000	108,900	4,690430	109,502	4,695946	-0,30	+0,85	-0,55
51	5,400	107,170	4,674603	5,400	106,388	4,668032	5,900	107,085	4,671623	106,921	4,672090	+0,25	-0,40	+0,15
53	5,750	104,213	4,646437	5,300	104,516	4,649340	5,750	104,363	4,647870	104,364	4,647832	-0,14	+0,15	+0,01
55	5,100	101,235	4,617445	5,150	101,558	4,620630	5,600	101,640	4,621437	101,478	4,619839	-0,24	+0,09	+0,16
57	5,000	99,250	4,597642	5,050	99,586	4,601022	5,500	99,825	4,603419	99,554	4,600697	-0,31	+0,03	+0,27
59	4,900	97,265	4,577437	4,900	96,628	4,570869	5,350	97,103	4,575767	96,999	4,574696	+0,27	-0,33	+0,11
61	4,750	94,288	4,548349	4,800	94,656	4,550249	5,200	94,380	4,547329	94,441	4,547977	-0,26	+0,23	-0,06
63	4,600	91,310	4,514260	4,650	91,698	4,518501	5,050	91,658	4,518942	91,555	4,516942	-0,27	+0,16	+0,11
65	4,500	89,325	4,492281	4,550	89,726	4,496761	4,950	89,843	4,498058	89,631	4,495703	-0,34	+0,11	+0,24
67	4,400	87,340	4,469809	4,450	87,754	4,474537	4,800	87,120	4,467286	87,405	4,470549	-0,07	+0,40	-0,33
69	4,300	85,345	4,446819	4,300	84,796	4,440248	4,700	85,305	4,446233	85,152	4,444438	+0,24	-0,42	+0,18
71	4,200	83,370	4,423287	4,200	82,824	4,416718	4,600	83,490	4,424727	83,228	4,421584	+0,17	-0,49	+0,32
73	4,050	80,393	4,396222	4,100	80,852	4,392620	4,500	81,675	4,402743	80,973	4,394118	-0,71	-0,14	+0,87
75	4,000	79,400	4,374498	4,000	78,880	4,367928	4,300	78,045	4,357286	78,775	4,366596	+0,79	+0,13	-0,93
77	3,900	77,415	4,349181	3,900	76,908	4,342610	4,250	77,138	4,345570	77,154	4,345797	+0,34	-0,32	-0,02
79	3,800	75,430	4,323205	3,800	74,936	4,316634	4,150	75,323	4,321779	75,230	4,320543	+0,27	-0,37	+0,12
81	3,700	73,445	4,296537	3,700	72,964	4,290966	4,050	73,508	4,297337	73,306	4,294636	+0,19	-0,47	+0,28
83	3,600	71,460	4,269138	3,600	70,992	4,262567	3,950	71,693	4,273386	71,382	4,268039	+0,11	-0,55	+0,44
85	3,500	69,475	4,240957	3,500	69,020	4,234396	3,850	69,878	4,246744	69,458	4,240715	+0,03	-0,63	+0,60
87	3,400	67,490	4,211979	3,450	68,034	4,220008	3,750	68,063	4,220426	67,863	4,217473	-0,55	+0,25	+0,30
89	3,350	66,498	4,197164	3,350	66,062	4,190594	3,650	66,248	4,193398	66,209	4,193722	+0,35	-0,31	-0,03
91	3,250	64,513	4,166059	3,250	64,090	4,160288	3,550	64,433	4,164618	64,345	4,164259	+0,26	-0,40	+0,14
93	3,200	63,520	4,151355	3,200	63,104	4,144784	3,450	62,617	4,137045	63,081	4,144412	+0,70	+0,04	-0,74
95	3,100	61,535	4,119606	3,100	61,132	4,113036	3,350	61,404	4,117408	61,357	4,116707	+0,29	-0,37	+0,08
97	3,000	59,550	4,086816	3,000	59,160	4,080246	3,300	59,895	4,092593	59,535	4,085564	+0,03	-0,63	+0,60
99	2,950	58,558	4,070009	2,950	58,174	4,063439	3,200	58,080	4,061821	58,271	4,065096	+0,50	-0,17	-0,33

TABEL 4.17. (continuare)

SCURT-CIRCUIT INDIRECT ; OSC. 6000/16 SEPARAREA COMPONENTEI APERIODICE SI A COMPONENTEI PERIODICE SUPRATRANZITORII												
t	FAZA 2σ					f _{npQ}	ln(f _{npQ})	ln(f _{nQ})	d-ln(f _{npQ}) -ln(f _{nQ})	ln(f _{nQ})	f _{nQ}	
	f _{2σnpQ}	f _{2σnQ}	f _{2σnpQ}	f _{2σnQ}	ln(f _{2σnpQ})							
min	min	min	min	A	A					A		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
K C2-400M-70-2 ; 250 kW ; 6 kV ; 2955 rot/min; FAZA 2σ = 14,90 A/mm												
11	14,40	-4,40	4,050	60,345	4,100078	135,595	4,902673	4,628018	0,281655	3,505074	33,284	
13	13,70	-4,40	3,750	55,875	4,023117	125,877	4,835305	4,592930	0,242375	3,292226	27,024	
15	12,10	-4,40	3,450	51,405	3,931735	117,525	4,756651	4,557842	0,208309	3,089777	22,148	
17	11,10	-4,50	3,175	47,308	3,850669	110,196	4,702280	4,527754	0,179506	2,896306	18,107	
19	10,25	-4,50	3,000	44,700	3,793974	104,014	4,644525	4,487667	0,156860	2,714710	15,100	
21	9,40	-4,50	2,700	40,230	3,694613	97,435	4,579185	4,457580	0,126605	2,449371	11,587	
23	8,75	-4,40	2,500	37,250	3,617652	92,541	4,527652	4,417491	0,110161	2,267265	9,553	
25	8,00	-4,40	2,300	34,270	3,534270	87,403	4,471444	4,382404	0,089040	2,008590	7,457	
27	7,30	-4,40	2,100	31,290	3,443793	83,463	4,424403	4,357316	0,077087	1,823292	6,192	
29	6,65	-4,35	1,950	29,055	3,362491	79,457	4,375716	4,312228	0,062908	1,572076	4,950	
31	6,25	-4,25	1,800	26,800	3,289143	76,057	4,331493	4,277140	0,054343	1,391996	4,099	
33	5,80	-4,25	1,650	24,505	3,202136	72,701	4,287455	4,242053	0,045402	1,172641	3,251	
35	5,50	-4,20	1,500	22,350	3,108976	69,662	4,246522	4,206965	0,039557	0,999793	2,710	
MNC2-400L-70-2 ; 115 kW ; 6 kV ; 2955 rot/min; FAZA 2σ=12,72 A/mm												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
15	15,30	-4,65	5,325	105,009	4,654946	196,826	5,282521	5,130127	0,152194	3,324586	27,757	
17	14,40	-4,65	4,975	96,135	4,559754	187,756	5,235144	5,104810	0,130333	3,133023	22,742	
19	13,50	-4,45	4,525	89,233	4,431251	179,405	5,180845	5,079494	0,110152	2,929103	18,712	
21	12,85	-4,45	4,200	82,824	4,416718	172,202	5,148667	5,054177	0,094491	2,742544	15,523	
23	12,25	-4,45	3,900	76,908	4,342801	165,494	5,109935	5,028061	0,080074	2,584303	12,735	
25	11,65	-4,45	3,600	70,992	4,262567	159,420	5,071539	5,003544	0,067992	2,349362	10,479	
27	10,95	-4,45	3,250	64,090	4,160288	153,952	5,036642	4,970728	0,052813	2,107360	8,735	
29	10,55	-4,45	3,050	60,146	4,096775	148,830	5,002356	4,957911	0,049947	1,981198	7,251	
31	10,10	-4,45	2,825	55,709	4,020142	143,889	4,969045	4,927595	0,041447	1,765096	5,842	
33	9,65	-4,45	2,600	51,272	3,937145	139,244	4,936225	4,902778	0,033949	1,536414	4,648	
35	9,25	-4,45	2,400	47,328	3,857102	135,424	4,908411	4,876962	0,031449	1,433326	4,192	

Tabelul 4.18. Separarea componentelor tensiunii reziduale a motoarelor asincrone cu colivie cu bare înalte.

k	u _{1sp} /mV	u _{1sp} /V	ln(u _{1sp})	ln(u _{1sp})	ln(u _{1sp})	u _{1sp} /V	ln(u _{1sp})	ln(u _{1sp})	d=ln(u _{1sp}) - ln(u _{1s})	ln(u _{1s})	ln(u _{1s})	u _{1s} /V
MOTORUL REZIDUALA I OSC. 5025-176; KAS-2-400Y-100-4; 6 kV; 315 kA; 1495 rot/min; G=290,25 V/mm												
2	17,200	4320,300	3,430591	3,355151	0,113440	6,234424	525,740	0,105373	6,166303	6,166303	417,256	
4	17,000	4764,250	3,453095	3,33502	0,105373	6,166303	476,534	0,072227	6,024316	6,024316	373,676	
6	16,750	4594,183	3,454010	3,351854	0,061353	5,893712	354,563	0,061353	5,893712	5,893712	307,514	
8	16,550	4534,133	3,442651	3,350205	0,061353	5,893712	322,534	0,061353	5,893712	5,893712	270,920	
10	16,375	4583,094	3,411433	3,353555	0,061353	5,893712	280,550	0,061353	5,893712	5,893712	243,332	
12	16,200	4540,050	3,420593	3,353907	0,061353	5,893712	245,529	0,061353	5,893712	5,893712	225,737	
14	16,050	4493,013	3,411391	3,353750	0,061353	5,893712	224,510	0,061353	5,893712	5,893712	203,135	
16	15,950	4457,988	3,411391	3,353750	0,061353	5,893712	224,510	0,061353	5,893712	5,893712	180,527	
18	15,850	4441,763	3,393752	3,351461	0,061353	5,893712	175,431	0,061353	5,893712	5,893712	157,913	
20	15,725	4406,931	3,393752	3,350312	0,061353	5,893712	154,377	0,061353	5,893712	5,893712	140,537	
22	15,625	4378,905	3,384554	3,34563	0,061353	5,893712	145,313	0,061353	5,893712	5,893712	123,161	
24	15,550	4376,513	3,379743	3,347014	0,061353	5,893712	113,241	0,061353	5,893712	5,893712	92,145	
26	15,450	4329,563	3,373291	3,345355	0,061353	5,893712	112,165	0,061353	5,893712	5,893712	75,611	
28	15,350	4297,825	3,363535	3,342010	0,061353	5,893712	91,665	0,061353	5,893712	5,893712	57,516	
30	15,250	4273,813	3,350252	3,340419	0,061353	5,893712	83,967	0,061353	5,893712	5,893712	40,152	
32	15,200	4259,500	3,353973	3,337770	0,061353	5,893712	76,357	0,061353	5,893712	5,893712	36,701	
34	15,135	4241,504	3,352492	3,337122	0,061353	5,893712	65,532	0,061353	5,893712	5,893712	28,079	
36	15,050	4217,763	3,347050	3,335473	0,061353	5,893712	43,591	0,061353	5,893712	5,893712		
38	15,025	4213,553	3,345053	3,333824	0,061353	5,893712	51,255	0,061353	5,893712	5,893712		
40	15,050	4183,733	3,340333	3,335229	0,061353	5,893712	41,137	0,061353	5,893712	5,893712		
42	14,950	4161,713	3,335510	3,327229	0,061353	5,893712	25,770	0,061353	5,893712	5,893712		
44	14,900	4147,700	3,330309	3,326534	0,061353	5,893712	26,371	0,061353	5,893712	5,893712		
46	14,825	4125,611	3,326122	3,324334	0,061353	5,893712	11,425	0,061353	5,893712	5,893712		
48	14,750	4077,539	3,313273									
50	14,700	4053,525	3,309331									
52	14,650	4040,613	3,305372									
54	14,600	4035,600	3,302310									
56	14,550	4014,531	3,297659									
58	14,525	4000,569	3,294192									
60	14,500	3979,550	3,289324									
62	14,475	3965,533	3,285397									
64	14,450	3937,513	3,273305									
66	14,425	3923,499	3,271131									
68	14,400	3897,475	3,263957									
70	14,375	3887,450	3,260351									
72	14,350	3853,434	3,255721									
74	14,325	3845,411	3,254301									
76	14,300	3822,387	3,251251									
78	14,275	3812,364	3,250321									
80	14,250	3802,341	3,249891									
82	14,225	3792,318	3,249461									
84	14,200	3782,295	3,249031									
86	14,175	3772,272	3,248601									
88	14,150	3762,249	3,248171									
90	14,125	3752,226	3,247741									
92	14,100	3742,203	3,247311									
94	14,075	3732,180	3,246881									
96	14,050	3722,157	3,246451									
98	14,025	3712,134	3,246021									
100	14,000	3702,111	3,245591									
102	13,975	3692,088	3,245161									
104	13,950	3682,065	3,244731									
106	13,925	3672,042	3,244301									
108	13,900	3662,019	3,243871									
110	13,875	3652,000	3,243441									
112	13,850	3642,000	3,243011									
114	13,825	3632,000	3,242581									
116	13,800	3622,000	3,242151									
118	13,775	3612,000	3,241721									
120	13,750	3602,000	3,241291									
122	13,725	3592,000	3,240861									
124	13,700	3582,000	3,240431									
126	13,675	3572,000	3,240001									
128	13,650	3562,000	3,239571									
130	13,625	3552,000	3,239141									
132	13,600	3542,000	3,238711									
134	13,575	3532,000	3,238281									
136	13,550	3522,000	3,237851									
138	13,525	3512,000	3,237421									
140	13,500	3502,000	3,236991									

Tablul 4.19. Separarea componentelor curentului de scurtcircuit direct debitat de motoarele asincrone cu colivie cu bare fnalte.

t	FAZA 1a			FAZA 2a			FAZA 3a			I _{np}	ln(I _{np})	a _{1a}	a _{2a}	a _{3a}
	I _{1op}	I _{2op}	ln(I _{1op})	I _{2op}	I _{3op}	ln(I _{2op})	I _{3op}	I _{3op}	ln(I _{3op})					
mm	mm	A		mm	A		mm	A		A		%	%	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SCURT-CIRCUIT LA BORNE (DIRECT); OSC. 6082-1/16; MIB2-EXo II-73-400Y-110-6, 6kV, 400kA, 922 rot/min;														
FAZA 1a CE=31,021 A/mm; FAZA 2a = 31,273 A/mm; FAZA 3a = 30,408 A/mm														
10	11,60	352,344	5,855669	12,125	379,185	5,938074	11,500	349,692	5,857053	362,907	5,894147	-0,84	4,49	-3,64
12	11,05	342,782	5,837095	11,500	359,639	5,895102	11,450	349,172	5,852696	350,192	5,859493	-2,12	2,70	-0,58
14	10,50	327,272	5,790790	10,900	340,876	5,831518	11,000	334,482	5,817601	334,212	5,811776	-2,68	1,94	0,00
16	10,20	316,414	5,757052	10,450	326,803	5,789357	10,500	319,264	5,766081	320,834	5,770923	-1,39	1,63	-0,40
18	9,650	299,353	5,701622	9,950	311,166	5,740328	10,125	307,861	5,729713	306,133	5,724021	-2,21	1,54	0,57
20	9,300	288,425	5,654679	9,550	299,657	5,692296	9,750	296,478	5,671973	294,543	5,685125	-2,05	1,39	0,66
22	9,050	280,740	5,617429	9,150	286,140	5,650509	9,300	282,794	5,644720	283,227	5,646250	-0,94	1,03	0,15
24	8,675	269,107	5,595169	8,800	275,202	5,617507	9,000	273,672	5,611930	272,660	5,608227	-1,30	0,93	3,71
26	8,450	262,127	5,568831	8,400	262,693	5,570917	8,700	264,510	5,578029	263,123	5,572023	-0,39	-0,16	0,94
28	8,150	252,821	5,532682	8,150	254,875	5,540773	8,350	253,207	5,536267	253,268	5,536813	-0,41	0,40	0,02
30	7,850	243,515	5,495172	7,900	247,057	5,502618	8,100	246,305	5,506570	245,625	5,503209	-0,86	0,88	0,20
32	7,500	232,698	5,449567	7,550	236,111	5,464303	7,750	235,662	5,462309	234,810	5,459778	-0,45	-3,15	-3,34
34	7,250	224,202	5,415686	7,325	229,675	5,434048	7,500	228,060	5,422609	227,346	5,426472	-1,07	0,76	0,31
36	7,000	217,147	5,382575	7,050	220,475	5,395783	7,250	220,459	5,395707	219,300	5,390714	-1,01	0,51	0,50
38	6,875	213,269	5,362556	6,800	212,656	5,359678	7,000	212,856	5,360616	212,957	5,360919	0,15	-0,14	-0,05
40	6,625	205,514	5,325515	6,550	207,965	5,317372	6,750	205,254	5,324249	206,244	5,322062	-0,35	0,33	-0,48
42	6,400	198,534	5,292652	6,450	201,711	5,306835	6,650	202,213	5,303373	200,919	5,302406	-1,14	0,44	0,69
44	6,150	193,881	5,267246	6,200	193,893	5,267304	6,450	196,132	5,278786	194,635	5,271128	-0,39	-0,38	0,77
46	6,100	189,228	5,242253	6,050	189,202	5,242113	6,275	190,810	5,251279	189,747	5,245520	-0,27	-0,29	0,56
48	5,875	182,248	5,205371	5,850	182,247	5,209197	6,125	185,243	5,227055	183,815	5,213278	-0,25	-0,47	1,32
50	5,700	176,820	5,175131	5,725	179,039	5,187596	6,000	182,448	5,206455	179,435	5,189715	-1,46	-0,22	1,08
52	5,550	172,167	5,149462	5,550	173,565	5,156553	5,850	177,892	5,181147	174,540	5,162152	-1,35	-0,56	1,91
54	5,400	167,513	5,121053	5,375	168,092	5,124514	5,700	173,326	5,155172	169,644	5,133700	-1,25	-0,91	2,17
56	5,250	162,860	5,092893	5,250	164,183	5,100983	5,550	168,764	5,128504	165,269	5,107574	-1,46	-0,65	2,11

TABEL 4.19. (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
58	5,150	159,758	5,073661	5,100	159,492	5,071996	5,400	164,203	5,101105	161,151	5,082343	-0,85	-1,07	1,89
60	5,075	155,890	5,047090	5,000	156,365	5,052193	5,275	160,402	5,077684	157,543	5,059737	-1,05	-0,75	1,81
62	4,850	150,452	5,013643	4,800	150,110	5,011371	5,200	158,122	5,063364	152,895	5,020749	-1,60	-1,82	3,42
64	4,700	147,350	4,972809	4,700	146,943	4,990318	5,000	152,050	5,024144	148,791	5,002543	-0,97	-1,22	2,18
66	4,650	144,248	4,971532	4,575	143,074	4,963362	4,900	148,029	5,003941	145,440	4,979736	-0,82	-1,53	2,45
68	4,550	141,116	4,947922	4,500	140,723	4,946333	4,800	145,952	4,984322	142,611	4,960119	-1,03	-1,32	2,35
70	4,400	136,492	4,916269	4,375	136,813	4,918562	4,700	142,918	4,952268	138,743	4,932523	-1,62	-1,39	3,01
72	4,300	133,300	4,893279	4,250	132,910	4,892574	4,575	133,117	4,935312	135,139	4,906304	-1,22	-1,25	2,04
74	4,225	131,819	4,881983	4,150	129,793	4,869993	4,450	135,316	4,907610	132,313	4,889168	-0,94	-1,91	2,27
76	4,100	128,737	4,857773	4,075	127,431	4,847626	4,350	132,275	4,884325	129,493	4,863590	-0,59	-1,57	2,16
78	4,025	124,892	4,827189	4,000	125,692	4,822649	4,250	129,234	4,861625	126,395	4,839412	-1,22	-1,03	2,28
80	3,950	122,533	4,808300	3,875	121,193	4,797301	4,125	125,433	4,831772	123,050	4,811578	-0,42	-1,52	1,33
82	3,850	119,431	4,782738	3,800	119,837	4,777756	4,100	124,673	4,825693	120,900	4,795678	-1,28	-1,77	3,05
84	3,775	117,104	4,763055	3,750	117,274	4,764531	4,000	121,612	4,801060	119,670	4,775347	-1,32	-1,11	2,50
86	3,725	115,563	4,749731	3,650	114,146	4,737482	3,800	115,598	4,749707	115,683	4,745654	0,31	-0,81	0,41
88	3,650	111,676	4,715598	3,600	112,503	4,723690	3,675	111,749	4,718259	112,003	4,718523	-0,79	0,52	-0,23
90	3,550	110,125	4,701612	3,500	109,459	4,699598	3,625	110,229	4,702560	109,936	4,692061	0,17	-0,44	0,27
92	3,350	103,220	4,643625	3,400	106,329	4,665531	3,550	107,248	4,681653	106,065	4,664055	-2,02	0,25	1,78
94	3,350	103,220	4,643625	3,350	104,764	4,651716	3,500	106,420	4,667469	105,039	4,653119	-1,06	-0,28	1,37
96	3,300	102,370	4,634587	3,275	102,419	4,629063	3,400	103,347	4,630481	102,725	4,632059	-0,35	-0,30	0,64
98	3,250	100,818	4,613319	3,200	100,074	4,609205	3,300	100,345	4,609578	100,413	4,602253	0,40	-0,34	-0,07
100	3,175	98,492	4,590172	3,150	98,510	4,590158	3,250	98,826	4,593361	98,609	4,591155	-0,12	-0,10	0,22
102	3,125	96,941	4,574099	3,050	95,333	4,557897	3,125	95,025	4,554140	95,783	4,562085	1,21	-0,47	-0,73
104	3,050	94,614	4,542806	3,000	93,819	4,541367	3,075	93,509	4,539011	93,979	4,542075	0,69	-0,17	-0,50
106	2,975	92,897	4,524904	2,950	92,259	4,524560	3,000	91,224	4,513318	91,922	4,520740	0,39	0,36	-0,76
108	2,900	89,961	4,499375	2,900	90,692	4,507406	2,900	89,183	4,479416	89,612	4,495189	3,81	4,71	1,81
110	2,875	89,185	4,490717	2,875	88,366	4,491264	2,850	86,663	4,462025	88,065	4,476071	1,27	0,32	-1,52
112	2,775	86,083	4,455315	2,775	86,783	4,463406	2,825	86,063	4,462025	85,509	4,460256	-0,49	0,31	0,19
114	2,700	83,757	4,427216	2,700	84,437	4,436007	2,750	83,622	4,426307	83,938	4,430086	-0,22	0,52	-0,38
116	2,650	82,206	4,409224	2,650	82,873	4,417315	2,725	82,862	4,417174	82,647	4,414578	-0,53	2,73	2,60
118	2,550	79,104	4,370758	2,550	79,746	4,378849	2,600	79,061	4,370217	79,304	4,373284	-0,25	0,56	-0,31
120	2,500	77,552	4,350955	2,450	76,619	4,338843	2,575	78,301	4,360555	77,491	4,350157	0,06	-1,12	1,05

TABEL 4.19 (continuare)

SCURT-CIRCUIT LA BORNE (DIRECT) - OSC. 6092/16														
SEPARAREA COMPONENTELOR AERIEI APLICATIVE SI A COMPONENTELI FIZICILOR SUPRATRANZISTORII														
t	FAZA 2a					I _{np}	ln(I _{np})	ln(I _{1a})	d=ln(I _{1a})/-ln(I _{np})	ln(I _{2a})	I _{2a}			
	I _{2op}	I _{3op}	I _{2op}	I _{2op}	ln(I _{2op})									
mm	mm	mm	mm	A		A			A	A				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
MIB2-EXo II-73-400Y-110-6 ; 6 kV, 400 kA ; 922 rot/min; FAZA 2a = 31,273 A/mm.														
10	24,50	0,25	12,375	107,003	5,953433	362,907	5,894147	1,624399	0,269753	4,457053	85,033			
12	22,80	-0,20	11,300	353,305	5,867550	350,192	5,858498	2,601272	0,257226	4,374340	79,427			
14														

Tabelul 4.19. Separarea componentelor curentului de scurtcircuit direct debitat de motoarele asincrone cu colivie cu bare finale (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SCURTCIRCUIT LA BORNĂ (DIRECT); OSC. 6002-1/16; MAB2-400Y-100-4; 6 kV, 315 kW; 1405 rot/min;														
FAZA 1a: G ₀ =24,052 A/mm; FAZA 2a: G ₀ =24,052 A/mm; FAZA 3a: G ₀ =24,835 A/mm.														
10	10,30	247,735	5,512352	10,400	250,141	5,522024	10,100	250,533	5,524783	249,570	5,519739	-0,73	0,23	0,51
12	9,750	234,507	5,457435	9,800	235,709	5,462601	9,500	235,932	5,463546	235,583	5,461273	-0,37	0,14	0,23
14	9,050	217,571	5,392913	9,275	223,087	5,407541	8,950	222,273	5,403908	221,029	5,398201	-2,51	0,94	0,57
16	8,550	205,644	5,326142	8,775	211,056	5,352125	8,400	208,614	5,340485	205,428	5,339642	-1,34	1,26	0,60
18	8,075	194,328	5,260131	8,250	199,421	5,296431	7,900	196,196	5,279117	193,282	5,272551	-1,05	1,02	-0,04
20	7,675	184,597	5,219186	7,800	187,605	5,234342	7,525	185,823	5,230485	186,233	5,227625	-0,95	0,67	0,28
22	7,350	176,797	5,173918	7,400	177,995	5,191698	7,100	176,323	5,172349	177,032	5,176329	-0,14	0,51	-0,40
24	7,040	168,364	5,125128	7,075	169,965	5,129693	6,800	168,271	5,129177	168,745	5,128333	-0,22	0,14	0,08
26	6,740	161,148	5,083270	6,650	159,946	5,074835	6,400	159,244	5,068552	160,013	5,075253	0,71	-0,04	-0,57
28	6,350	152,730	5,029673	6,325	152,129	5,024728	6,150	152,735	5,023705	152,531	5,027370	0,13	-0,76	0,13
30	6,050	145,515	4,980276	6,000	144,312	4,971978	5,900	146,525	4,987206	145,451	4,979337	0,04	-0,78	0,74
32	5,660	134,621	4,902985	5,725	137,698	4,925069	5,500	137,592	4,917002	136,600	4,917429	-1,41	0,70	0,48
34	5,375	129,279	4,861977	5,400	129,881	4,885617	5,250	130,384	4,870482	129,848	4,886365	-0,44	0,03	0,41
36	5,150	123,859	4,819215	5,150	123,859	4,819215	5,000	124,175	4,821592	123,910	4,826042	-0,08	-0,08	0,17
38	4,850	116,652	4,759137	4,900	117,855	4,769453	4,800	119,208	4,780870	117,905	4,769279	-1,06	-0,04	1,11
40	4,700	113,044	4,727781	4,700	113,044	4,727781	4,600	114,241	4,733310	113,433	4,731301	-0,35	-0,35	0,70
42	4,500	108,234	4,681225	4,500	108,234	4,681225	4,400	109,274	4,693859	108,561	4,687493	-0,32	-0,32	0,64
44	4,275	102,822	4,633002	4,275	101,650	4,621237	4,200	104,307	4,647339	102,916	4,633916	-0,09	-1,75	1,35
46	4,100	98,613	4,591705	4,000	96,208	4,56512	4,000	99,340	4,599548	98,054	4,595515	0,57	-1,28	1,31
48	3,900	93,803	4,541125	3,800	91,398	4,515219	3,850	95,615	4,560327	93,665	4,539037	0,21	-2,36	2,15
50	3,750	90,195	4,501974	3,700	88,992	4,489550	3,725	92,518	4,527321	90,566	4,506075	-0,41	-1,74	2,15
52	3,625	87,187	4,469672	3,550	85,395	4,447166	3,600	89,466	4,493188	87,327	4,469656	-0,16	-2,22	2,32
54	3,500	84,179	4,432931	3,400	81,777	4,403994	3,475	86,301	4,457848	84,047	4,431842	0,11	-2,75	2,63
56	3,350	80,574	4,389178	3,275	78,770	4,366536	3,300	81,955	4,406176	80,433	4,387475	0,19	-2,07	1,83
58	3,225	77,568	4,351151	3,225	77,568	4,351151	3,250	79,714	4,390909	78,617	4,364568	-1,33	-1,33	2,67
60	3,075	73,940	4,303523	3,100	74,561	4,311620	3,125	77,609	4,351629	75,330	4,322409	-1,83	-1,07	2,97
62	3,000	72,156	4,278830	3,000	72,156	4,278830	3,000	74,505	4,310866	72,259	4,292628	-1,07	-1,07	2,15
64	2,975	69,150	4,236271	2,975	69,150	4,236271	2,875	71,401	4,269367	69,900	4,247070	-1,07	-1,07	2,15
66	2,775	66,744	4,200069	2,775	66,744	4,200069	2,750	68,296	4,223855	67,111	4,208506	-0,77	-0,77	1,54
68	2,700	64,940	4,173470	2,675	64,339	4,164167	2,650	65,913	4,186814	65,047	4,175115	-0,15	-0,93	1,19
70	2,600	62,535	4,135730	2,600	62,535	4,135730	2,525	62,708	4,138495	62,593	4,136648	-0,09	-0,09	0,13

TABEL 4.19. (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
72	2,500	60,130	4,096509	2,500	60,130	4,096509	2,400	59,604	4,087723	59,955	4,093589	0,29	0,29	-0,59
74	2,400	57,725	4,055987	2,400	57,725	4,055987	2,300	57,121	4,045163	57,524	4,052197	0,35	0,35	-0,70
76	2,300	55,310	4,013127	2,300	55,310	4,013127	2,250	55,879	4,023184	55,506	4,016497	-0,34	-0,34	0,67
78	2,250	54,117	3,991348	2,250	54,117	3,991348	2,150	53,395	3,977722	53,876	3,986691	0,45	0,45	-0,29
80	2,175	52,313	3,957447	2,175	52,313	3,957447	2,075	51,533	3,942715	52,053	3,952262	0,50	0,50	-1,00
82	2,125	51,111	3,933920	2,100	50,509	3,923155	1,975	49,049	3,897321	50,423	3,916473	1,77	0,57	-2,34
84	2,075	49,903	3,910179	2,025	48,705	3,895743	1,900	47,196	3,864108	48,660	3,883617	2,69	0,22	-2,91
86	2,000	48,104	3,873365	1,950	46,901	3,849448	1,800	44,703	3,808641	46,569	3,840942	3,29	0,71	-4,01
88	1,900	45,700	3,822072	1,875	45,092	3,806277	1,750	43,461	3,771870	44,753	3,801159	2,12	0,77	-2,89
90	1,875	45,093	3,800347	1,800	43,294	3,769005	1,700	42,319	3,743882	43,537	3,773611	3,58	-0,55	-3,03
92	1,800	43,294	3,769005	1,750	42,091	3,739334	1,625	40,357	3,697762	41,914	3,735629	3,29	0,42	-3,71
94	1,725	41,490	3,725445	1,700	40,888	3,716247	1,575	39,115	3,666509	40,498	3,701244	2,44	0,26	-3,41
96	1,650	39,686	3,680923	1,625	39,085	3,665726	1,550	38,494	3,650509	39,082	3,659824	1,53	-0,01	-1,52
98	1,600	38,483	3,650825	1,575	37,882	3,634473	1,500	37,252	3,617719	37,872	3,634221	1,51	0,03	-1,64
100	1,500	36,078	3,585681	1,500	36,078	3,585681	1,475	36,632	3,606912	36,263	3,590789	-0,51	-0,51	1,02

TABEL 4.19. (continuare)

SCURTCIRCUIT LA BORNĂ (DIRECT); OSC. 6002/16 SEPARAREA COMPONENTEI APERIODICE SI A COMPONENTEI PERIODICE SUPRANANZITORII												
t	FAZA 2a					f _{op}	ln(f _{op})	ln(f ₁₀)	-ln(f ₁₀)	ln(f ₁₀)	f ₁₀	
	f _{2a1}	f _{2a2}	f _{2a3}	f _{2a4}	f _{2a5}							
	mm	mm	mm	A	A							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
MAB2-400Y-100-4; 6 kV, 315 kW; 1405 rot/min.; FAZA 2a: G ₀ = 24,052 A/mm.												
10	20,40	-0,40	10,600	240,52	5,422024	249,570	5,519739	5,244815	0,273275	4,624166	59,281	
12	18,80	-0,30	9,600	210,45	5,374443	235,583	5,461273	5,207175	0,254435	3,954521	52,005	
14	17,35	-1,10	8,075	194,22	5,268131	221,029	5,398201	5,176741	0,227461	3,205851	44,963	
16	16,05	-1,50	7,275	174,07	5,164562	205,428	5,339642	5,133703	0,205937	3,658258	38,794	
18	14,70	-1,60	6,650	159,94	5,074835	196,282	5,279551	5,096667	0,182984	3,400599	32,606	
20	13,20	-1,00	6,060	144,31	4,971978	185,363	5,227625	5,059630	0,160665	3,361434	28,831	
22	12,80	-2,00	5,400	129,89	4,867617	177,032	5,176329	5,022533	0,153736	3,227325	25,227	
24	11,90	-2,15	4,875	117,25	4,764338	168,735	5,128333	4,935555	0,142778	3,111329	22,450	
26	11,00	-2,30	4,350	104,62	4,659394	160,013	5,075253	4,848519	0,126734	2,946824	19,647	
28	10,25	-2,40	3,915	94,404	4,54534	152,531	5,027370	4,911491	0,115259	2,814859	16,591	
30	9,50	-2,50	3,500	84,122	4,43281	145,451	4,979337	4,874444	0,105393	2,677540	14,493	
32	8,90	-2,55	3,175	76,365	4,335226	136,600	4,917429					
34	8,20	-2,60	2,800	67,346	4,240223	129,848	4,856365					
36	7,65	-2,65	2,500	60,130	4,096509	123,910	4,826042					
38	7,15	-2,65	2,250	56,114	3,991348	117,905	4,769279					
40	6,70	-2,70	2,000	48,104	3,873365	113,443	4,731301					

Tabelul 4.20. Separarea componentelor curentului de scurtcircuit indirect debitat de motoarele asincrone cu colivie cu bare inalte.

t	FAZA 1a			FAZA 2a			FAZA 3a			i _{opQ}	ln(i _{opQ})	a _{1a}	a _{2a}	a _{3a}
	i _{1spC}	i _{1spO}	ln(i _{1spO})	i _{2spC}	i _{2spQ}	ln(i _{2spQ})	i _{3spC}	i _{3spQ}	ln(i _{3spQ})					
	mm	A		mm	A		mm	A						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SCURT-CIRCUIT INDIRECT; OSC. 6034-1/76; MB2-Bxo 11-TJ-400Y-110-6; 6kV; 400kW; 992 rot/min; FAZA 1a: CB=31,021 A/mm; FAZA 2a: CB=31,273 A/mm; FAZA 3a: CB=30,408 A/mm.														
7	13,300	412,579	5,022429	11,400	387,785	5,960452	12,800	387,222	5,964151	396,529	5,982748	4,04	-2,21	-1,84
5	17,700	393,957	5,976266	11,800	369,021	5,910855	12,250	372,498	5,920232	378,495	5,936204	4,09	-2,50	-1,51
8	13,575	390,793	5,942229	11,550	361,203	5,899440	12,000	364,896	5,899612	368,951	5,910690	3,70	-2,10	-1,10
9	11,250	370,701	5,915336	11,275	352,603	5,865343	11,750	357,294	5,878560	360,199	5,886698	2,92	-2,11	-0,81
10	11,700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	11,375	251,313	5,861677	10,800	337,748	5,822301	11,250	342,600	5,835074	343,717	5,839919	2,21	-1,74	-0,47
13	10,775	331,551	5,811993	10,275	321,330	5,772469	10,725	326,126	5,787283	327,236	5,790681	2,14	-1,80	-0,34
15	10,275	319,741	5,764378	9,900	309,602	5,735490	10,900	313,202	5,746850	313,848	5,748910	1,56	-1,35	-0,21
17	9,900	304,006	5,717047	9,500	297,093	5,694047	9,900	301,039	5,707241	300,713	5,705155	1,09	-1,50	0,11
18	9,600	297,901	5,695420	9,325	291,621	5,675454	9,750	296,478	5,691973	295,300	5,687997	0,65	-1,25	0,40
19	9,375	290,822	5,673711	9,200	287,711	5,661959	9,500	288,876	5,655920	289,136	5,656898	0,58	-0,49	-0,09
20	9,200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	9,000	279,189	5,631809	8,750	273,639	5,611809	9,175	278,993	5,631193	277,274	5,625005	0,69	-1,31	0,61
23	8,750	268,332	5,592774	8,600	268,948	5,594517	8,800	267,590	5,594458	268,290	5,592069	0,02	0,25	-0,26
25	8,775	256,699	5,547903	8,250	258,002	5,557968	8,500	258,456	5,554772	257,722	5,551840	-0,40	0,11	0,29
27	8,000	249,160	5,514106	7,950	248,620	5,515927	8,200	249,348	5,518440	248,711	5,516293	-0,22	-0,04	0,26
28	7,975	244,190	5,498359	7,650	239,339	5,477461	8,050	244,784	5,500378	242,771	5,492117	0,63	-1,46	0,83
29	7,700	238,852	5,475895	7,600	237,765	5,470903	7,875	239,463	5,478399	238,666	5,475058	0,03	-0,42	0,33
30	7,600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	7,400	229,555	5,436144	7,350	229,857	5,437457	7,600	231,101	5,442854	230,171	5,439222	-0,27	-0,14	0,40
33	7,275	224,127	5,412512	7,000	218,911	5,388465	7,350	223,429	5,409406	222,179	5,403483	0,88	-0,15	0,59
35	6,950	215,595	5,373405	6,750	211,093	5,352498	7,125	216,657	5,378316	214,449	5,360070	0,53	-1,56	1,02
37	6,700	207,941	5,335772	6,500	203,275	5,314557	6,900	209,815	5,336227	206,977	5,332608	0,42	-1,79	1,37
39	6,575	203,963	5,317939	6,400	200,147	5,299053	6,875	209,055	5,348597	204,388	5,320022	-0,21	-2,07	2,28
41	6,500	201,636	5,306467	6,325	197,802	5,287265	6,725	204,494	5,320538	201,311	5,304849	0,16	-1,74	1,58

TABEL 4.20. (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
41	6,300	195,432	5,275214	6,175	191,547	5,255134	6,500	197,657	5,285508	194,877	5,272369	0,22	-1,71	1,42
43	6,100	189,228	5,242953	6,000	187,639	5,234515	6,300	191,570	5,255259	189,479	5,241274	-0,13	-0,97	1,10
45	5,950	184,575	5,212056	5,875	182,169	5,204913	6,200	188,529	5,233755	185,099	5,220210	-0,28	-1,58	1,85
47	5,750	178,371	5,183864	5,725	179,039	5,187598	6,075	183,208	5,210663	180,206	5,194029	-1,02	-0,65	1,67
48	5,725	177,595	5,179507	5,625	175,910	5,169976	5,975	181,689	5,202790	178,392	5,184015	-0,45	-1,39	1,84
49	5,575	172,242	5,152957	5,575	174,347	5,161097	5,875	178,547	5,195412	175,312	5,166567	-1,35	-0,55	1,90
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
51	5,450	169,064	5,130780	5,450	170,438	5,130371	5,750	174,846	5,163906	171,449	5,144288	-1,39	-0,52	1,99
53	5,300	164,411	5,102371	5,300	165,747	5,110462	5,600	170,285	5,137172	166,814	5,115081	-1,44	-0,64	2,08
55	5,175	160,534	5,078504	5,125	160,274	5,073886	5,450	165,744	5,110321	162,177	5,088690	-1,01	-1,17	2,19
57	5,000	155,105	5,044102	5,025	157,117	5,055718	5,300	161,162	5,092413	157,805	5,061359	-1,71	-0,42	2,13
58	4,950	154,594	5,041052	4,950	154,801	5,042143	5,150	159,641	5,072244	155,999	5,042850	-1,57	-0,77	2,34
59	4,825	149,676	5,009178	4,875	152,456	5,026875	5,200	158,122	5,063364	153,484	5,033166	-2,44	-0,63	3,07
60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
61	4,725	146,574	4,987532	4,750	148,547	4,980900	5,050	153,560	5,034894	149,560	5,007700	-2,00	-0,62	3,57
63	4,550	141,145	4,949792	4,675	146,201	4,934944	4,900	148,399	5,003411	145,449	4,979271	-2,05	0,52	2,44
65	4,400	135,425	4,915759	4,500	140,728	4,904913	4,775	145,122	4,978120	140,806	4,947393	-3,08	-0,65	3,12
67	4,275	132,618	4,887149	4,400	137,601	4,874360	4,675	142,157	4,959335	137,459	4,923416	-3,52	0,10	3,42
69	4,250	131,819	4,881593	4,375	135,755	4,907167	4,600	139,877	4,948765	135,657	4,910130	-2,81	-0,30	3,11
70	4,150	129,037	4,857773	4,300	134,474	4,901370	4,525	137,595	4,934323	133,607	4,891068	-3,64	0,55	2,39
71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
73	4,000	125,535	4,813393	4,200	131,347	4,877040	4,450	135,312	4,920410	136,766	4,873410	-3,62	0,44	3,42
75	3,900	124,994	4,809529	4,100	125,092	4,829650	4,350	131,512	4,879118	126,897	4,841575	-2,22	-1,42	3,24
76	3,900	120,994	4,784641	3,950	121,529	4,810471	4,250	129,234	4,861625	124,688	4,821952	-2,89	-0,25	3,73
77	3,800	117,879	4,769326	3,900	121,965	4,803732	4,100	124,673	4,825493	121,500	4,799151	-2,99	0,32	2,61
79	3,775	117,104	4,763055	3,800	119,937	4,777756	4,050	123,152	4,813423	119,698	4,784969	-2,17	-0,72	2,89
80	3,750	116,329	4,756420	3,750	117,274	4,764511	4,000	121,632	4,801000	118,412	4,774167	-1,76	-0,96	2,72
81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
83	3,675	114,002	4,736218	3,700	115,710	4,751089	3,950	120,112	4,788421	116,608	4,758818	-2,23	-0,77	3,00
85	3,575	110,900	4,708210	3,575	111,900	4,716720	3,850	117,071	4,767719	113,257	4,724660	-2,08	-1,29	3,28
87	3,500	109,573	4,698428	3,500	109,455	4,695519	3,750	114,030	4,736462	110,686	4,706697	-1,91	-1,11	3,02
89	3,375	104,696	4,651030	3,400	106,328	4,666531	3,700	112,509	4,723073	107,844	4,690389	-2,92	-1,41	4,33
90	3,350	103,920	4,643625	3,375	105,546	4,659150	3,650	110,922	4,709433	106,818	4,671139	-2,71	-1,19	3,90
92	3,300	102,369	4,629587	3,300	103,201	4,636678	3,600	109,459	4,695640	105,013	4,654084	-2,52	-1,92	4,24
91	3,250	100,810	4,613312	3,275	102,419	4,629073	3,500	106,428	4,680749	103,222	4,636979	-2,33	-0,78	3,11
93	3,200	99,267	4,597815	3,250	101,637	4,621410	3,450	104,909	4,665000	101,937	4,624358	-2,67	-0,72	2,91
95	3,125	96,941	4,574039	3,175	97,728	4,582189	3,300	100,346	4,640828	98,339	4,598414	-1,42	-0,62	2,94
97	3,050	94,614	4,549266	3,050	95,383	4,557928	3,225	98,066	4,585639	95,021	4,564557	-1,47	-0,66	2,13
99	3,000	93,051	4,533277	3,000	93,819	4,541367	3,200	97,306	4,577856	94,729	4,551634	-1,75	-0,96	2,72
100	2,975	92,137	4,524909	2,950	92,255	4,524550	3,							

Tabelul 4.20. Separarea componentelor curentului de scurtcircuit indirect debitat de motoarele asincrone cu colivie cu bare inalte. (continuare)

t	FAZA 1a			FAZA 2a			FAZA 3a			i _{npQ}	ln(i _{npQ})	a _{1a}	a _{2a}	a _{3a}
	i _{1apQ}	i _{1apQ}	ln(i _{1apQ})	i _{2apQ}	i _{2apQ}	ln(i _{2apQ})	i _{3apQ}	i _{3apQ}	ln(i _{3apQ})					
	mm	A		mm	A		mm	A						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SCURT-CIRCUIT INDIRECT; OSC 60Hz-1/76; HAB2-400Y-100-4; 6kV; 315kW; 1405 rot/min; FAZA 1a: G _s =24,052 A/mm; FAZA 2a: G _s =24,052 A/mm; FAZA 3a: G _s =24,052 A/mm.														
5	11,725	282,009	5,641942	11,375	273,591	5,611636	10,650	264,493	5,5770138	275,364	5,610606	3,16	0,78	-1,19
7	11,000	264,572	5,578113	10,900	262,167	5,568901	10,075	250,213	5,5273111	250,234	5,556766	3,16	1,23	-3,19
8	10,650	256,154	5,545778	10,300	247,736	5,523362	9,750	242,141	5,4896212	248,677	5,516155	3,01	-0,38	-2,63
9	10,250	246,533	5,507496	9,940	239,317	5,477791	9,500	235,932	5,4639457	240,534	5,483111	2,47	-0,53	-1,94
10	9,950	239,317	5,477791	9,600	230,890	5,441981	9,200	228,402	5,4314574	232,893	5,450606	2,76	-0,59	-1,48
11	9,525	229,095	5,434138	9,450	227,291	5,426233	9,000	223,515	5,4094785	226,654	5,425315	2,09	0,79	-1,48
13	8,800	211,657	5,354970	8,800	211,657	5,354970	8,550	212,339	5,3501057	211,974	5,356041	-0,11	-0,11	0,21
15	8,275	199,030	5,293457	8,275	199,030	5,293457	8,100	201,163	5,3041100	199,741	5,297022	-0,35	-0,35	0,71
17	7,775	187,004	5,231137	7,850	188,668	5,240732	7,650	189,980	5,2409595	188,600	5,239573	-0,85	0,11	0,74
18	7,500	180,390	5,195121	7,675	184,539	5,218166	7,500	186,262	5,2271770	183,750	5,213573	-1,03	0,46	1,37
19	7,250	174,377	5,161220	7,500	180,390	5,195121	7,250	180,054	5,1932554	178,264	5,183320	-2,19	1,19	1,00
20	7,000	168,364	5,127128	7,350	176,782	5,174313	7,100	176,320	5,1723487	173,874	5,158047	-3,14	1,78	1,44
21	6,815	164,155	5,100011	7,150	171,972	5,147331	6,900	171,362	5,1437750	169,183	5,130853	-2,98	1,66	1,30
22	6,450	155,135	5,044298	6,800	163,553	5,097141	6,550	162,619	5,0917175	160,482	5,077397	-3,31	1,93	1,30
25	6,100	146,717	4,988507	6,450	155,135	5,044298	6,250	155,318	5,0443352	152,356	5,026274	-3,70	1,81	1,00
27	5,800	139,502	4,938076	6,150	147,920	4,998670	5,900	146,536	4,9878053	144,609	4,974317	-3,50	2,20	1,30
28	5,500	132,286	4,884956	5,750	138,299	4,939413	5,700	141,559	4,9527201	137,301	4,922761	-3,71	0,57	3,04
29	5,300	127,476	4,847225	5,600	134,691	4,912995	5,600	139,076	4,9350205	133,748	4,895255	-4,59	0,71	3,90
30	5,200	125,070	4,828877	5,500	132,286	4,894366	5,400	134,109	4,898529	130,400	4,871784	-4,15	1,38	2,74
31	5,050	121,463	4,792666	5,300	127,476	4,847225	5,300	131,620	4,873008	126,855	4,843045	-4,25	4,90	3,70
33	4,800	115,449	4,748834	5,050	121,463	4,792666	4,950	122,933	4,8116415	119,948	4,787081	-3,75	1,26	2,49
35	4,550	109,437	4,695345	4,775	114,848	4,733612	4,775	118,587	4,7756479	114,291	4,738745	-4,25	0,49	3,70
37	4,325	104,025	4,644630	4,550	109,437	4,695345	4,500	111,750	4,7163313	108,406	4,665990	-4,04	0,95	3,09
38	4,250	102,221	4,627137	4,500	108,234	4,684236	4,375	108,653	4,6801001	106,369	4,665917	-3,90	1,19	2,15
39	4,125	99,215	4,597784	4,375	105,228	4,655125	4,300	106,790	4,6708090	103,784	4,644930	-4,37	1,43	2,94
40	4,100	98,613	4,591705	4,250	102,221	4,627137	4,200	104,307	4,6473350	101,714	4,627137	-3,05	0,50	2,55

TABEL 4.20. (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
41	4,000	95,208	4,566513	4,225	101,619	4,627137	4,125	102,444	4,6193266	100,090	4,606073	-3,88	1,53	2,35
43	3,825	91,999	4,521777	4,050	97,411	4,578935	3,900	98,256	4,5732305	95,432	4,559309	-3,59	2,03	1,50
45	3,700	89,917	4,488551	3,900	93,903	4,541135	3,750	93,131	4,5380089	91,975	4,521520	-3,24	1,39	1,56
47	3,625	87,189	4,460772	3,600	91,397	4,515212	3,750	90,077	4,501082	87,537	4,494556	-2,62	2,08	0,55
48	3,525	84,783	4,440023	3,750	90,195	4,501674	3,550	83,164	4,474016	87,714	4,474016	-3,24	2,02	0,51
49	3,475	83,581	4,425512	3,700	89,917	4,487951	3,450	85,681	4,4561382	85,094	4,456331	-2,91	3,30	-0,17
50	3,450	82,979	4,419517	3,600	89,597	4,481352	3,400	84,339	4,4360224	84,368	4,432742	-1,99	2,27	-0,27
51	3,400	81,777	4,403924	3,575	84,791	4,464302	3,300	81,955	4,4051764	82,838	4,416891	-1,28	2,35	-1,07
53	3,250	78,169	4,358373	3,400	81,777	4,428394	3,150	78,730	4,3596564	79,332	4,371399	-1,54	3,00	-1,16
55	3,200	76,966	4,343369	3,275	78,779	4,366536	3,050	75,747	4,3273955	77,161	4,342924	-0,55	2,08	-1,83
57	3,050	73,359	4,295360	3,175	75,162	4,319652	2,875	71,401	4,2683066	73,307	4,271661	0,67	2,53	-2,60
58	3,000	72,156	4,278930	3,100	74,561	4,311620	2,800	69,539	4,2412734	72,095	4,277045	0,10	3,43	-3,53
59	2,900	69,751	4,244979	3,000	72,156	4,278930	2,750	68,796	4,2339549	70,060	4,242161	-0,45	2,90	-2,53
60	2,875	69,149	4,236271	2,950	70,953	4,262023	2,725	67,675	4,2147224	69,459	4,237853	-0,16	2,45	-2,79
61	2,800	67,346	4,209338	2,875	69,149	4,236711	2,675	66,434	4,1962033	67,643	4,211244	-0,44	2,23	-1,79
63	2,700	64,940	4,173470	2,775	66,744	4,200709	2,500	62,087	4,1285447	64,590	4,168065	0,14	3,33	-3,28
65	2,600	62,535	4,135730	2,700	64,940	4,173470	2,400	59,604	4,0977227	62,360	4,131919	0,28	4,14	-4,42
67	2,525	60,731	4,106459	2,550	61,333	4,116812	2,300	57,170	4,0451611	59,723	4,063901	1,08	2,69	-4,17
68	2,450	59,927	4,076306	2,500	60,130	4,098799	2,275	56,479	4,0187340	58,519	4,059345	0,70	2,75	-3,45
69	2,400	57,725	4,055587	2,450	58,927	4,076296	2,250	55,879	4,0031242	57,510	4,041905	0,37	2,45	-2,74
70	2,300	55,319	4,013127	2,400	57,725	4,055007	2,200	54,637	3,9667113	55,894	4,023451	-1,02	3,25	-2,25
71	2,275	54,718	4,002198	2,375	57,123	4,045116	2,150	53,395	3,9777220	55,079	4,008783	-0,66	3,71	-3,66
73	2,200	52,914	3,962676	2,300	55,319	4,013127	2,050	50,912	3,9210940	53,042	3,971103	-0,25	4,28	-4,63
75	2,100	50,509	3,921156	2,250	54,117	3,991132	2,000	49,670	3,905010	51,432	3,940261	-1,19	5,07	-3,43
77	2,050	49,307	3,902049	2,150	51,712	3,948035	1,900	47,186	3,851060	49,402	3,892284	-0,19	4,68	-4,47
78	2,000	48,104	3,873465	2,125	51,111	3,933000	1,875	46,580	3,838030	48,594	3,893193	-1,61	5,12	-1,17
80	1,900	45,697	3,827070	2,025	48,705	3,825788	1,800	44,703	3,800010	46,469	3,836631	-1,44	5,04	-3,52
81	1,825	43,825	3,787723	2,000	49,104	3,873465	1,775	44,082	3,7860540	45,360	3,811339	-3,23	6,05	-2,82
83	1,800	43,294	3,769005	1,900	45,697	3,822072	1,725	42,840	3,7574810	43,244	3,782924	-1,49	3,30	-2,51
85	1,750	42,091	3,733233	1,800	43,294	3,769005	1,675	41,599	3,7280570	42,300	3,745443	-0,56	2,29	-1,72
87	1,700	40,888	3,710245	1,750	42,091	3,733233	1,600	39,796	3,6822590	40,905	3,711122	-0,04	2,90	-2,56
89	1,675	40,287	3,696031	1,700	40,888	3,710245	1,575	38,474	3,660902	40,017	3,691793	0,47	1,97	-2,55
90	1,650	39,686	3,680973	1,650	39,686	3,680973	1,550	37,474	3,650590	39,282	3,676935	1,01	1,61	-2,82
90	1,625	39,085	3,665725	1,600	38,483	3,650222	1,525	37,473	3,642480	38,400	3,650115	1,57	0,61	-1,58

TABEL 4.20. (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
91	1,600	38,483	3,650222	1,550	37,281	3,612473								

Tabelul 4.22. Separarea componentelor curentului de scurtcircuit direct debitat de motoarele asincrone cu rotor bobinat.

TABEL 4.22. (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
U _{sc}		I _{sc}		I _{sc}		I _{sc}		I _{sc}		I _{sc}		I _{sc}		I _{sc}		I _{sc}		
kV		A		A		A		A		A		A		A		A		
10	12,00	391,40	5,91746	12,40	411,61	6,02015	11,45	427,01	6,05630	12,70	421,64	6,04115	12,01	405,133	6,04057	-2,01	+1,65	+0,36
12	11,50	311,00	5,94419	12,00	391,40	5,91746	10,95	401,43	6,01233	12,20	405,04	6,00399	12,00	405,04	6,00399	-0,11	+0,90	-0,03
14	11,00	355,20	5,90045	11,70	340,44	5,96214	10,60	399,30	5,97905	11,00	391,76	5,97065	11,00	391,76	5,97065	-0,02	+0,97	-0,05
16	10,50	341,60	5,95313	11,30	375,16	5,92735	10,25	392,32	5,94527	11,40	370,44	5,93616	11,00	370,44	5,93616	-0,37	+0,74	-0,37
18	10,15	336,91	5,92002	11,00	355,20	5,90045	9,90	369,27	5,91153	11,00	355,20	5,90044	10,00	355,20	5,90044	-1,04	+0,62	+0,35
20	9,90	325,36	5,97473	10,60	351,92	5,96340	9,60	351,01	5,961076	10,75	356,90	5,97745	10,00	356,90	5,97745	-1,13	+1,20	-0,16
22	9,50	315,40	5,97534	10,20	331,64	5,98294	9,30	346,09	5,98491	10,30	341,96	5,98469	10,00	341,96	5,98469	-0,67	+0,33	+0,34
24	9,10	302,12	5,97102	9,90	318,72	5,97501	8,90	331,97	5,980504	10,00	332,00	5,980514	9,00	332,00	5,980514	-0,60	+1,20	-0,60
26	8,75	290,50	5,97160	9,50	310,72	5,97431	8,70	314,51	5,97432	9,60	310,72	5,97431	9,00	310,72	5,97431	-1,21	+1,34	-0,13
28	8,40	274,81	5,97070	9,20	305,44	5,97275	8,40	313,32	5,97473	9,30	301,76	5,97326	9,00	301,76	5,97326	-1,09	+0,00	+1,09
30	8,10	260,92	5,97441	9,00	299,80	5,97377	8,10	309,13	5,97436	9,20	305,44	5,97275	8,00	305,44	5,97275	-2,53	+1,72	+0,35
32	7,90	259,05	5,97667	8,90	292,20	5,97462	7,90	294,67	5,97916	8,90	292,20	5,97462	8,00	292,20	5,97462	-1,34	+1,49	-0,15
34	7,50	249,00	5,97745	8,30	275,55	5,98181	7,60	293,43	5,98114	8,40	279,01	5,98070	8,00	279,01	5,98070	-1,69	+2,16	-0,47
36	7,25	240,70	5,98355	8,00	265,60	5,98199	7,40	276,12	5,982205	8,10	265,60	5,98199	7,00	265,60	5,98199	-2,63	+2,64	-0,94
38	7,10	235,72	5,98264	7,90	251,96	5,98567	7,10	266,83	5,97909	8,00	266,80	5,98199	7,00	266,80	5,98199	-0,25	+0,45	-0,23
40	6,70	222,44	5,98466	7,70	255,64	5,98377	6,90	257,37	5,985051	7,70	255,64	5,98377	7,00	255,64	5,98377	-1,41	+1,59	-0,12
42	6,50	215,81	5,97433	7,30	242,35	5,98012	6,70	249,91	5,98110	7,40	245,61	5,98043	7,00	245,61	5,98043	-0,05	+0,09	+0,04
44	6,20	205,34	5,97701	7,20	239,04	5,97663	6,40	239,72	5,97599	7,20	239,04	5,97663	6,00	239,04	5,97663	-0,54	+1,71	-0,87
46	6,00	199,20	5,97431	6,90	229,03	5,97407	6,30	234,99	5,97954	6,90	229,03	5,97407	6,00	229,03	5,97407	-0,41	+0,96	-0,49
48	5,85	194,22	5,97399	6,70	222,44	5,98066	6,05	225,66	5,97495	6,70	222,44	5,98066	6,00	222,44	5,98066	-0,51	+1,02	-0,51
50	5,65	187,53	5,97421	6,50	215,80	5,97433	5,80	219,14	5,97970	6,50	215,80	5,97433	6,00	215,80	5,97433	-1,61	+1,62	-0,02
52	5,50	182,60	5,97929	6,20	205,34	5,97709	5,70	212,61	5,97940	6,30	209,16	5,97431	6,00	209,16	5,97431	-0,05	+3,18	-3,23
54	5,30	175,96	5,97026	6,10	202,57	5,98104	5,60	201,81	5,98176	6,00	195,81	5,97750	6,00	195,81	5,97750	-1,71	+3,02	-1,31
56	5,10	169,32	5,97179	5,90	192,56	5,98041	5,40	201,43	5,98050	5,90	192,56	5,98041	6,00	192,56	5,98041	-2,56	+3,29	-0,72
58	5,00	166,00	5,97199	5,60	185,92	5,98232	5,20	193,96	5,98065	5,60	185,92	5,98232	5,00	185,92	5,98232	-2,53	+3,10	-0,66
60	4,80	159,36	5,97117	5,30	175,96	5,97026	5,00	186,50	5,98043	5,40	179,21	5,98035	5,00	179,21	5,98035	-2,16	+2,37	-0,24
62				5,20	172,64	5,97121	4,90	182,72	5,98023	5,30	175,96	5,97026	5,00	175,96	5,97026	-1,76	+1,54	+0,21
64				5,10	169,32	5,97179	4,75	177,17	5,97714	5,20	172,64	5,97121	5,00	172,64	5,97121	-1,60	+1,27	+0,33
66				5,00	166,00	5,97199	4,60	171,59	5,97455	5,10	169,32	5,97179	5,00	169,32	5,97179	-1,61	+1,13	+0,48
68				4,80	159,36	5,97117	4,40	164,12	5,98060	4,90	162,69	5,97179	4,00	162,69	5,97179	-2,22	+0,09	+2,12
70				4,70	155,04	5,98011	4,30	160,39	5,97761	4,80	159,36	5,97117	4,00	159,36	5,97117	-0,37	+0,74	-0,37
72				4,50	149,40	5,98063	4,10	152,93	5,98090	4,70	156,04	5,98011	4,00	156,04	5,98011	-0,10	+1,59	-1,51
74				4,30	142,76	4,98116	3,90	145,47	4,97927	4,20	139,44	4,97763	4,00	139,44	4,97763	-0,37	+0,74	-0,37
76				4,00	132,80	4,98116	3,60	134,20	4,98193	4,00	132,80	4,98116	4,00	132,80	4,98116	-0,37	+0,74	-0,37
78				3,75	124,50	4,98431	3,40	126,82	4,98477	3,70	122,84	4,98103	3,00	122,84	4,98103	-0,10	+1,59	-1,51
80				3,65	121,11	4,97928	3,30	115,63	4,98039	3,60	119,52	4,98049	3,00	119,52	4,98049	-2,02	+2,64	+0,62
82				3,50	116,20	4,97531	3,00	111,90	4,97761	3,45	114,37	4,97947	3,00	114,37	4,97947	-2,61	+1,90	+0,10
84				2,90	96,21	4,97126	2,70	100,71	4,97125	3,00	99,60	4,98116	3,00	99,60	4,98116	-2,61	+1,90	+0,10

Constantele de etalonare: MIP2-560V-110-4;630kV;6kV. Faza 1a : CR=33,2A/mm; Faza 2a : CR=37,3A/mm; Faza 3a : CR=33,2A/mm.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
U _{sc}		I _{sc}		I _{sc}		I _{sc}		I _{sc}		I _{sc}		I _{sc}		I _{sc}		I _{sc}		
kV		A		A		A		A		A		A		A		A		
7	11,40	373,40	5,97099	11,00	346,500	5,94791	11,50	346,075	5,94101	11,70	342,626	5,93630	11,00	342,626	5,93630	+0,34	+0,44	-0,10
9	7,10	300,30	5,97041	6,70	314,950	5,91153	7,00	323,750	5,97910	7,35	327,079	5,99019	7,00	327,079	5,99019	+1,93	-1,47	-0,46
10	7,60	292,60	5,97031	6,40	323,400	5,97199	6,90	314,125	5,97550	7,10	315,075	5,97553	7,00	315,075	5,97553	+1,22	-0,11	-1,11
11	7,30	281,05	5,96953	6,20	315,700	5,97547	6,75	312,197	5,97360	7,00	309,275	5,97342	7,00	309,275	5,97342	+1,06	-0,05	-0,99
13	6,90	261,90	5,96759	7,75	291,375	5,99135	6,40	296,000	5,99030	6,60	293,700	5,98256	7,00	293,700	5,98256	-0,70	+0,79	-0,01
15	6,30	242,55	5,99121	7,45	276,025	5,98507	6,10	292,125	5,98239	7,25	270,125	5,982307	7,00	270,125	5,982307	-1,49	+1,59	-0,09
17	5,90	223,30	5,98052	7,10	273,350	5,98107	5,75	269,937	5,98050	6,00	267,000	5,98075	7,00	267,000	5,98075	-0,65	+1,70	-1,05
19	5,50	211,75	5,98541	6,70	257,950	5,98266	5,50	254,375	5,98310	6,55	251,425	5,98214	7,00	251,425	5,98214	-1,24	+1,32	-0,08
21	5,10	196,35	5,97719	6,40	242,550	5,98121	5,15	251,107	5,97360	6,40	240,300	5,98139	6,00	240,300	5,98139	+0,92	-0,09	-0,02
23	4,60	177,10	5,97611	5,95	229,075	5,98305	4,90	226,612	5,98300	5,15	229,175	5,98346	6,00	229,175	5,98346	-0,31	+0,73	+0,33
25	4,40	169,40	5,97326	5,60	215,600	5,97342	4,70	217,375	5,98160	5,10	219,000	5,98172	6,00	219,000	5,98172	-0,65	+0,17	+0,49
27	4,10	157,87	5,98164	5,30	209,925	5,98275	4,50	211,125	5,98140	4,70	209,150	5,98309	6,00	209,150	5,98309	-0,05	+0,13	+0,07
29	3,80	146,30	4,98056	5,10	196,350	5,97929	4,30	198,875	5,98090	4,40	195,000	5,98107	5,00	195,000	5,98107	-0,33	+0,35	+0,02
31	3,50	134,75	4,98042	4,90	184,800	5,98227	4,10	189,625	5,98050	4,20	186,000	5,98077	5,00	186,000	5,98077	-1,23	+1,94	-0,11
33				4,55	175,175	5,98570	3,90	180,375	5,98041	4,00	179,000	5,98179	4,00	179,000	5,98179	-1,50	+1,41	+0,01
35				4,15	167,475	5,98013	3,70	171,125	5,98125	3,80	169,500	5,98049	4,00	169,500	5,98049	-1,04	+1,11	-0,07
37				4,00	159,775	5,98171	3,55	164,107	5,98101	3,60	160,200	5,98162	4,00	160,200	5,98162	-0,99	+1,73	-0,74
39				4,00	154,000	5,98095	3,30	152,625	5,98070	3,40	151,300	5,98126	4,00	151,300	5,98126	+0,09	-0,01	-0,09
41				3,75	144,375	4,98241	3,15	144,617	4,98140	3,30	146,050	4,98041	4,00	146,050	4,98041	-0,07	+0,03	+0,03
43				3,55	136,675	4,98160	3,05	141,062	4,98232	3,10	137,950	4,98						

Capitolul 5

ANALIZA FACTORILOR CARE INFLUENȚEAZĂ ASUPRA CONTRIBUȚIEI MOTOARELOR ASINCRONE LA VALORILE CURENȚILOR DE SCURTCIR- CUIT DIN REȚEAUA LOR DE ALIMENTARE.

În urma clasificării propuse în cap.1.2 din punct de vedere al pozi-
ției consumatorului și față de sursele de alimentare a consuma-
torului, se impune ca analiza factorilor care in-
fluențează contribuția acestor consumatori la valorile curenților de scurtcircuit din rețeaua lor de alimentare să se facă diferențiat pentru cele două catego-
rii de consumatori. Acest lucru este necesar deoarece unul și același factor are
în general influență diferită asupra contribuției la valorile curenților de scurt-
circuit a consumatorului complet separat, respectiv permanent conectat.

5.1. Factorii care influențează contribuția la valorile curenților de scurtcircuit a consumatorului complet separat.

Studiul teoretic întreprins în cap.3 și încercările experimentale efectuate
în cap.4 sugerează faptul că mărimea și variația în timp a contribuției la va-
lărea curenților de scurtcircuit a motoarelor asincrone, care constituie un
consumator complet separat față de sursele de alimentare în timpul scurtcircuitu-
lului, este influențată de următorii factori principali :

- interacțiunea dintre motoarele asincrone racordate la bară comună ;
- tipul motoarelor care alcătuiesc consumatorul complet separat, parametrii lor tranzitorii, puterea nominală și numărul perechilor de poli ai motoarelor ;
- impedanța elementelor de legătură dintre motor și locul scurtcircuitului ;
- tipul scurtcircuitului.

În cele ce urmează se întreprinde o analiză a influenței fiecăruia dintre
factorii amintiți asupra contribuției la valorile curenților de scurtcircuit ai
motoarelor asincrone ce alcătuiesc un consumator complet separat în timpul unui
scurtcircuit.

5.1.1. Interacțiunea dintre motoarele asincrone racordate la bară comună

După cum se știe /91/ mașina de inducție poate funcționa în regim staționar
de generator asincron dacă are o turație mai mare decât turația de sincronism
și dacă rețeaua la care este racordată este capabilă să asigure puterea reacți-
vă necesară magnetizării mașinii. Curentul de magnetizare al mașinii se poate
obține, de exemplu și de la o baterie de condensatoare, conectată la bornele ma-
șinii, situație în care mașina asincronă poate funcționa în regim de generator
asincron autoexcitat. De aceea, este de așteptat ca în cazul unui scurtcircuit
pe barele colectoare de la care este alimentat motorul asincron, pe barele res-

pective fiind conectate și baterii de condensatoare pentru îmbunătățirea factorului de putere, curentul de scurtcircuit provenit de la motorul respectiv să aibă valori mai mari și să se amortizeze cu o viteză mai redusă decât cel provenit de la același motor din situația când pe bare nu sînt conectate baterii de condensatoare. De altfel acest lucru a fost semnalat în literatură /19/, autorii arătînd că aspectul de mai sus a fost confirmat în urma unor încercări experimentale.

O situație intrinsecă analoagă cu cea de generatoare asincrone autoexcitate este și cea din cazul apariției scurtcircuitului într-un anumit punct din sistemul de alimentare al motoarelor asincrone, cînd spre locul de scurtcircuit debitează un grup de motoare asincrone alimentate de la bară comună, grupul respectiv constituind un consumator complet separat. Din momentul apariției scurtcircuitului, mașinile asincrone trec din regimul de motor în regimul de generator asincron, curentul de magnetizare fiind asigurat de energia magnetică înmagazinată în fiecare mașină. Problema care se pune este dacă, în cazul unui astfel de scurtcircuit, unele dintre motoarele grupului nu ar putea furniza curent de magnetizare pentru celelalte motoare din grup. Dacă ar apărea acest fenomen este de așteptat ca pe de o parte motoarele de puteri nominale mai mari și cu momente de inerție mai mari să furnizeze curent de magnetizare pentru motoarele cu puteri nominale mai mici și momente de inerție mai reduse. Pe de altă parte, apariția acestui fenomen ar trebui să se manifeste astfel : pentru un motor oarecare al grupului care primește curent de magnetizare de la alte motoare ale grupului, viteza de amortizare a curentului de scurtcircuit provenit de la motorul respectiv ar trebui să fie mai mică decât viteza de amortizare a curentului de scurtcircuit provenit de la același motor din situația cînd la bară ar fi conectat numai motorul respectiv.

Pentru a verifica experimental dacă apare sau nu fenomenul de interacțiune amintit mai sus au fost efectuate încercări de scurtcircuit pe barele la care a fost conectat un grup format din trei motoare cu puteri nominale, număr de perechi de poli și momente de inerție foarte diferite. Principalele caracteristici ale motoarelor din grup sînt indicate în tabelul 5.1.

Încercările au fost efectuate în două variante. În prima variantă au fost efectuate încercări de

TABELUL 5.1.

Nr. crt.	Tip motor	U_n	P_n	$\cos \varphi_n$	I_n	n_n	p	GD^2	Observații
		kV	kW	-	A	$\frac{rot}{min}$	-	daNm ²	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	MCC-2-400M-70-2	6	250	0,85	30,5	2955	1	18	cu dublă celivie în rotor
2	MIP-2-560L-130-8	6	630	0,88	73,5	739	4	565	cu rotor bobinat
3	MIP-2-560V-130-6	6	1000	0,89	114,0	990	3	547	cu rotor bobinat

efectuate încercări de scurtcircuit, la bare fiind conectat numai câte un motor al grupului. În varianta a doua au fost efectuate încercări de scurtcircuit cu toate mo-

toarele grupului conectate la bare, în ambele variante au fost oscilografiați curenții fiecărui motor. În fig. 5.1 sînt prezentate exemple de oscilograme ale curenților de scurtcircuit proveniți de la motorul cu puterea nominală cea mai

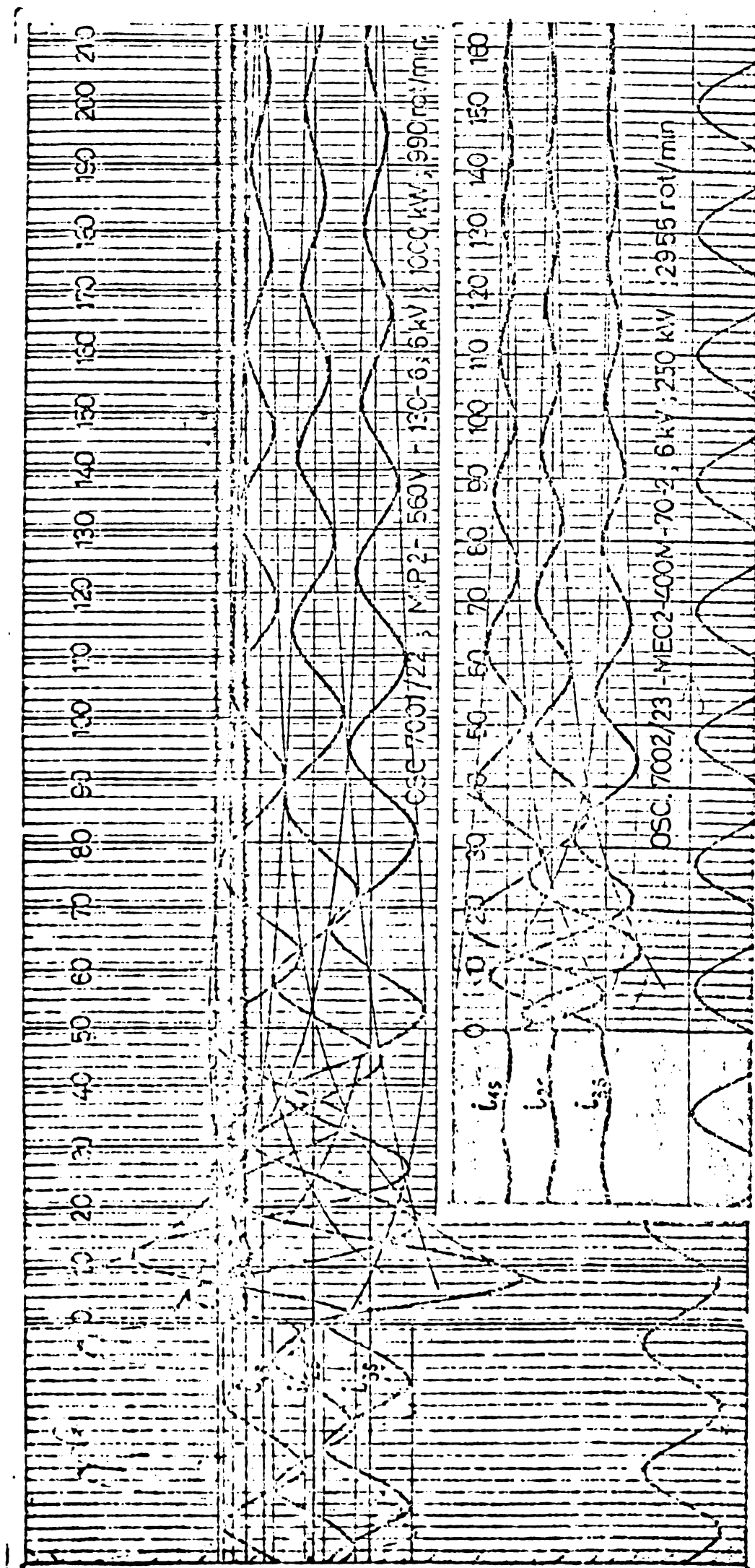


Fig.5.1. Oscillograme ale curentilor de scurtcircuit proveniti de la motoare asincrone, fiecare motor fiind conectat singur pe bare.

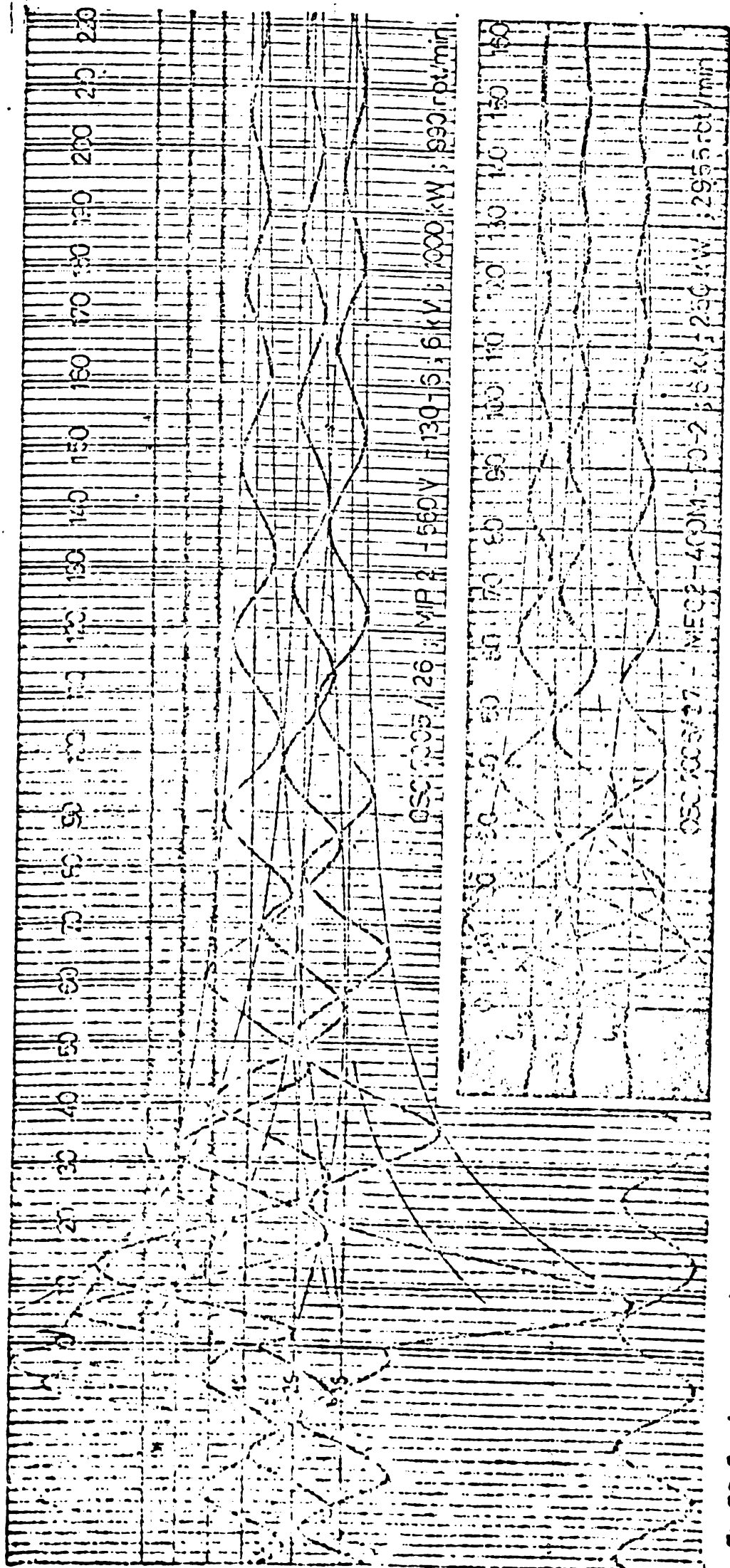
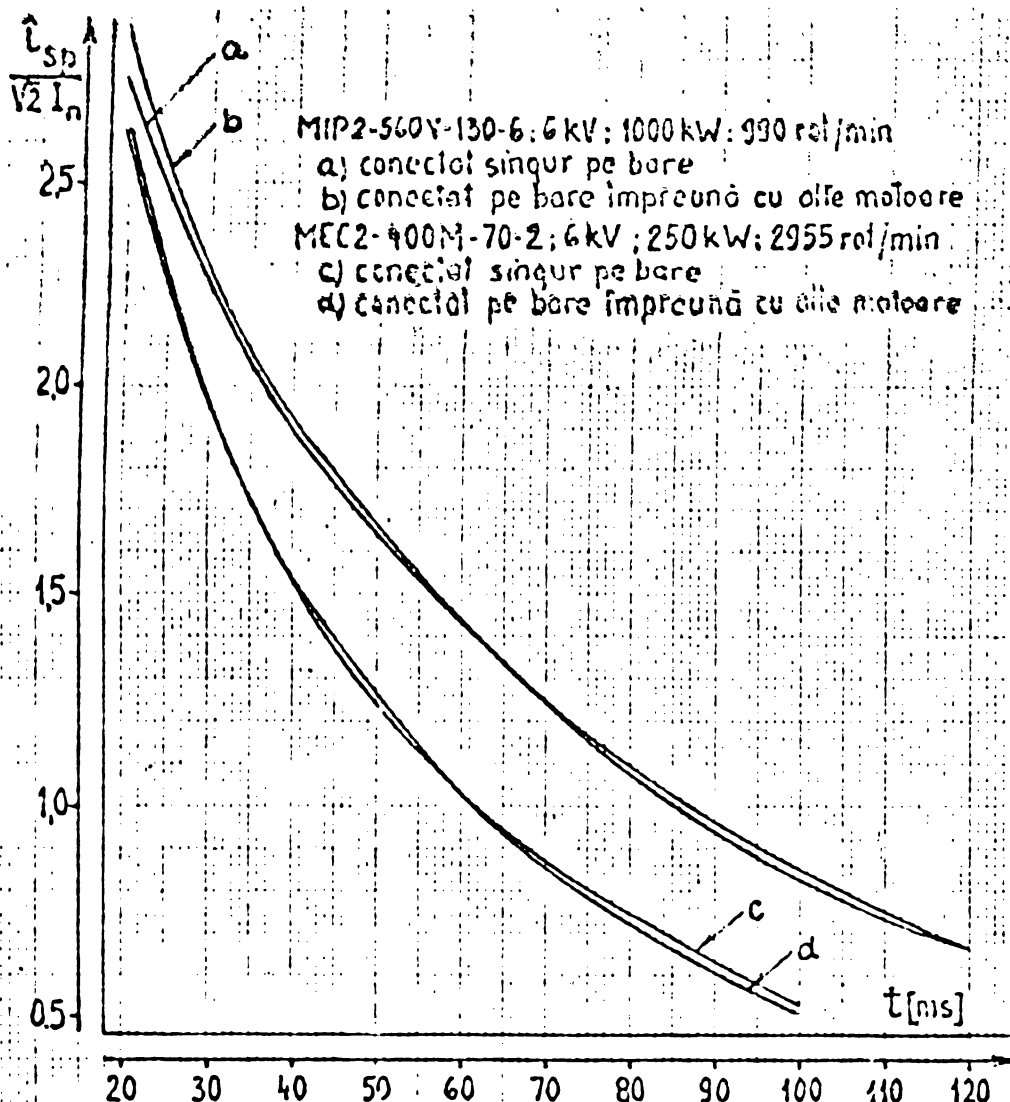


Fig.5.2. Oscillograme ale curentilor de scurtcircuit proveniti de la motoare asincrone cind pe bare este conectat un grup format din mai multe mecare.

mare, respectiv de la cel cu puterea nominală cea mai mică, în prima variantă de încercare. În fig.5.2 sînt prezentate exemple de oscilogramme ale curenților de scurtcircuit proveniți de la aceeași motoare în varianta a doua de încercare. Rezultatele obținute în urma prelucrării acestor oscilogramme sînt prezentate în fig.5.3, care reprezintă pentru cele două variante de efectuare ale încercărilor, curbele de variație în timp a amplitudinii componentei periodice a curentului



de scurtcircuit provenit de la motorul cu puterea nominală cea mai mare și de la motorul cu puterea nominală cea mai mică. Valorile amplitudinilor componentei periodice a curentului de scurtcircuit sînt exprimate în u.r., mărimea la care s-a făcut raportarea fiind amplitudinea curentului nominal. Analiza curbelor din fig.5.3 conduce la concluzia că atît pentru motorul cu momentul de inerție și puterea nominală cea mai mică cît și pentru cel cu puterea nominală cea mai mare, curba de variație în timp

Fig.5.3. Curbe de variație în timp a componentei periodice a curentului de scurtcircuit provenit de la motoare asincrone, cînd acestea sînt conectate fiecare individual pe bare, respectiv cînd sînt conectate mai multe pe bare comune.

a componentei periodice a curentului de scurtcircuit corespunzătoare primei variante de încercare practic coincide cu cea corespunzătoare celei de a doua variante de încercare. Micile diferențe între cele două categorii de curbe se explică prin erorile de măsurare a amplitudinilor componentei periodice a curentului de scurtcircuit.

Rezultă că viteza de amortizare a curentului de scurtcircuit provenit de la oricare motor este aceeași indiferent dacă la bare este racordat numai motorul respectiv sau sînt racordate și alte motoare. Ca urmare, încercările experimentale efectuate au arătat că în practică între motoarele grupului nu apare fenomenul de interacțiune amplitudinii curentului de scurtcircuit debitat de fiecare din ele în prezența altor motoare.

5.1.2. Tipul motoarelor care alcătuiesc consumatorul complet separat, parametrii lor tranzitorii, puterea nominală și numărul perechilor de poli ai motoarelor.

Una dintre cele mai importante mărimi ale curentului de scurtcircuit provenit de la motorul asincron este curentul de șoc, care în practică se determină cu ajutorul coeficientului de șoc $k_{\text{șoc}}$ și a valorii efective I_{po} a componentei periodice a curentului de scurtcircuit provenit de la motor, valoare efectivă corespunzătoare primei jumătăți de perioadă ;

$$(5.1) \quad i_{\text{șoc}} = \sqrt{2} k_{\text{șoc}} I_{\text{po}}$$

Coeficientul de șoc maxim se poate determina analitic cu ajutorul relațiilor (3.62); (3.65) pentru motorul asincron de categoria I și cu ajutorul relațiilor (3.131.a), (3.131.b) pentru motorul asincron de categoria II. Analiza acestor relații scoate în evidență că principalii factori care influențează valoarea coeficientului de șoc maxim sînt constantele de timp T_{sa} , T_{s} , T_{s}'' cu care se amortizează componentele curentului de scurtcircuit.

De asemenea în cap.3 s-a arătat că, în afara acestor constante de timp, principalul parametru care determină valoarea I_{po} este reactanța supratranzitorie X_{s}'' pentru motoarele asincrone de categoria I, respectiv reactanța tranzitorie X_{s}' pentru motoarele asincrone de categoria II.

În cele ce urmează se stabilește o metodologie de calcul a valorii I_{po} și se scoate în evidență influența diferiților factori asupra acestei valori.

Motorul asincron se poate caracteriza în momentul perturbării bruște a regimului său staționar de funcționare, deci și în momentul apariției unui scurtcircuit în rețeaua sa de alimentare, prin tensiunea electromotoare supratranzitorie aplicată în spatele reactanței supratranzitorii pentru motorul de categoria I, respectiv tensiunea electromotoare tranzitorie aplicată în spatele reactanței tranzitorii pentru motorul de categoria II. Într-adevăr plecînd de la modelul matematic MA-2C-DCR al motorului de categoria I, respectiv de la modelul MA-1C-DCR al motorului de categoria II se poate arăta, conform anexei 5.1, că atât pentru regimul staționar de funcționare, cît și pentru regimuri tranzitorii există relațiile :

$$(5.2) \quad \bar{u}_{\text{Bs}}(t) = \{R_{\text{s}} + jX_{\text{s}}''\} \bar{i}_{\text{Bs}}(t) - \bar{\mathcal{E}}_{\text{Bs}}''(t) \quad \text{pentru motorul asincron de categoria I}$$

$$(5.3) \quad \bar{u}_{\text{Bs}}(t) = \{R_{\text{s}} + jX_{\text{s}}'\} \bar{i}_{\text{Bs}}(t) - \bar{\mathcal{E}}_{\text{Bs}}'(t) \quad \text{pentru motorul asincron de categoria II}$$

unde :

$$(5.4) \quad \bar{\mathcal{E}}_{\text{Bs}}''(t) = -\partial \bar{\Psi}_{\text{Bs}}(t) - j\omega [a_1'' \bar{\Psi}_{\text{B1}}(t) + a_2'' \bar{\Psi}_{\text{B2}}(t) - s_D \bar{\Psi}_{\text{Bs}}(t)]; \quad a_1'' = \frac{X_{\text{s}}'' - X_{\text{s}}'\sigma}{X_{\text{s}}'\sigma}; \quad a_2'' = \frac{X_{\text{s}}'' - X_{\text{s}}'\sigma}{X_{\text{s}}'\sigma}$$

$$(5.5) \quad \bar{\mathcal{E}}_{\text{Bs}}'(t) = -\partial \bar{\Psi}_{\text{Bs}}(t) - j\omega [a_1' \bar{\Psi}_{\text{B1}}(t) - s_D \bar{\Psi}_{\text{Bs}}(t)]; \quad a_1' = \frac{X_{\text{s}}' - X_{\text{s}}'\sigma}{X_{\text{s}}'\sigma}$$

În cazul regimurilor staționare de funcționare fazorii reprezentativi spațio-temporali $\bar{u}_{\text{Bs}}(t)$, $\bar{i}_{\text{Bs}}(t)$, $\bar{\mathcal{E}}_{\text{Bs}}''(t)$, $\bar{\mathcal{E}}_{\text{Bs}}'(t)$, $\bar{\Psi}_{\text{Bs}}(t)$, $\bar{\Psi}_{\text{B1}}(t)$, $\bar{\Psi}_{\text{B2}}(t)$ sînt mărimi con-

stante, iar în cazul regimurilor tranzitorii sînt funcții de timp.

Conform relațiilor (5.2), (5.3) motorul asincron de categoria I poate fi reprezentat prin schema echivalentă din fig.5.4.a, iar motorul asincron de categoria II prin schema echivalentă din fig.5.5.a. Acelor scheme le corespund schemele din fig.5.4.b, respectiv 5.5.b, în care s-a introdus injectorul de curent $[\bar{E}_{B_s}''/(R_s+jX_s'')]$, respectiv $[\bar{E}_{B_s}'/(R_s+jX_s')]$, în paralel cu admitanța $[1/(R_s+jX_s'')]$ respectiv $[1/(R_s+jX_s')]$

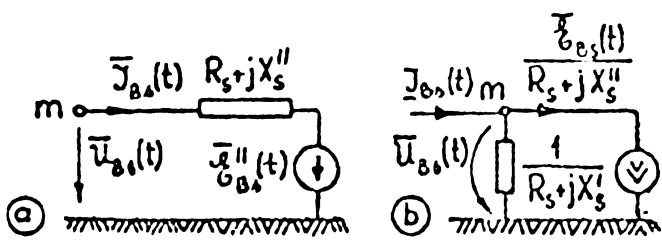


Fig. 5.4. Schemate echivalente pentru motorul asincron de categoria I în regimuri tranzitorii

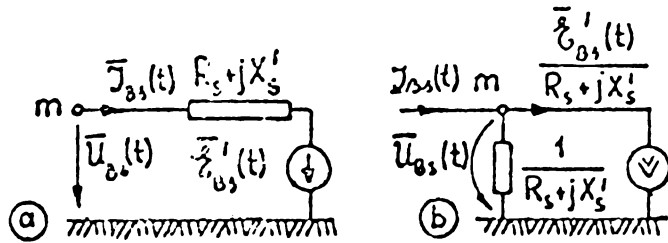


Fig. 5.5. Schemate echivalente pentru motorul asincron de categoria II în regimuri tranzitorii.

Apariția unui scurtcircuit la barele de alimentare ale motorului la momentul $t = 0$ se poate caracteriza prin faptul că $\bar{U}_{B_s}(t) = 0$ și conform schemelor echivalente din fig.5.4.b, respectiv din fig.5.5.b, fazorul reprezentativ spațio-temporal $\bar{I}_{B_s}(0) = \bar{I}_{p0}$ al componentei periodice a curentului de scurtcircuit la momentul $t = 0$ va fi dat de relația :

$$(5.6) \quad \bar{I}_{p0} = \frac{\bar{E}_{B_s}''}{R_s + jX_s''} \quad \text{pentru motorul asincron de categoria I}$$

$$(5.7) \quad \bar{I}_{p0} = \frac{\bar{E}_{B_s}'}{R_s + jX_s'} \quad \text{pentru motorul asincron de categoria II}$$

unde :

$$\bar{E}_{B_s}'' = \bar{E}_{B_s}''(0) \quad ; \quad \bar{E}_{B_s}' = \bar{E}_{B_s}'(t).$$

În momentul apariției unui scurtcircuit la barele de alimentare ale motorului unele mărimi fizice sînt variabile inerțiale. Aceste variabile inerțiale sînt :

- tensiunea electromotoare $\bar{E}_{B_s}''(t)$, respectiv $\bar{E}_{B_s}'(t)$, invarianța lor fiind legată de invarianța înălțurilor ;

- alunecarea $s(t)$ a motorului, invarianța acesteia fiind legată de inerția mișcării rotorului.

Rezultă că dacă scurtcircuitul se produce la momentul $t = 0$ și dacă prin $t = 0_-$ se înțelege momentul imediat anterior scurtcircuitului, iar prin $t = 0_+$ se înțelege momentul imediat ulterior scurtcircuitului se pot scrie egalitățile :

$$(5.8) \quad \bar{E}_{B_s}''(0) = \bar{E}_{B_s}''(0_-) = \bar{E}_{B_s}''(0_+) = \bar{E}_{B_s}'' ; \quad \bar{E}_{B_s}'(0) = \bar{E}_{B_s}'(0_-) = \bar{E}_{B_s}'(0_+) = \bar{E}_{B_s}' ; \quad \lambda(0) = \lambda(0_-) = \lambda(0_+) = \lambda(0)$$

Dacă înainte de momentul $t = 0$ al apariției scurtcircuitului la barele de alimentare ale motorului, acesta a funcționat în regim staționar, fazorul reprezentativ spațio-temporal al curentului absorbit fiind mărimea constantă $\bar{I}_{B_s}(t) = \bar{I}_{B_s}(0) = \bar{I}_{B_s}$, iar fazorul reprezentativ spațio-temporal al tensiunii la bare fiind mărimea constantă $\bar{U}_{B_s}(t) = \bar{U}_{B_s}(0_-) = \bar{U}_{B_s}$, atunci conform relațiilor (5.2) și (5.3) se poate scrie :

$$(5.9) \quad \bar{U}_{B_s} = (R_s + jX_s'') \bar{I}_{B_s} - \bar{E}_{B_s}''(0) \quad \text{pentru motorul asincron de categoria I}$$

$$(5.10) \quad \bar{u}_{B_s} = (R_s + jX'_s) \bar{J}_{B_s} - \bar{\xi}'_{B_s}(0) \quad \text{pentru motorul asincron de categoria II}$$

Avînd în vedere relațiile (5.8), din relațiile (5.9) și (5.10) rezultă :

$$(5.11) \quad -\bar{\xi}''_0 = \bar{u}_{B_s} - (R_s + jX''_s) \bar{J}_{B_s} \quad \text{pentru motorul asincron de categoria I}$$

$$(5.12) \quad -\bar{\xi}'_0 = \bar{u}_{B_s} - (R_s + jX'_s) \bar{J}_{B_s} \quad \text{pentru motorul asincron de categoria II}$$

Relațiile (5.11), (5.12) arată că valoarea tensiunii electromotoare supratranzitorii, respectiv tranzitorii la momentul $t=0$ se poate calcula dacă se cunosc mărimile \bar{u}_{B_s} , \bar{J}_{B_s} , ce caracterizează regimul staționar anterior scurtcircuitului, precum și rezistența R_s a înfășurării statorice și reactanța supratranzitorie X''_s pentru motoarele de categoria I, respectiv reactanța tranzitorie X'_s pentru motoarele de categoria II.

Dacă înainte de momentul $t = 0$ al apariției scurtcircuitului la barele de alimentare ale motorului, acesta a funcționat în regim staționar cu alunecarea $s=s(0)$, absorbînd curenții dați de relația (3.47) și avînd la borne tensiunile date de relația (3.46), atunci aplicînd acestor relații transformarea de coordonate (2.13) rezultă :

$$(5.13) \quad \bar{u}_{B_s} = U\sqrt{2} \exp\left[j(\omega_s t + \varepsilon_1 - \gamma_{D0} - \frac{\pi}{2})\right]; \quad \bar{J}_{B_s} = I\sqrt{2} \exp\left[j(\omega_s t + \varepsilon_1 - \gamma_{D0} - \frac{\pi}{2} - \varphi)\right]$$

unde s_D este dat de relația (2.10), γ_{D0} caracterizează poziția la momentul $t = 0$ a axei D a sistemului de referință D, Q față de faza de referință a statorului, iar φ este unghiul de defazaj dintre curentul absorbit de motor și tensiunea la bornele

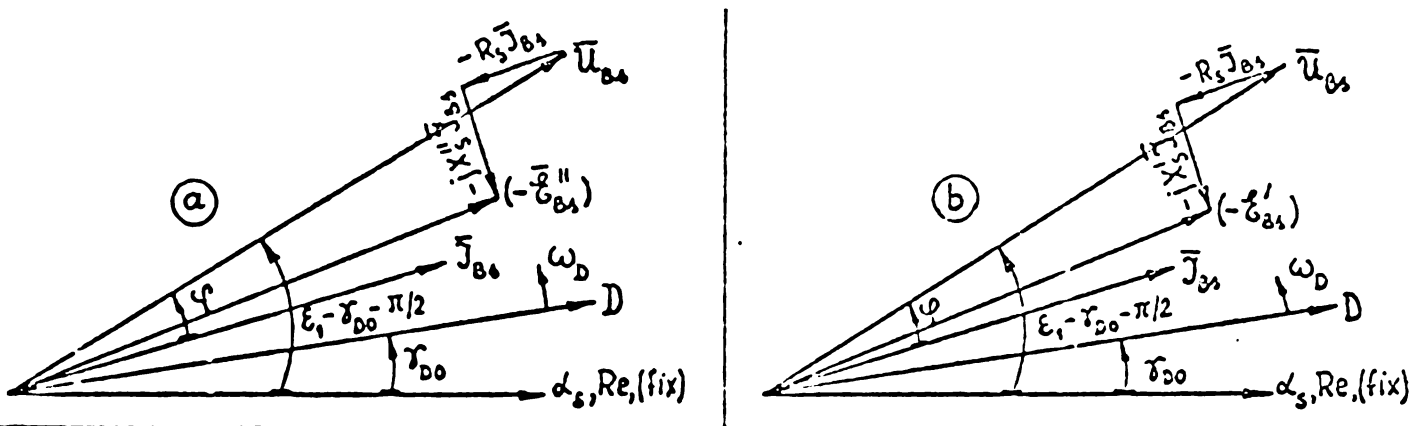


Fig. 5.6. Diagrame fazoriale corespunzătoare momentului inițial ($t=0$) al scurtcircuitului: a) pentru motorul asincron de categoria I ; b) pentru motorul asincron de categoria II.

sale. Avînd în vedere relațiile (5.13), relațiile (5.11) și (5.12) permit trasarea diagramelor fazoriale din fig. 5.6. a, pentru motorul de categoria I, respectiv din fig. 5.6. b, pentru motorul de categoria II. Se precizează că aceste diagrame fazoriale sînt valabile numai pentru momentul $t = 0$. Avînd în vedere relațiile (5.6) și (5.7) rezultă că valoarea efectivă I_{po} a componentei periodice a curentului de scurtcircuit corespunzătoare primei jumătăți de perioadă se poate calcula cu relațiile :

$$(5.14) \quad I_{po} = \frac{|\bar{J}_{B_s}|}{\sqrt{2}} = \frac{|\bar{\xi}''_0/\sqrt{2}|}{\sqrt{R_s^2 + (X''_s)^2}} = \frac{E''_0}{\sqrt{R_s^2 + (X''_s)^2}} \quad \text{pentru motorul asincron de categoria I}$$

$$(5.15) \quad I_{po} = \frac{|\bar{J}_{B_s}|}{\sqrt{2}} = \frac{|\bar{\xi}'_0/\sqrt{2}|}{\sqrt{R_s^2 + (X'_s)^2}} = \frac{E'_0}{\sqrt{R_s^2 + (X'_s)^2}} \quad \text{pentru motorul asincron de categoria II}$$

unde : $E_o'' = \left| \frac{\bar{E}_o''}{\sqrt{2}} \right|$; $E_o' = \left| \frac{\bar{E}_o'}{\sqrt{2}} \right|$

Din diagramele fazoriale reprezentate în fig.5.6 rezultă :

(5.16) $E_o'' = \sqrt{(U - R_s I \cos \varphi - X_s'' I \sin \varphi)^2 + (X_s'' I \cos \varphi - R_s I \sin \varphi)^2}$ pentru motorul asincron de categoria I

(5.17) $E_o' = \sqrt{(U - R_s I \cos \varphi - X_s' I \sin \varphi)^2 + (X_s' I \cos \varphi - R_s I \sin \varphi)^2}$ pentru motorul asincron de categoria II

Relațiile (5.14), (5.15), (5.16), (5.17) cu mărimile exprimate în u.r., baza de raportare fiind mărimile nominale ale motorului, se vor scrie sub forma :

(5.14a) $I_{po}^* = \frac{E_o''^*}{\sqrt{r_s^2 + (x_s'')^2}}$; (5.16a) $E_o''^* = \sqrt{(U^* - r_s I^* \cos \varphi - x_s'' I^* \sin \varphi)^2 + (x_s'' I^* \cos \varphi - r_s I^* \sin \varphi)^2}$

(5.15a) $I_{po}^* = \frac{E_o'^*}{\sqrt{r_s^2 + (x_s')^2}}$; (5.17a) $E_o'^* = \sqrt{(U^* - r_s I^* \cos \varphi - x_s' I^* \sin \varphi)^2 + (x_s' I^* \cos \varphi - r_s I^* \sin \varphi)^2}$

unde : $I_{po}^* = I_{po} / I_n$; $E_o''^* = E_o'' / U_{nf}$; $E_o'^* = E_o' / U_{nf}$; $U^* = U / U_{nf}$; $I^* = I / I_n$; $r_s = R_s / X_n$; $x_s'' = X_s'' / X_n$; $x_s' = X_s' / X_n$

Relațiile (5.14), (5.15) arată că principalii factori care influențează valoarea I_{po} sînt X_s'' , R_s , E_o'' , pentru motoarele de categoria I, respectiv X_s' , R_s , E_o' pentru motoarele de categoria II.

TABELUL 5.2.

Nr crt	Tip motor	U_n kV	P_n kW	$\cos \varphi_n$ -	I_n A	n_n $\frac{rot}{min}$	ρ -	I_o A	$\cos \varphi_o$ -	X_n Ω	x_s'' u.r.	r_s u.r.	T_s' ms	T_s'' ms	T_{so} ms	T_{so}' ms	T_{so}'' ms	
	?	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
		350	0,95	30,5	2955	1	7,5	0,095	113,57710	0,1659776	0,0223865	58,20	8,90	23,60	1154,5	11,00		
2	MEC2-400L-70-2	6	315	0,87	30,5	1	9,6	0,084	93,121011	0,1455781	0,0178227	75,00	10,00	26,00	1635,0	12,80		
3	MEC2-450M-75-2	6	400	0,87	47,4	2961	1	11,8	0,111	73,082333	0,20554013	0,0194301	79,87	12,05	33,67	1926,87	13,36	
4	MEC2-450M-75-2	6	500	0,87	58,8	2961	1	13,9	0,106	58,913293	0,19433633	0,0169741	82,56	12,43	36,43	2187,82	14,04	

Nr crt	$E_o''^*$ u.r.	$E_o'^*$ u.r.	I_{po}^* u.r.	I_{po}^* u.r.	$100 \frac{I_{po}^* - I_{po}^*}{I_{po}^*}$ %	$\cos \varphi_{EM}$ -
19	20	21	22	23	24	25
1	0,9028423	0,9588488	5,3907303	5,7251364	6,203	0,1337
2	0,9202956	0,9521789	6,2748126	6,5603838	4,551	0,1215
3	0,8978486	0,9486115	4,3488524	4,5947254	5,654	0,0941
4	0,9037503	0,9538468	4,6280779	4,8846207	5,543	0,0869

Reactanța X_s'' a motoarelor de categoria I variază în limite largi în funcție de tipul constructiv al acestora, precum și de puterea lor nominală. În tabelul 5.2 sînt prezentate valorile în u.r. ale reactanței x_s'' pentru motoare cu două colivii rotorice din seria unitară MEC-2, fabricate de uzinele Electroputere din Craiova. Valorile respective au fost obținute în urma încercărilor experimentale de scurtcircuit direct și de deconectare pentru primele două motoare și din datele de proiectare pentru ultimele două motoare din tabel. Numărul mic de motoare fabricate în prezent din seria respectivă și faptul că în această serie se fabri-

că numai motoare cu numărul perechilor de poli $p = 1$, nu permite să se tragă concluzii absolut categorice asupra influenței puterii nominale și mai ales a numărului de perechi de poli asupra lui x_2'' . Se poate observa totuși că valorile lui x_2'' sînt cuprinse între 0,14 - 0,20 și că valoarea lui x_2'' are tendința de a crește odată cu creșterea puterii nominale a motorului.

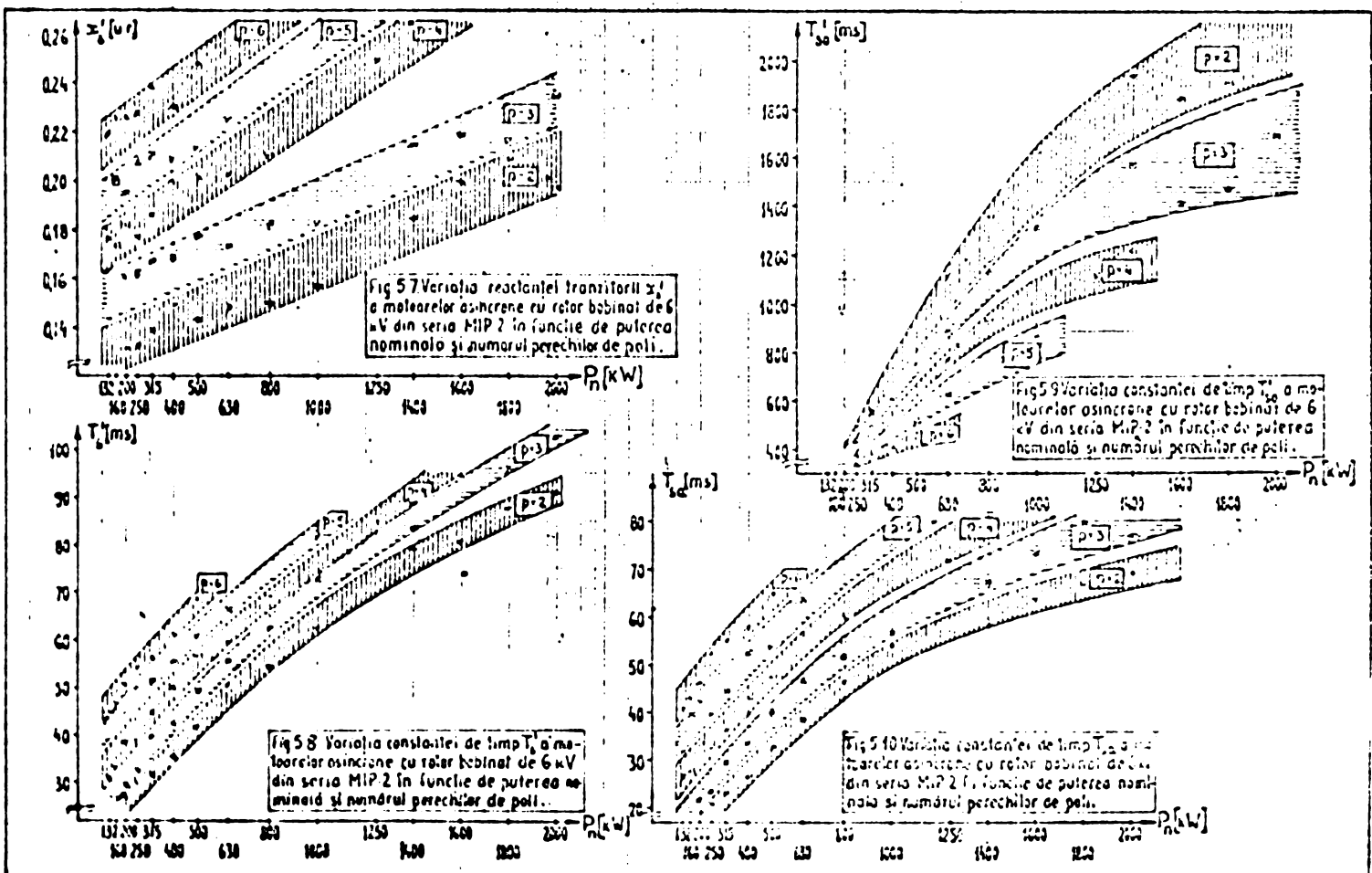
Analiza relațiilor (5.14), respectiv (5.15) scoate în evidență că valoarea I_{po} devine maximă atunci cînd E_0'' , respectiv E_0' sînt maxime. Pe de altă parte, din relațiile (5.16), respectiv (5.17) rezultă că valoarea E_0'' , respectiv E_0' depinde de sarcina motorului, prin intermediul mărimilor I , $\cos\varphi$. O analiză detaliată a relațiilor (5.16), (5.17) conduce la concluzia că E_0'' ar fi maximă dacă motorul de categoria I ar funcționa înainte de producerea scurtcircuitului la un factor de putere dat de relația :

$$(5.18) \quad (\cos\varphi)_{EM} = \frac{r_\lambda}{\sqrt{r_\lambda^2 + (x_2'')^2}}$$

iar E_0' ar fi maximă dacă motorul de categoria II ar funcționa înainte de producerea scurtcircuitului la un factor de putere dat de relația :

$$(5.19) \quad (\cos\varphi)_{EM} = \frac{r_\lambda}{\sqrt{r_\lambda^2 + (x_2')^2}}$$

Valoarea factorului de putere dată de relația (5.18), respectiv (5.19) este foarte apropiată de cea a factorului de putere de mers în gol, de unde rezultă



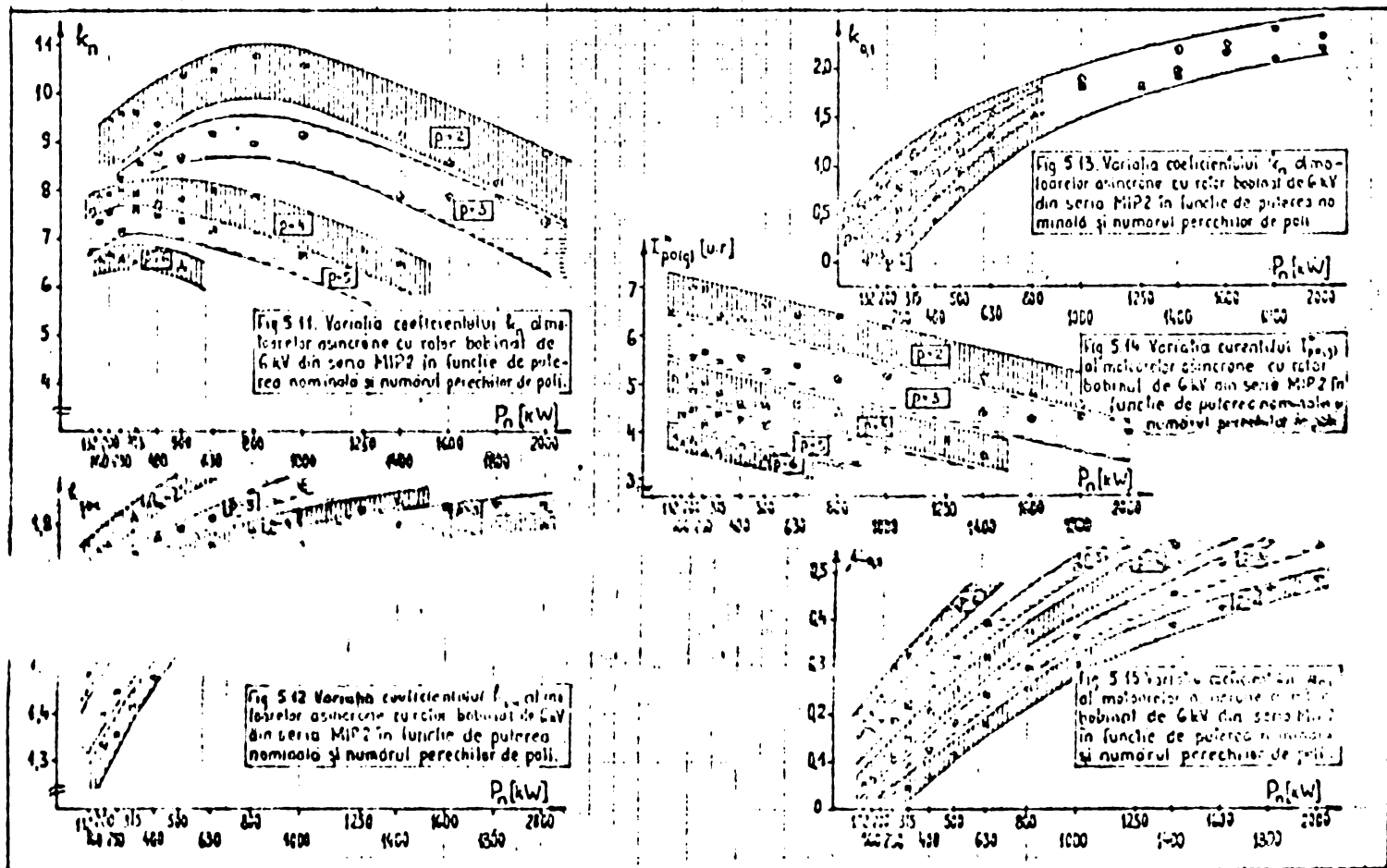
că se obține valoare maximă pentru I_{po} , deci și pentru curentul de șoc, dacă înainte de producerea scurtcircuitului motorul a funcționat în gol. De altfel această concluzie a fost confirmată și de rezultatele experimentale obținute în cap.4.

În tabelul 5,2 este indicată valoarea factorului de putere $(\cos\varphi)_{EM}$, valoarea

$I_{po}^*(g)$, cînd regimul anterior scurtcircuitului este cel de mers în gol, respectiv $I_{po}^*(n)$, cînd regimul anterior scurtcircuitului este cel nominal. Rezultatele obținute confirmă concluziile de mai sus referitoare la valoarea factorului de putere $(\cos\varphi)_{EM}$, respectiv la valoarea I_{po}^* . Astfel valorile $I_{po}^*(g)$ depășesc valorile $I_{po}^*(n)$ în medie cu 5 %.

În ceea ce privește constantele de timp T_{an} , T'_s , T''_s , care influențează coeficientul de șoc, analiza rezultatelor din tabelul 5.2 conduce la concluzia că acestea cresc odată cu puterea nominală a motorului.

Concluzii mai complete asupra factorilor care influențează asupra valorii contribuției motoarelor asincrone la curenții de scurtcircuit și asupra modului de variație în timp a acestei contribuții au putut fi obținute pentru motoarele de 6kV de categoria II din seria unitară MIP-2, fabricate de Uzinele Electromotore Craiova, deoarece seria respectivă conține un număr foarte mare de motoare, cu puteri nominale cuprinse în gama 132-2000 kW și cu diferite numere de perechi de poli. Rezultatele studiului întreprins de autor asupra unui număr de 50 de motoare din această serie sînt prezentate în cele ce urmează sub formă de dia-



Diagramele din fig.5.7 scot în evidență că reactanța tranzitorie x'_s în u.r. crește odată cu puterea nominală P_n a motoarelor, la același număr de perechi de poli p și odată cu numărul perechilor de poli, la aceeași putere nominală. Limitele între care variază valorile reactanței x'_s sînt cuprinse între 0,13-0,26 u.r.

Din analiza diagramelor din fig.5.8 și 5.10 rezultă aceleași concluzii referitoare la influența puterii nominale și a numărului perechilor de poli a motoarelor asupra constantelor de timp T'_s și T''_s . Analiza diagramelor din fig.5.9 arată în schimb că, odată cu creșterea numărului perechilor de poli, la aceeași

putere nominală, constanta de timp T'_{s0} scade.

Diagramele din fig.5.14 scot în evidență variația în raport cu puterea nominală și numărul perechilor de poli a valorii I_{po}^* [u.r.]. Se observă scăderea acesteia, odată cu creșterea puterii nominale și a numărului perechilor de poli.

Conform diagramei din fig.5.11, coeficientul k_n definit de relația (4.13), scade odată cu creșterea numărului perechilor de poli. În orice caz, se remarcă valorile foarte mari ale acestui coeficient, ceea ce indică ordinul de multiplicitate foarte ridicat al curentului de șoc față de amplitudinea curentului nominal.

Diagramele din fig.5.12 arată că la aceeași putere nominală coeficientul k_{soc} crește pronunțat cu numărul perechilor de poli, iar la același număr de perechi de poli crește odată cu puterea nominală. Este de remarcat că la puteri nominale mai mari decât 1000 kW, chiar la număr mic de perechi de poli k_{soc} depășește valoarea 1,7.

Diagramele din fig.5.13 și 5.15 scot în evidență influența puterii nominale și a numărului perechilor de poli asupra coeficientului $k_{0,1}$, definit de relația (4.13), respectiv a coeficientului $\mu_{0,1}$, definit ca raportul dintre $I_{0,1}$ și I_{po} ($\mu_{0,1} = I_{0,1}/I_{po}$). De remarcat, că la puteri mai mari decât 630 kW, deoarece $k_{0,1}$ este mai mare decât unitatea, puterea de scurtcircuit provenită de la motor la momentul $t = 0,1$ secunde de la producerea scurtcircuitului, depășește puterea nominală a motorului.

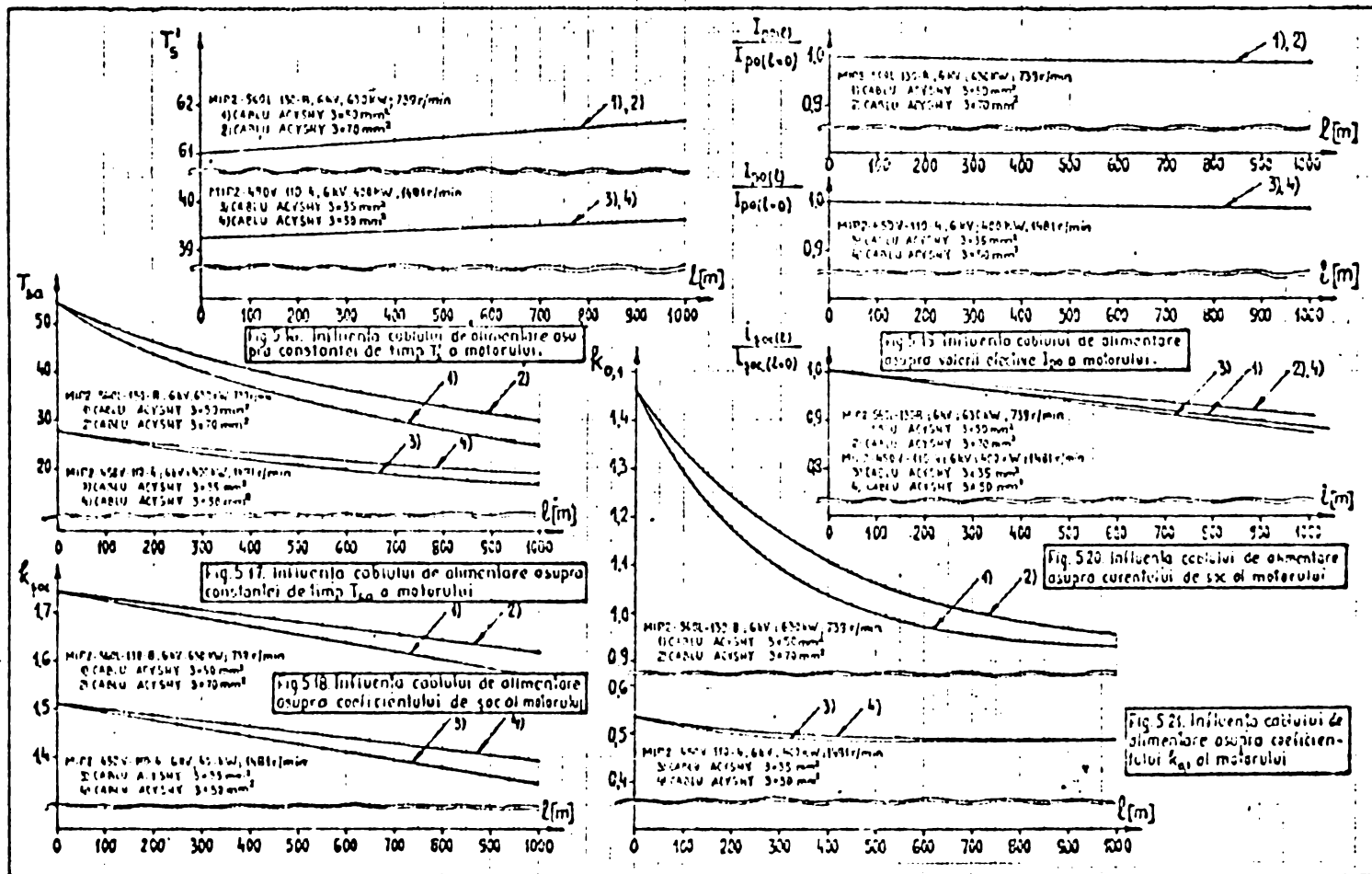
5.1.3. Impedanța elementului de legătură dintre motor și locul scurtcircuitului.

În situația în care între motor și locul scurtcircuitului apare un element de legătură, ca de exemplu cablul de forță prin care se alimentează motorul sau un transformator de forță, impedanța elementului de legătură se inseriază cu impedanța cu care intervine motorul în timpul scurtcircuitului.

În literatura de specialitate există o mare diversitate de păreri privind influența impedanței elementului de legătură dintre motor și locul de scurtcircuit asupra valorilor curentului de scurtcircuit provenit de la motor și asupra constantelor de timp cu care se amortizează componentele acestui curent. Astfel în /43/, /82/, /132/ se afirmă că impedanța cablului de legătură are o influență neglijabilă asupra valorii efective I_{po} , corespunzătoare primei jumătăți de perioadă a componentei periodice a curentului de scurtcircuit, pe când în /19/, /52/ se afirmă că impedanța cablului poate influența apreciabil valoarea I_{po} , în special la motoarele la care cablul are o lungime relativ mare. În aceleași lucrări se afirmă că în cazul când între motor și punctul de scurtcircuit apare un transformator de forță, impedanța transformatorului are ca efect reducerea pronunțată a valorii I_{po} . Și în privința constantelor de timp părerile autorilor diferă mult. Astfel în /19/, /43/, /76/ se afirmă că prezența cablului conduce la mărirea constantei T'_s a componentei periodice a curentului de scurtcircuit. În /10/, /19/, /76/ se afirmă că prezența unui element de legătură între motor și locul de scurt-

circuit conduce la micșorarea constantei de timp T_{sa} a componentei aperiodice, pe cînd în /43/, /82/ se afirmă că influența elementului de legătură asupra constantei de timp T_{sa} depinde de raportul X/R al elementului de legătură.

În încercarea de a elucidă problematica influenței elementului de legătură asupra valorii curentului de scurtcircuit și a constantelor de timp ale componentelor acestuia, autorul a întreprins un studiu asupra unor motoare alimentate prin cabluri de diverse secțiuni și cu lungimi diferite. Rezultatele studiului respectiv sînt centralizate în diagramele din figurile 5.16, ..., 5.21. Parametrii cablurilor de alimentare au fost stabiliți conform indicațiilor din /47/, /83/, /98/.



Analiza diagramelor din fig.5.16 arată că prezența cablului de alimentare a motorului are o influență neglijabilă asupra constantei de timp T'_s a componentei periodice a curentului de scurtcircuit provenit de la motor, ducînd la creșterea neînsemnată a acesteia odată cu creșterea lungimii cablului. În schimb prezența cablului are o influență foarte pronunțată asupra constantei de timp T'_{sa} a componentei aperiodice (fig.5.17), ducînd la scăderea accentuată a acesteia odată cu micșorarea secțiunii cablului și mai ales odată cu creșterea lungimii acestuia. Analiza diagramelor din fig.5.19 arată că prezența cablului de alimentare al motorului are o influență neglijabilă asupra valorii efective I'_{po} ducînd la o scădere neînsemnată a acesteia odată cu creșterea lungimii cablului, secțiunea cablului neavînd nici o influență asupra valorii I'_{pe} . Scăderea accentuată a constantei de timp T'_{sa} odată cu creșterea lungimii cablului și cu scăderea secțiunii acestuia are ca efect micșorarea pronunțată a curentului de șoc (fig.5.20), a coeficientului de șoc (fig.5.18) și a coeficientului $k'_{0,1}$ (fig.5.21).

5.1.4. Tipul scurtcircuitului

În afara scurtcircuitelor trifazate simetrice, în rețeaua de alimentare a consumatorilor pot interveni și scurtcircuitate nesimetrice bifazate sau monofazate.

Din punct de vedere teoretic comportarea în cazul scurtcircuitelor nesimetrice a consumatorului complet separat, format din motoare asincrone, se poate face apelând la teoria componentelor simetrice/129/. Pentru aceasta este însă necesar să fie cunoscuți toți parametrii de succesiune directă, inversă și homopolară ai motoarelor care compun consumatorul complet separat. Parametrii de succesiune directă sînt aceia cu care motorul intervine și în cazul scurtcircuitului trifazat. Modul lor de determinare a fost stabilit în capitolele precedente.

Dacă în condiții normale, motorul asincron funcționează la alunecarea s , rotorul motorului va avea alunecarea $(2-s)$ în raport cu fluxul magnetic de succesiune inversă de frecvență sincronă. Ca urmare, impedanța de succesiune inversă a motorului este impedanța sa corespunzătoare alunecării $(2-s)$. Deoarece rotorul motorului asincron este pe deplin simetric, fluxul de succesiune inversă nu provoacă nici o armonică superioară. Impedanța de succesiune inversă a motorului asincron poate fi obținută cu ajutorul schemei echivalente pentru regimul stabilizat cu alunecarea s . Această schemă se obține efectuînd particularizarea $\delta = j\omega s$

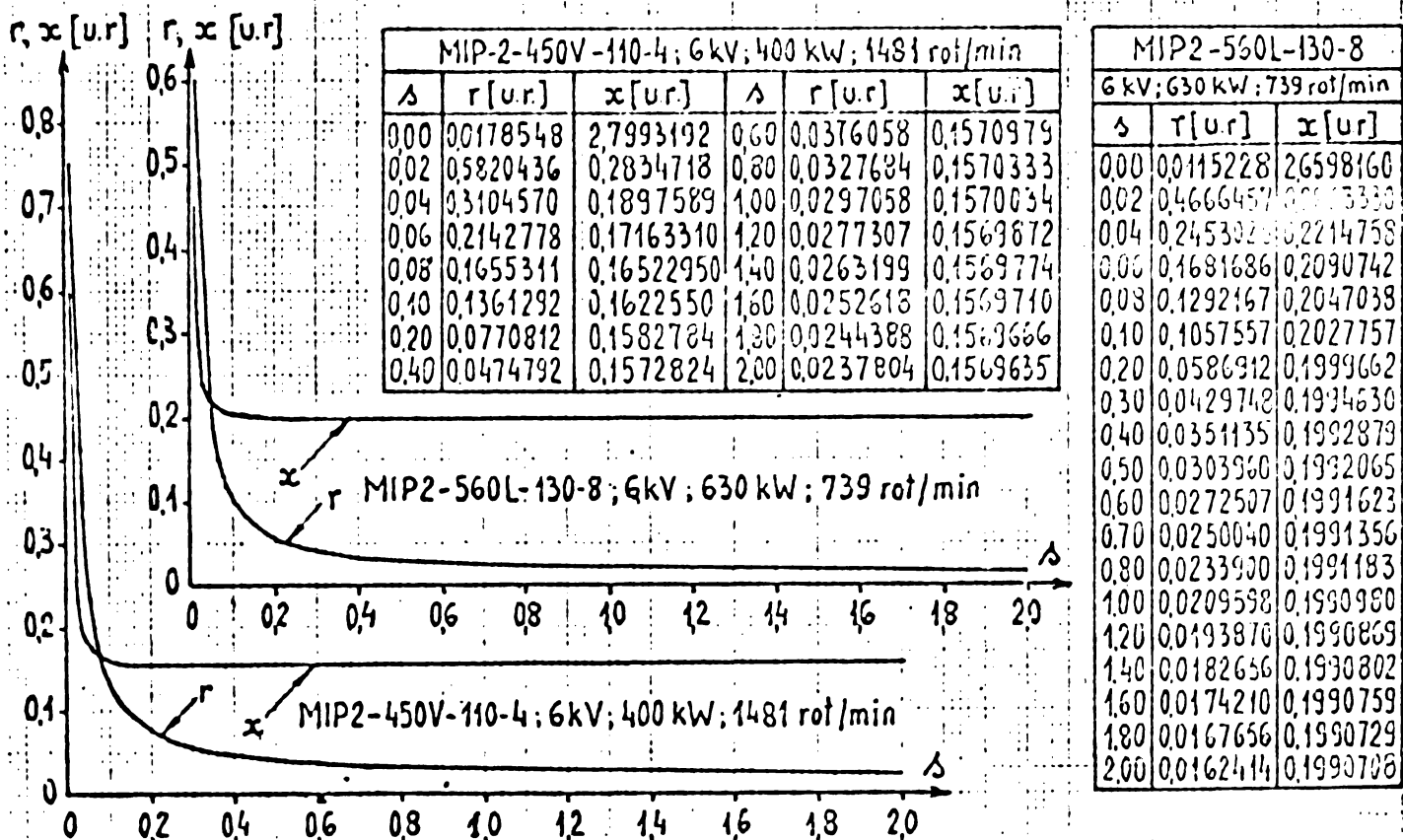


Fig.5.22. Variația rezistenței și reactanței motoarelor asincrone MIP2-450V-110-4; 6 kV; 400 kW; 1481 rot/min și MIP2-560L-130-8; 6 kV; 630 kW; 739 rot/min în funcție de alunecare.

În schema din fig.2.6, pentru motorul de categoria I, respectiv în schema din fig. 2.8 pentru motorul de categoria II. Trebuie avut însă în vedere că valorilor reactanței de scăpări și rezistenței rotorice din schemele astfel obținute trebuie să li se aducă corecții, prin care să se țină seama de efectul pelicular, deoarece la alunecarea $(2-s)$ curentul din rotor are frecvența ridicată $(2-s)f$, unde f este frecvența sincronă. Curbele din fig.5.22 ilustrează caracterul variației în func-

ție de alunecare a rezistenței și reactanței motoarelor asincrone cu care au fost efectuate încercări în cap.4.2 și ale căror caracteristici de catalog sînt indicate în tabelul 4.11. În diagramele din fig.5.22 rezistența și reactanța motorului sînt exprimate în u.r., mărimea la care a fost făcută raportarea fiind impedanța nominală Z_n a motorului. Analiza curbelor din fig.5.22 conduce la concluzia că la alunecări mici are loc o scădere rapidă a valorilor rezistenței și reactanței în funcție de alunecarea s , pe cînd la alunecări mari valorile acestora rămîn practic neschimbate în raport cu alunecarea. Deoarece în regimul anterior scurtcircuitului motorul funcționează la alunecări mici (alunecarea nominală s_n este de cîteva procente), rezultă că valoarea $(2-s)$ este foarte apropiată de 2, și ca urmare rezistența și reactanța de succesiune inversă a motorului asincron pot fi considerate practic egale cu valorile corespunzătoare alunecării $s=1$, adică cu valorile obținute din încercarea uzinală de stand cu rotor cald și anume $x(2) \approx x(s=1)$; $r(2) \approx r(s=1)$. Aceste concluzii au o importanță practică deosebită, deoarece furnizează o metodă foarte rapidă de determinare a parametrilor de succesiune inversă a motorului asincron.

Reactanța homopolară a motorului asincron este determinată numai de dispersia înfășurării statorului și depinde foarte mult de tipul și construcția acestuia. Valorii suficient de precise ale acestei reactanțe pot fi obținute pe cale experimentală (a se vedea cap.3.1.5, 3.2.5, 4.1.3.4, 4.2.3) sau din datele de proiectare ale fabricii constructoare. Rezistența homopolară a motorului asincron este egală cu rezistența înfășurării statorului.

Referitor la parametrii de succesiune inversă și homopolară ai motorului asincron mai trebuie subliniat faptul că aceștia sînt practic constanți, nedepinzînd nici de tipul scurtcircuitului nesimetric (bifazat sau monofazat) și nici de durata procesului tranzitoriu.

Există în general puține lucrări de specialitate referitoare la comportarea în timpul scurtcircuitelor nesimetrice a consumatorilor formați din motoare asincrone. Anumite indicații privind comportarea unor astfel de consumatori în timpul unui scurtcircuit bifazat se găsesc în /40/, /67/, /129/. Studiul analitic al scurtcircuitului bifazat ridică dificultăți din cauză că în timpul unui astfel de defect motorul asincron își mai păstrează legătura cu rețeaua sa de alimentare prin faza neavariată. Aceasta are ca urmare faptul că, spre deosebire de scurtcircuitul trifazat, la care lipsește curentul de scurtcircuit stabilizat provenit de la motorul asincron, în cazul scurtcircuitului bifazat există curent de scurtcircuit stabilizat provenit de la motor, cu alte cuvinte, spre deosebire de curentul de scurtcircuit trifazat, curentul de scurtcircuit bifazat provenit de la motorul asincron nu se amortizează pînă la valoarea zero. Scurtcircuitul bifazat la bornele unui motor asincron, chiar dacă înainte de scurtcircuit motorul a funcționat în gol, se deosebește esențial și de scurtcircuitul bifazat de la bornele unui generator sincron care înainte de scurtcircuit a funcționat în gol, întrucît în cazul motorului asincron prin faza neavariată trece curent în timpul scurtcircuitului, pe cînd în cazul generatorului sincron faza neavariată

nu este parcursă de curent în timpul scurtcircuitului. În /67/ se prezintă un studiu analitic al scurtcircuitului bifazat pentru cazul unui singur motor asincron alimentat prin intermediul unui transformator de la o rețea de putere infinită. În urma studiului a rezultat că la scurtcircuitul bifazat curentul de șoc este mai mic decât la scurtcircuitul trifazat, dar constantele de timp cu care se amortizează curentul de scurtcircuit bifazat sînt mai mari decât cele cu care se amortizează curentul de scurtcircuit trifazat. Concluzii asemănătoare au fost deduse în /40/, în urma unor probe de scurtcircuit bifazat efectuate pe grupuri de mai multe motoare asincrone.

Scurtcircuite monofazate pot apărea în rețelele cu neutrul rigid legat la pământ sau în rețelele cu neutrul legat la pământ printr-o rezistență de valoare mică. În cazul scurtcircuitului monofazat se menține legătura dintre motorul asincron și rețeaua sa de alimentare prin cele două faze neavariate. Prin aceste două faze motorul va absorbi din rețea curentul necesar pentru magnetizare pînă la declanșarea întreruptorului care elimină scurtcircuitul. Acest fenomen este principalul motiv pentru care ne putem aștepta ca, în anumite cazuri, curentul de scurtcircuit monofazat provenit de la motorul asincron să fie mai mare decât curentul de scurtcircuit trifazat provenit de la același motor, evident dacă atât scurtcircuitul monofazat cît și cel trifazat se produc în același punct. Această concluzie a fost verificată experimental în /11/, /12/, /13/, /19/, /132/ pentru anumite structuri ale rețelei de alimentare și pentru anumite compoziții ale consumatorului format din motoare asincrone. Astfel, după /132/, din diagramele reprezentate în fig. 5.23, rezultă că în rețeaua de structură precizată în care au fost efectuate probe de scurtcircuit monofazat, curentul de scurtcircuit monofazat provenit de la motorul asincron este mai mare decât cel trifazat și se amortizează cu o viteză mai redusă decât cel trifazat. Aceste rezultate sînt im-

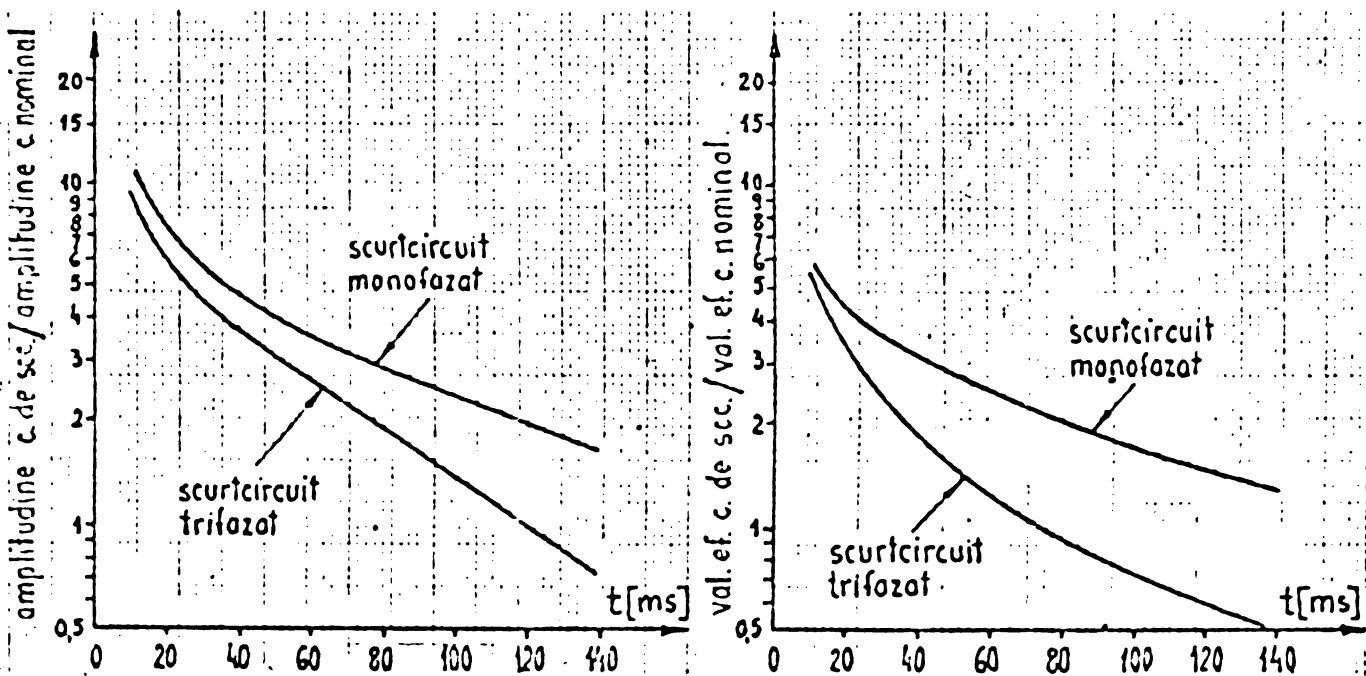


Fig. 5.23. Comparatie între curentul de scurtcircuit monofazat și cel trifazat provenit de la un motor asincron pentru o anumită structură a rețelei de alimentare, după [132].

portante din punct de vedere practic din următoarele motive: pe de o parte se știe din datele statistice că frecvența de apariție a scurtcircuitelor monofa-

rate este mai mare decât a celor trifazate, iar pe de altă parte rezultă că în timpul scurtcircuitelor monofazate echipamentul electric poate fi supus unor solicitări mai mari decât în timpul scurtcircuitelor trifazate.

Un studiu amănunțit al comportării consumatorului format din motoare asincrone în timpul scurtcircuitelor nesimetrice în rețeaua lor de alimentare, evident că implică luarea în considerare a structurii rețelei de alimentare a consumatorului, precum și cunoașterea tuturor parametrilor de secvență atât ai rețelei cât și ai motoarelor care compun consumatorul. De aceea nu pot fi trase concluzii absolute cu caracter general privind influența cantitativă a consumatorului format din motoare asincrone asupra curenților de scurtcircuit nesimetrice. Totuși, dacă se face apel la teoria componentelor simetrice pentru studiul curenților de scurtcircuit nesimetrice, pot fi trase unele concluzii privind influența consumatorului format din motoare asincrone asupra schemelor de succesiune directă, inversă și homopolară. Astfel, în conformitate cu regula schemei echivalente de succesiune directă /129/, influența consumatorului format din motoare asincrone în schema de succesiune directă, poate fi apreciată considerând în locul scurtcircuitului nesimetric în punctul real dat un scurtcircuit trifazat echivalent, dar într-un punct îndepărtat de punctul real de scurtcircuit, între cele două puncte fiind conectat șuntul de avarie. Șuntul de avarie este deci o impedanță suplimentară, conectată în serie cu impedanța de succesiune directă a schemei, această impedanță de succesiune directă fiind determinată față de punctul real de scurtcircuit. Șuntul de avarie nu depinde de parametrii schemei de succesiune directă față de punctul de scurtcircuit real și se determină pentru fiecare tip de scurtcircuit numai cu ajutorul impedanțelor de succesiune inversă și homopolară, acestea fiind stabilite în raport cu punctul real de scurtcircuit.

Aplicând regula enunțată mai sus, rezultă că toate concluziile referitoare la influența consumatorului format din motoare asincrone asupra curenților de scurtcircuit trifazat pot fi extinse și pentru aprecierea influenței acestuia asupra schemei de succesiune directă din cazul scurtcircuitelor nesimetrice. Astfel, se poate spune că la început că, dacă pentru un scurtcircuit nesimetric având loc într-un anumit punct dat, tensiunea rezanantă de succesiune directă la barele consumatorului este egală cu tensiunea rezanantă la barele aceluiași consumator pentru un scurtcircuit trifazat în același punct dat, atunci curentul de succesiune directă provenit de la consumator în momentul inițial al scurtcircuitului nesimetric este mai mic decât curentul de scurtcircuit trifazat în momentul inițial. Această relație de mărime dintre cei doi curenți se poate păstra și pentru cazul când tensiunea rezanantă de succesiune directă la barele consumatorului pentru scurtcircuitul nesimetric este mai mare decât tensiunea rezanantă la barele consumatorului pentru scurtcircuitul trifazat simetric, deoarece relația de mărime dintre cei doi curenți este determinată de doi factori: pe de o parte de valoarea celor două tensiuni rezanante și pe de altă parte de valoarea șuntului de avarie.

În schema de succesiune inversă prezența consumatorului are cu totul un alt efect. Așa după cum s-a văzut, impedanța de succesiune inversă a motoarelor asincrone este de valoare relativ mică și nu depinde nici de tipul scurtcircuitului și nici de timp în decursul procesului tranzitoriu. Ca urmare, participarea consumatorului în schema de succesiune inversă poate să ducă la micșorarea impedanței echivalente de succesiune inversă a schemei date față de situația când ar lipsi consumatorul, ceea ce în ultima instanță conduce la creșterea curentilor tuturor succesiunilor. În aceasta constă de fapt efectul consumatorului format din motoare asincrone în cazul scurtcircuitelor nesimetrice, efect care are ca urmare generarea de către motoarele asincrone a unui curent spre locul de scurtcircuit nesimetric.

Valoarea impedanței echivalente de succesiune homopolară a schemei depinde în primul rând de structura rețelei de alimentare a consumatorului și de modul de tratare a neutrului acesteia. Prezența consumatorului format din motoare asincrone într-o rețea cu neutrul rigid legat la pământ conduce în general la o micșorare a impedanței echivalente de succesiune homopolară a schemei față de situația când ar lipsi consumatorul, din cauza valorilor mici ale impedanței de succesiune homopolară a motoarelor care compun consumatorul respectiv. Așa se explică de ce în cazul unor anumite configurații ale rețelei de alimentare curentul de scurtcircuit monofazat provenit de la consumator poate fi mai mare decât curentul de scurtcircuit trifazat, evident dacă atât scurtcircuitul monofazat cât și cel trifazat au loc în același punct.

Studiul amănunțit al comportării la scurtcircuite nesimetrice a consumatorului format din motoare asincrone a permis autorului stabilirea expresiilor analitice ale rapoartelor dintre valoarea efectivă inițială a componentei periodice a curentului de scurtcircuit monofazat, respectiv bifazat debitat de consumator spre locul de scurtcircuit și valoarea efectivă inițială a componentei periodice a curentului de scurtcircuit trifazat debitat de consumator spre același loc de scurtcircuit. Aceste rapoarte sînt date de expresiile :

$$(5.20) \quad k_{3F}^{FN} = \frac{I_{p0}^{FN}}{I_{p0}^{3F}} = \frac{\left(\frac{\beta_2 + \alpha_1}{1 + \alpha_1} + \frac{\alpha_0(\beta_2 + \alpha_1)}{\alpha_1(1 + \alpha_0)} + 1 \right) + \left(\frac{1 - \varepsilon}{1 + \alpha_1} \right) \left[(\beta_0 - 1) \frac{\alpha_0(\beta_2 + \alpha_1)}{\alpha_1(1 + \alpha_0)} + (\beta_2 - 1) \right]}{\left(\frac{\beta_2 + \alpha_1}{1 + \alpha_1} + \frac{\alpha_0(\beta_2 + \alpha_1)}{\alpha_1(1 + \alpha_0)} + 1 \right) + \left[(\beta_2 - 1) \frac{\alpha_0(\beta_2 + \alpha_1)}{\alpha_1(1 + \alpha_0)} + (\beta_2 - 1) \right]}$$

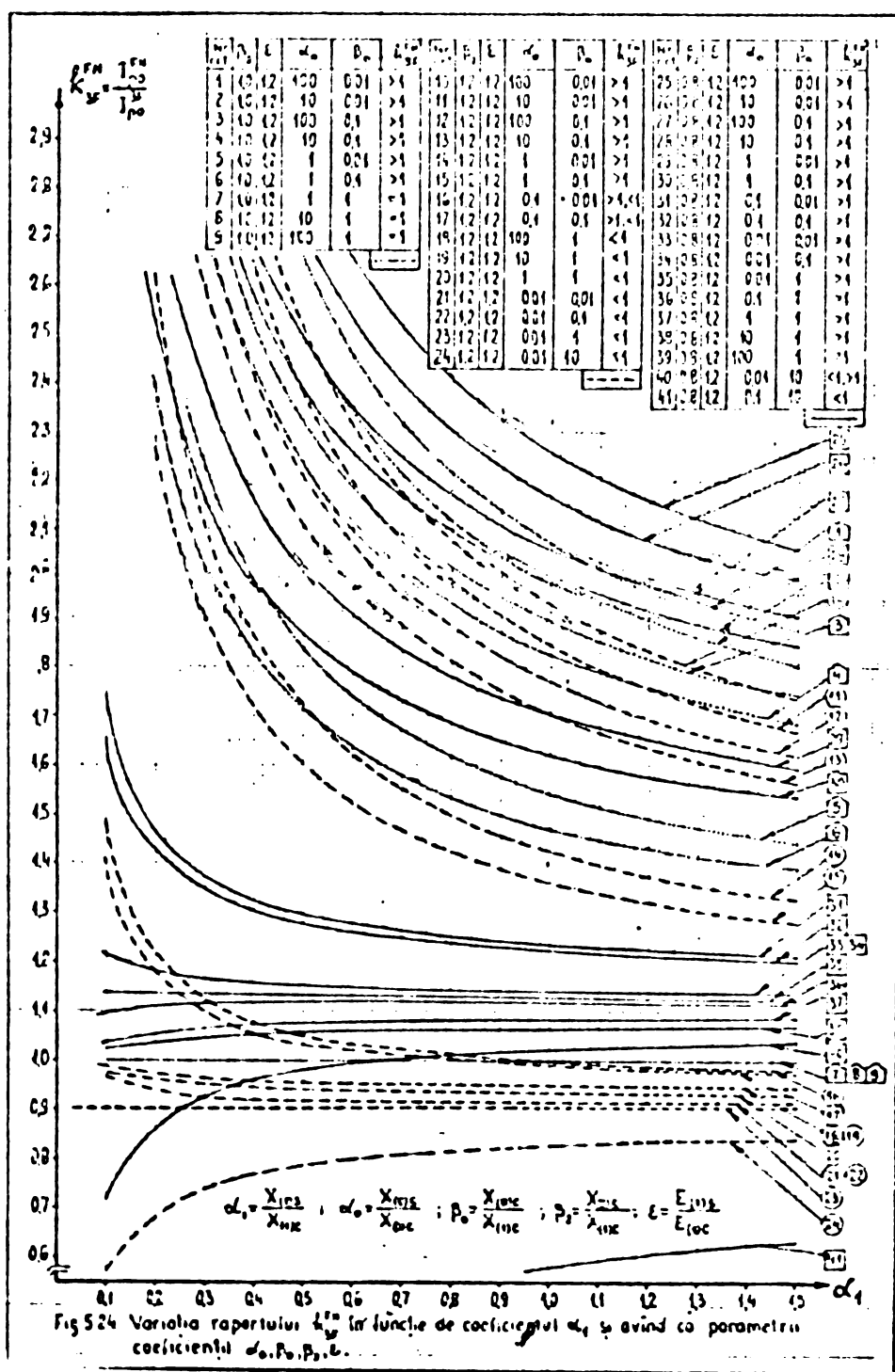
$$(5.21) \quad k_{3F}^{2F} = \frac{I_{p0}^{2F}}{I_{p0}^{3F}} = \frac{\sqrt{\varepsilon(1 - \beta_2)(\varepsilon - \beta_2) + \beta_2^2(\varepsilon - 1)^2 + 3(\beta_2 + \alpha_1)[(\beta_2 + \alpha_1) + \varepsilon(1 - \beta_2)]}}{\beta_2(1 + \alpha_1) + (\beta_2 + \alpha_1)}$$

$$(5.22) \quad k_{3F}^{2FN} = \frac{I_{p0}^{2FN}}{I_{p0}^{3F}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{\varepsilon + \alpha_1}{N_1} \right) (\beta_2^2 \beta_0^2 + \beta_0^2 + \beta_2^2 - \beta_2^2 \beta_0 - \beta_0^2 \beta_2 - \beta_2 \beta_0) + (\beta_2 + \beta_0 - 2\beta_2 \beta_0) + \left(\frac{N_1}{\varepsilon + \alpha_1} \right)}{\left(\frac{N_1}{\varepsilon + \alpha_1} \right)}}$$

unde:

$$(5.23) \quad N_1 = \alpha_1 \frac{\beta_2 \beta_0}{\alpha_0 \beta_0} + \alpha_1(\beta_2 + \beta_0) + \beta_2 \beta_0(2 + \alpha_1); \quad \alpha_1 = \frac{X_{(1)S}}{X_{(1)C}}; \quad \alpha_0 = \frac{X_{(0)S}}{X_{(0)C}}; \quad \beta_0 = \frac{X_{(0)C}}{X_{(1)C}}; \quad \beta_2 = \frac{X_{(2)C}}{X_{(1)C}}; \quad \varepsilon = \frac{E_{(0)S}}{E_{(1)C}}$$

Semnificația mărimilor care intervin în relațiile (5.20), ..., (5.23) este următoarea : I_{po}^{FN} , I_{po}^{2F} , I_{po}^{2FN} , I_{po}^{3F} = valoarea efectivă inițială a componentei periodice a curentului de scurtcircuit monofazat, bifazat, bifazat cu punere la pământ, respectiv trifazat debitat de consumatorul format din motoare asincrone spre locul de scurtcircuit ; $X_{(1)S}$, $X_{(1)C}$ = reactanța echivalentă de succesiune directă a rețelei de alimentare, respectiv a consumatorului ; $X_{(2)C}$ = reactanța echivalentă de succesiune inversă a consumatorului ; $X_{(0)S}$, $X_{(0)C}$ = reactanța echivalentă de succesiune homopolară a rețelei de alimentare, respectiv a consumatorului ; $E_{(1)S}$, $E_{(1)C}$ = tensiunea electromotoare echivalentă de succesiune directă a rețelei de alimentare, respectiv a consumatorului. Toate valorile reactanțelor, respectiv ale tensiunilor electromotoare de mai sus sînt cele pentru momentul inițial al scurtcircuitului și se determină față de locul de scurtcircuit.



La deducerea expresiilor (5.20), (5.21), (5.22) s-au admis următoarele ipoteze de calcul ;

- s-au neglijat valorile rezistențelor în raport cu cele ale reactanțelor atît în schema de succesiune directă, cît și în cea de succesiune inversă și homopolară, avînd în vedere valorile foarte mici ale rezistențelor în raport cu cele ale reactanțelor ;

- s-a avut în vedere că pentru rețeaua de alimentare reactanța de succesiune directă este practic egală cu cea de succesiune inversă [$X_{(1)S} = X_{(2)S}$];

- s-a presupus că tensiunea electromotoare echivalentă de succesiune directă a consumatorului este în fază cu tensiunea electromotoare echivalentă de succesiune di-

Din (5.20), (5.21), (5.22) se constată că rapoartele k_{3F}^{FN} ,

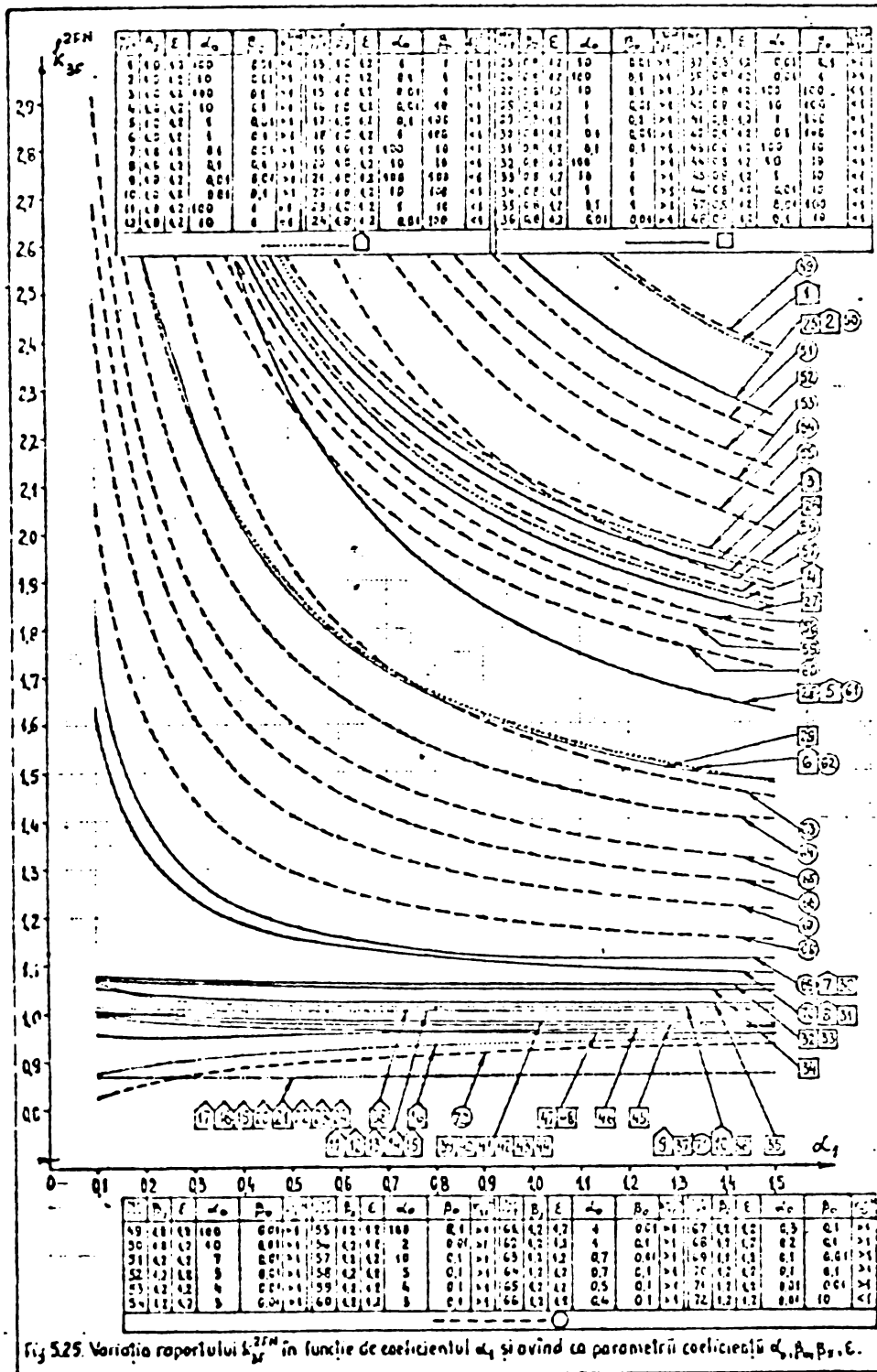


Fig. 5.25. Variatia raportului k_{3F}^{2F} in functie de coeficientul α_1 si avind ca parametrii coeficientii $\alpha_0, \beta_2, \beta_0, \epsilon$.

k_{3F}^{2F}, k_{3F}^{2F} prezintă o dependență complexă în raport cu coeficienții $\alpha_1, \alpha_0, \beta_2, \beta_0, \epsilon$. Aceste rapoarte au fost calculate de către autor pentru o gamă largă a valorilor coeficienților respectivi pentru cazurile unor rețele de alimentare având tensiunea nominală de 6 kV, care față de punctul de scurtcircuit prezintă o putere de scurtcircuit simetrică cuprinsă între 200 MVA și 500 MVA și care alimentează consumatori având puteri cuprinse între 100 MVA și fiind formați din motoare asincrone. Pentru cazurile considerate s-a putut stabili că limitele între care variază coeficienții $\alpha_1, \alpha_0, \beta_2, \beta_0, \epsilon$ sînt : $\alpha_1 = 0 \dots 1,5$; $\alpha_0 = 0 \dots 100$; $\beta_0 = 0 \dots 100$; $\beta_2 = 0,8 \dots 1,25$; $\epsilon = 1,1 \dots 1,5$.

Se precizează că în

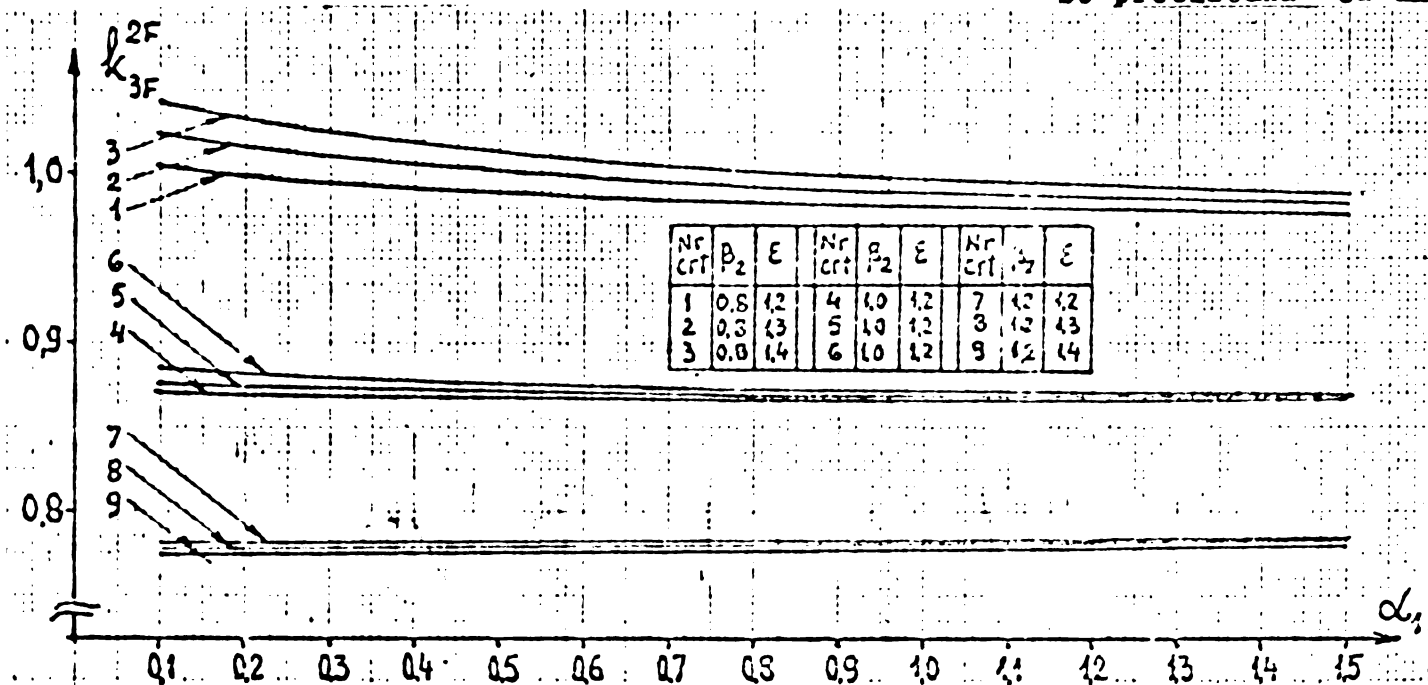


Fig. 5.26. Variatia raportului k_{3F}^{2F} in functie de coeficientul α_1 avind ca parametrii coeficientii β_2, ϵ .

practică majoritatea rețelelor de 6 kV care alimentează consumatori formați din motoare asincrone se încadrează în limitele stabilite mai sus pentru acești coeficienți.

Curbele din figurile 5.24, 5.25, 5.26 reprezintă, pentru câteva din cazurile considerate, variația rapoartelor k_{3F}^{FN} , k_{3F}^{2FN} , k_{3F}^{2F} în funcție de coeficientul α_1 , și având ca parametrii ceilalți coeficienți.

Analiza amănunțită a relațiilor (5.20), (5.21), (5.22) și a diagramelor din figurile 5.24, 5.25, 5.26 conduce la concluziile de mai jos.

- Dacă între reactanțele echivalente de succesiune ale consumatorului format din motoare asincrone și cele ale rețelei sale de alimentare există relația :

$$(5.24) \quad \beta_0 < 1 + (1 - \beta_2) \left(\frac{\alpha_1}{\beta_2 + \alpha_1} \right) \left(\frac{1 + \alpha_0}{\alpha_0} \right)$$

atunci $k_{3F}^{FN} > 1$, adică curentul de scurtcircuit FN provenit de la consumator este mai mare decât curentul de scurtcircuit 3F provenit de la același consumator, evident dacă scurtcircuitul are loc în același punct. Se observă că relația (5.24) este o legătură complexă între coeficientul β_0 și ceilalți coeficienți. În orice caz se observă că, pentru a avea $k_{3F}^{FN} > 1$, valoarea lui β_0 nu depinde de valoarea lui ε .

- Dacă există însă simultan relațiile de legătură $\beta_0 < 1$; $\beta_2 < 1$; $[(X_{(0)C} < X_{(1)C})$; $[X_{(2)C} < X_{(1)C}]$ numai între reactanțele echivalente de succesiune ale consumatorului, atunci indiferent de valorile celorlalți coeficienți ($\alpha_1, \alpha_0, \varepsilon$) rezultă $k_{3F}^{FN} > 1$, adică curentul de scurtcircuit FN provenit de la consumator este mai mare decât curentul de scurtcircuit 3F. În aceste condiții cu cât parametrul ε este mai mare, la aceleași valori ale parametrilor $\beta_0, \beta_2, \alpha_1, \alpha_0$, cu atât și raportul k_{3F}^{FN} este mai mare.

- Dacă între reactanțele echivalente de succesiune ale consumatorului și cele ale rețelei există relația :

$$(5.25) \quad \beta_0 < \frac{\alpha_1 + 2\beta_2 + \alpha_1\beta_2}{2\alpha_1 + \beta_2 + 1}$$

atunci odată cu creșterea coeficientului α_0 , deci odată cu scăderea lui $X_{(0)C}$, crește și raportul k_{3F}^{FN} .

- Cu cât coeficientul β_2 este mai mic, deci cu cât reactanța de succesiune inversă $X_{(2)C}$ a consumatorului este mai mică în comparație cu cea de succesiune directă $X_{(1)C}$, cu atât raportul k_{3F}^{FN} este mai mare.

- Se obține $k_{3F}^{2FN} > 1$, adică curentul de scurtcircuit 2FN provenit de la consumator este mai mare decât cel 3F, dacă între reactanțele de secvență și tensiunile electromotoare echivalente ale consumatorului și ale rețelei sale de alimentare există relația:

$$(5.26) \quad \frac{2\beta_0\beta_2 - (\beta_0 + \beta_2)}{(\beta_0\beta_2 + \beta_0 - 2\beta_2)^2 + 3(\beta_0 - \beta_0\beta_2)^2} < \frac{\alpha_0(\varepsilon + \alpha_1)}{\alpha_1\beta_2(1 + \alpha_0) + \alpha_0\beta_0(\alpha_1 + \beta_2) + \alpha_0\beta_0\beta_2(1 + \alpha_1)}$$

- Dacă există însă următoarea relație de legătură numai între reactanțele echivalente de succesiune ale consumatorului, :

$$(5.27) \quad \beta_0 \leq \beta_2 / (2\beta_2 - 1)$$

atunci, indiferent de valorile celorlalte coeficienți ($\alpha_0, \alpha_1, \varepsilon$), rezultă $k_{3F}^{2FN} > 1$, adică curentul de scurtcircuit 2FN este mai mare decât curentul de scurtcircuit 3F, provenit de la consumator. În aceste condiții curentul de scurtcircuit 2FN este mai mare și decât curentul de scurtcircuit FN.

- Dacă între reactanțele de secvență și tensiunile electromotoare echivalente ale consumatorului și cele ale rețelei sale de alimentare există relația de legătură :

$$(5.28) \quad \beta_2 < \frac{\sqrt{(\varepsilon + 2\alpha_1 - 2)^2 + 4(4 + \alpha_1 - \varepsilon)(\varepsilon + 2\alpha_1)^1} - (\varepsilon + 2\alpha_1 - 2)}{2(4 + \alpha_1 - \varepsilon)}$$

atunci $k_{3F}^{2F} > 1$, adică curentul de scurtcircuit 2F provenit de la consumator este mai mare decât cel 3F.

5.2. Factorii care influențează contribuția la valorile curenților de scurtcircuit a consumatorului permanent conectat.

În cazul în care, în timpul scurtcircuitului, consumatorul format din motoare asincrone este un consumator permanent conectat la celelalte curse (consumatorul C din fig. 5.27), comportarea acestuia în timpul scurtcircuitelor în rețeaua sa de alimentare depinde, pe lângă factorii analizați în cap. 5.1 și de valoarea tensiunii remanente în punctul de racord al consumatorului la rețea.

Autorul a întreprins o analiză amănunțită a comportării consumatorului permanent conectat, în cazul scurtcircuitului trifazat în punctul K, luând în considerare schema de conexiuni din fig. 5.27 și schema echivalentă de calcul din figura 5.28. În schemă, prin S a fost notată rețeaua de alimentare a consumatorului permanent conectat C, prin Z_3 impedanța echivalentă față de bara BC1 a rețelei de alimentare, prin Z_C impedanța echivalentă față de bara BC1 a consumatorului permanent conectat C, inclusiv a elementelor de legătură dintre acesta și bara BC1, prin Z_K impedanța echivalentă a elementelor de legătură dintre bara BC1 la care este racordat consumatorul permanent conectat și bara BC2 pe care apare accidentul de scurtcircuit. Toți parametrii schemei echivalente de calcul din figura 5.28 sînt de succesiune directă și corespund momentului inițial al scurtcircuitului în punctul K. Pentru momentul inițial al scurtcircuitului în punctul K au fost stabilite următoarele expresii analitice pentru rapoartele :

$$(5.29) \quad \frac{I_C}{I_{C0}} = \frac{1 + \lambda_1(1-\varepsilon)}{\alpha_1\lambda_1 + \lambda_1 + 1}; \quad (5.30) \quad \frac{U_r}{E_{(1)C}} = \frac{\lambda_1(\varepsilon + \alpha_1)}{\alpha_1\lambda_1 + \lambda_1 + 1};$$

$$(5.31) \quad \frac{I_K}{I_S} = \frac{\varepsilon + \alpha_1}{\varepsilon + \alpha_1\lambda_1(\varepsilon - 1)}; \quad (5.32) \quad \frac{I_C}{I_S} = \frac{\alpha_1 + \alpha_1\lambda_1(1-\varepsilon)}{\varepsilon + \alpha_1\lambda_1(\varepsilon - 1)};$$

unde semnificația curenților și tensiunilor este următoarea : I_C, I_S, I_K = curenții debitați de către consumatorul permanent conectat la momentul inițial $t=0$ al scurtcircuitului trifazat spre punctul de scurtcircuit K de pe bara BC2, respectiv curenții debitați de rețeaua de alimentare, respectiv curenții totali la locul de scurtcircuit ; I_{C0} = curenții debitați de consumatorul permanent conectat spre locul de scurtcircuit, la momentul inițial al scurtcircuitului, dacă scurtcircu-

itul are loc pe bara BC1; U_p = tensiunea rezanantă pe bara BC1 la momentul inițial al scurtcircuitului, dacă scurtcircuitul are loc în punctul K de pe bara BC2; $E_{(1)C}$ = tensiunea electromotoare echivalentă de secvență directă a consumatorului permanent conectat la momentul inițial al scurtcircuitului în K.

Coefficientii care intervin în relațiile (5.29),..., (5.32) sînt definiți după cum urmează :

$$(5.33) \quad \alpha_1 = \frac{X_{(1)S}}{X_{(1)C}}; \quad \lambda_1 = \frac{X_{(1)K}}{X_{(1)S}}; \quad \varepsilon = \frac{E_{(1)S}}{E_{(1)C}}$$

unde: $X_{(1)S}$, $X_{(1)C}$, $X_{(1)K}$ = reactanța echivalentă de secvență directă a rețelei față de bara BC1, respectiv a consumatorului permanent conectat față de bara BC1 respectiv a elementelor de legătură între bara BC1 și bara BC2, reactanțe corespunzătoare momentului inițial al scurtcircuitului; $E_{(1)S}$, $E_{(1)C}$ = tensiunea electromotoare echivalentă de secvență directă a rețelei de alimentare, respectiv a consumatorului permanent conectat, corespunzătoare momentului inițial al scurtcircuitului în punctul K.

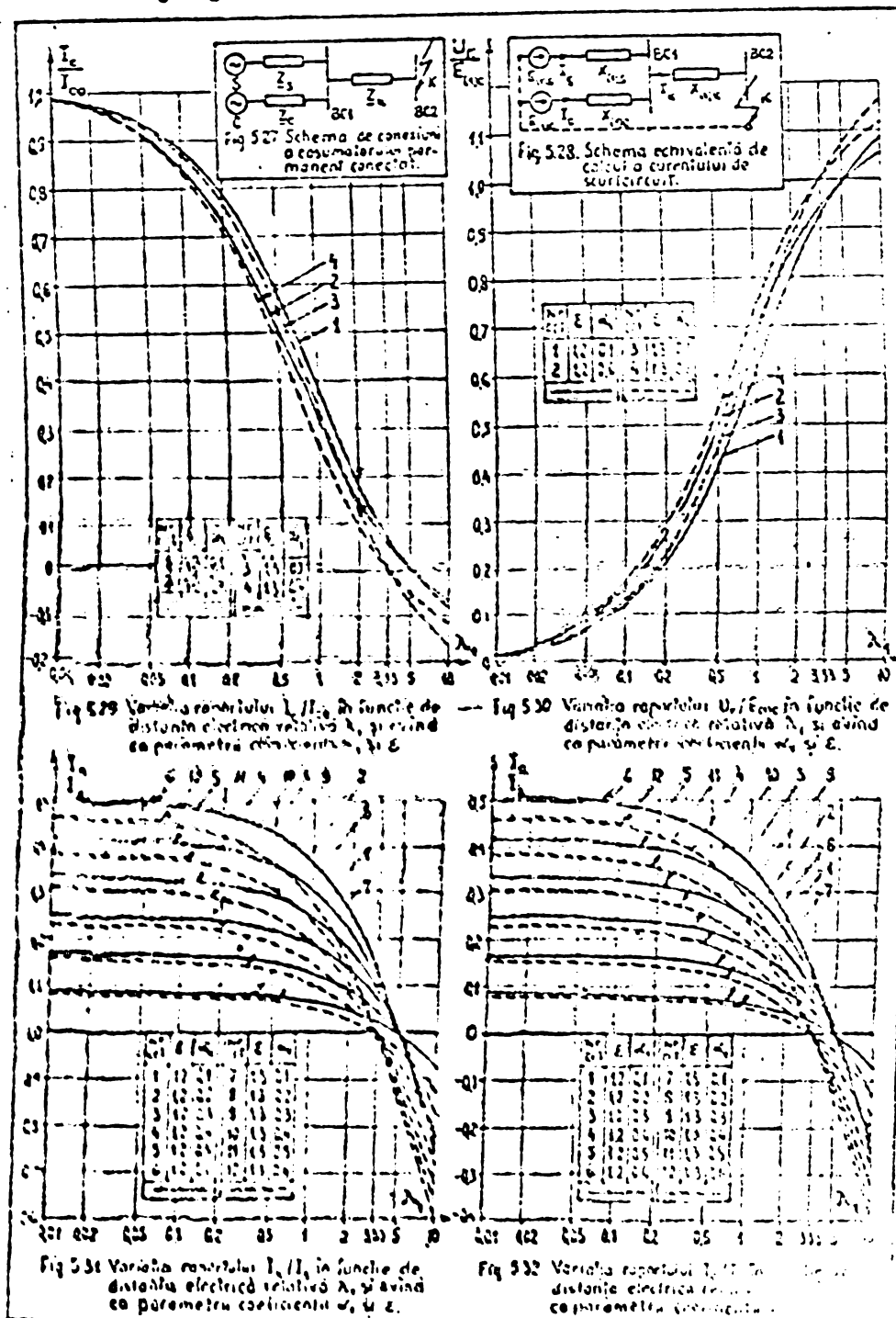
La deducerea expresiilor (5.29),..., (5.32) s-au admis următoarele ipoteze simplificatoare : avînd în vedere valorile mult mai mici ale rezistențelor față de cele ale reactanțelor, s-au neglijat rezistențele tuturor elementelor în raport cu reactanțele acestora; tensiunile electromotoare echivalente ale rețelei și consumatorului s-au presupus ca fiind în fază.

În figurile 5.29, 5.30, 5.31, 5.32 a fost reprezentată variația rapoartelor date de relațiile (5.29),..., (5.32) în funcție de distanța electrică relativă λ_1 și avînd ca parametrii coeficientii α_1 și ε , pentru situațiile cînd rețeaua de alimentare are tensiunea nominală la bara BC1 6 kV și puteri de scurtcircuit față de această bară cuprinse între 250 MVA și 500 MVA, iar consumatorul permanent conectat are puteri nominale aparente cuprinse între 10 MVA și 30 MVA.

Analiza amănunțită a relațiilor (5.29),..., (5.32) și a diagramelor din figurile 5.29, 5.30, 5.31, 5.32 conduce la concluziile de mai jos :

- Raportul I_C/I_S indică cît reprezintă contribuția consumatorului permanent conectat la curentul de scurtcircuit din punctul K față de contribuția rețelei sale de alimentare. Din caracterul curbelor I_C/I_S (fig. 5.32) rezultă că cea mai mare contribuție a consumatorului permanent conectat în raport cu contribuția rețelei de alimentare se obține pentru $\lambda_1 = 0$, adică dacă scurtcircuitul are loc în punctul de racord al consumatorului la rețea. În această situație contribuția consumatorului poate să reprezinte pînă la 50 % din contribuția rețelei de alimentare. Pe măsură ce λ_1 crește, deci pe măsură ce crește distanța electrică dintre punctul de racord al consumatorului permanent conectat și locul în care se produce scurtcircuitul, scade procentual contribuția consumatorului față de contribuția rețelei. De asemenea se constată că de la valorile coeficientului λ_1 superioare valorii $\lambda_1 = 1/(\varepsilon - 1)$, valorile raportului I_C/I_S devin negative. Aceasta semnifică faptul că pînă la aceste valori ale lui λ_1 , consumatorul permanent conectat se comportă ca o sursă la scurtcircuit în punctul K, iar peste aceste valori consumatorul permanent conectat rîndine tot în regim de

consumator la scurtcircuit în punctul K. Valorile coeficientului λ_1 de la care raportul I_C/I_S devine negativ nu depind decât de coeficientul ϵ , și sînt cuprinse între 2,5 și 10. Pînă la aceste valori ale lui λ_1 , raportul I_C/I_S crește odată, cu creșterea coeficientului α_1 , la aceleași valori ale coeficienților λ_1 și ϵ ; după aceste valori ale lui λ_1 , raportul I_C/I_S scade odată cu creșterea coeficientului α_1 , la aceleași valori ale coeficienților λ_1 și ϵ . Se mai constată că raportul I_C/I_S scade odată cu creșterea coeficientului ϵ la aceleași valori ale coeficienților λ_1 și α_1 .



între 2,5 și 10. Pînă la aceste valori ale lui λ_1 , raportul I_C/I_S crește odată, cu creșterea coeficientului α_1 , la aceleași valori ale coeficienților λ_1 și ϵ ; după aceste valori ale lui λ_1 , raportul I_C/I_S scade odată cu creșterea coeficientului α_1 , la aceleași valori ale coeficienților λ_1 și ϵ . Se mai constată că raportul I_C/I_S scade odată cu creșterea coeficientului ϵ la aceleași valori ale coeficienților λ_1 și α_1 .

- Raportul I_K/I_S (fig. 5.31) furnizează informații asupra contribuției consumatorului permanent conectat la valoarea curenților total de scurtcircuit din punctul K. Astfel dacă acest raport este supraunitar, prezența consumatorului permanent conectat conduce la mărirea

curenților total de scurtcircuit în punctul K; dacă este subunitar prezența consumatorului conduce la micșorarea curenților total de scurtcircuit în punctul K, față de situația cînd nu ar exista consumator sau cînd acesta nu ar fi luat în considerare la calculul curenților de scurtcircuit. Se constată că valorile coeficientului λ_1 pentru care $I_K/I_S = 1$, coincid cu valorile lui λ_1 pentru care $I_C/I_S = 0$ [$\lambda_1 = 1/(\epsilon - 1)$], de unde rezultă că dacă consumatorul permanent conectat rămîne în regia de consumator în timpul scurtcircuitului în punctul K, prezența lui conduce la micșorarea curenților total de scurtcircuit în K, față de situația cînd nu ar fi luat în considerare la calculul curenților de scurtcircuit. Raportul I_K/I_S scade odată cu creșterea distanței electrice relative λ_1 dintre punctul de resort al consumatorului la rețea și punctul de scurtcircuit. Prezența acest raport scade odată cu creșterea coeficientului ϵ .

- Raportul I_C/I_{C0} (fig.5.29) permite să se facă o comparație între contribuția consumatorului permanent conectat și cea a consumatorului complet separat, deoarece valoarea I_{C0} se obține pentru $\lambda_1 = 0$ ($X_{(1)K} = 0$), situație în care are loc un scurtcircuit în punctul de racord al consumatorului la rețea, iar consumatorul devine complet separat în timpul scurtcircuitului. Deoarece raportul I_C/I_{C0} este subunitar pentru orice valoare a coeficientului $\lambda_1 \neq 0$, rezultă că întotdeauna consumatorul complet separat are o contribuție valorică mai mare la curentul total de scurtcircuit decât consumatorul permanent conectat. Pentru valorile coeficientului λ_1 superioare valorii $\lambda_1 = 1/(\varepsilon - 1)$, acest raport devine negativ, ceea ce semnifică faptul că pentru aceste valori consumatorul permanent conectat funcționează în regim de consumator la scurtcircuit în punctul K. Se constată că valorile coeficientului λ_1 de la care raportul I_C/I_{C0} devine negativ coincid cu valorile lui λ_1 de la care și raportul I_C/I_S devine negativ, respectiv cu valorile de la care raportul I_K/I_S devine subunitar. Se mai constată că raportul I_C/I_{C0} scade odată cu creșterea coeficientului λ_1 , adică cu distanța electrică dintre punctul de racord al consumatorului la rețea și locul de scurtcircuit și odată cu creșterea coeficienților ε și α_1 .

- Raportul $U_r/E_{(1)C}$ (fig.5.30) furnizează informații asupra tensiunii remanente în punctul de racord al consumatorului permanent conectat la rețea, când scurtcircuitul se produce în punctul K. De la valori ale coeficientului λ_1 superioare valorii $\lambda_1 = 1/(\varepsilon - 1)$ acest raport devine supraunitar și consumatorul permanent conectat funcționează în regim de consumator la scurtcircuit în punctul K, iar pentru valori ale lui λ_1 inferioare valorii $\lambda_1 = 1/(\varepsilon - 1)$, raportul este subunitar și consumatorul funcționează în regim de sursă la scurtcircuit în K. Se constată că tensiunea remanentă în punctul de racord al consumatorului la rețea este cu atât mai mare cu cât coeficienții λ_1 și ε sînt mai mari și ca urmare cu cât tensiunea remanentă este mai mare cu atât contribuția consumatorului permanent conectat la valoarea curentului de scurtcircuit total în punctul K este mai mică.

5.3. Tabele cu datele rezultate din calculele referitoare la factorii care influențează asupra contribuției motoarelor asincrone la curentii de scurtcircuit și cu cele rezultate din prelucrarea oscilogramelor referitoare la acești factori.

În tabelul 5.3 sînt prezentate datele rezultate în urma calculelor necesare pentru a scoate în evidență influența puterii nominale și a numărului perechilor de poli asupra contribuției la valoarea curentului de scurtcircuit a setului de 50 de motoare asincrone din seria unitară MIP-2.

În tabelul 5.4 sînt prezentate datele rezultate în urma calculelor necesare pentru a scoate în evidență influența cablului de alimentare al motorului asincron asupra curentului debitat de motorul respectiv.

În tabelul 5.5 sînt prezentate datele rezultate din prelucrarea oscilogramelor curentilor de scurtcircuit proveniți de la motoare asincrone, oscilograme obținute în urma încercărilor efectuate pentru a stabili influența interacțiunii dintre aceste motoare racordate la bară comună asupra curentilor de scurtcircuit proveniți de la motoarele respective.

Influenta puterii nominale și a numărului de perechi de poli asupra caracteristicilor la vultarea curentului de scurtcircuit pentru motoarele electrice trifazice conectate cu rotor bobinat de 600V, 50 Hz, din seria unitară KIP-2.

Taboulul 5.3.

Nr. crt.	Tip	P		I		cos φ		τ _m		I _m		U ₁		I ₁	QD ²
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
1	2														
1	26277	KIP2-400V-100-4	2	200	24,6	0,86	90,0	1470	3,6	490	251	24,3			24,3
2	26278	KIP2-400V-110-4	2	250	30,5	0,87	91,0	1473	3,8	555	271	27,0			27,0
3	26279	KIP2-450V-110-4	2	315	39,1	0,88	90,3	1473	3,5	565	343	45,0			45,0
4	26280	KIP2-450V-110-4	2	400	47,7	0,89	91,0	1431	3,6	670	368	52,0			52,0
5	26281	KIP2-450V-110-4	2	500	59,5	0,90	91,6	1479	3,9	820	371	60,0			60,0
6	26282	KIP2-500V-120-4	2	630	72,5	0,91	92,2	1435	3,2	825	470	64,0			64,0
7	26283	KIP2-500V-120-4	2	800	91,0	0,91	92,6	1436	3,5	1050	49	130,0			130,0
8	26284	KIP2-500V-130-4	2	1000	110,0	0,92	94,5	1435	3,7	1410	422	320,0			320,0
9	26285	KIP2-4-630V-150-4	2	1400	151,0	0,94	95,0	1435	2,4	1235	680	510,0			510,0
10	26286	KIP2-A-630V-150-4	2	1600	172,0	0,94	95,2	1435	2,5	1415	707	605,0			605,0
11	26287	KIP2-A-630V-150-4	2	1800	191,0	0,95	95,4	1437	2,6	1570	716	645,0			645,0
12	26288	KIP2-A-630V-150-4	2	2000	210,0	0,95	95,6	1438	2,7	1770	707	690,0			690,0
13	26289	KIP2-400V-100-5	3	200	26,8	0,79	90,5	931	3,5	530	232	39,0			39,0
14	26290	KIP2-450V-110-5	3	250	32,4	0,82	90,8	933	3,0	500	305	64,0			64,0
15	26291	KIP2-450V-110-5	3	315	40,0	0,83	91,3	934	3,3	620	309	81,0			81,0
16	26292	KIP2-450V-110-5	3	400	50,0	0,84	91,7	935	3,4	755	343	96,0			96,0
17	26293	KIP2-500V-120-5	3	500	61,5	0,85	92,4	937	3,0	755	421	117,0			117,0
18	26294	KIP2-500V-120-5	3	630	73,0	0,86	93,3	939	3,3	930	416	140,0			140,0
19	26295	KIP2-500V-130-5	3	800	92,0	0,89	94,9	939	3,3	1330	360	400,0			400,0
20	26296	KIP2-500V-130-5	3	1000	114,0	0,89	95,0	939	3,5	1530	365	547,0			547,0
21	26297	KIP2-A-630V-150-5	3	1400	154,0	0,92	95,3	991	2,5	1370	633	745,0			745,0
22	26298	KIP2-A-630V-150-5	3	1600	173,0	0,93	95,5	991	2,5	1500	652	810,0			810,0
23	26299	KIP2-A-630V-150-5	3	1800	191,0	0,93	95,6	991	2,6	1675	670	840,0			840,0
24	26300	KIP2-A-630V-150-5	3	2000	220,0	0,91	96,0	990	2,6	1820	650	950,0			950,0
25	26301	KIP2-400V-100-6	4	132	18,1	0,78	90,0	732	3,1	405	200	40,5			40,5
26	26302	KIP2-450V-110-6	4	160	21,4	0,79	91,0	735	3,2	430	205	43,0			43,0
27	26303	KIP2-450V-110-6	4	200	27,4	0,77	91,0	737	3,2	522	235	93,0			93,0
28	26304	KIP2-450V-110-6	4	250	33,5	0,78	91,5	739	3,3	605	255	110,0			110,0
29	26305	KIP2-450V-110-6	4	315	41,5	0,79	92,7	739	3,4	735	252	110,0			110,0
30	26306	KIP2-500V-120-6	4	400	51,5	0,80	93,5	741	2,7	690	352	195,0			195,0
31	26307	KIP2-500V-120-6	4	500	63,5	0,81	94,0	741	2,9	850	358	210,0			210,0
32	26308	KIP2-500V-130-6	4	630	77,5	0,83	93,5	739	2,7	1110	340	555,0			555,0
33	26309	KIP2-500V-130-6	4	800	91,5	0,83	94,1	741	2,8	1350	350	700,0			700,0
34	26310	KIP2-A-630V-150-6	4	1250	147,0	0,86	93,0	742	2,8	1210	545	825,0			825,0
35	26311	KIP2-A-630V-150-6	4	1400	166,0	0,86	93,5	743	2,0	1310	667	945,0			945,0
36	26312	KIP2-450V-110-10	5	160	21,8	0,73	92,4	591	2,9	470	202	190,0			190,0
37	26313	KIP2-450V-110-10	5	200	27,7	0,75	92,7	591	2,9	560	210	210,0			210,0
38	26314	KIP2-500V-120-10	5	250	34,0	0,76	93,0	591	2,9	600	265	235,0			235,0
39	26315	KIP2-500V-120-10	5	315	42,0	0,78	93,2	592	2,9	712	273	345,0			345,0
40	26316	KIP2-500V-120-10	5	400	51,5	0,80	93,3	592	3,0	805	275	420,0			420,0
41	26317	KIP2-500V-130-10	5	500	62,0	0,83	93,8	592	2,7	976	303	652,0			652,0
42	26318	KIP2-500V-130-10	5	630	75,0	0,85	94,0	593	3,0	1230	285	853,0			853,0
43	26319	KIP2-630V-150-10	5	1100	121,0	0,84	94,5	592	2,0	1300	482	1130,0			1130,0
44	26320	KIP2-450V-110-12	6	132	19,7	0,70	91,0	493	2,5	435	180	160,0			160,0
45	26321	KIP2-450V-110-12	6	160	24,0	0,70	92,0	492	2,2	495	204	195,0			195,0
46	26322	KIP2-500V-120-12	6	200	30,0	0,70	92,0	493	2,0	515	190	212,0			212,0
47	26323	KIP2-500V-120-12	6	250	36,7	0,71	92,2	492	2,0	710	207	253,0			253,0
48	26324	KIP2-500V-120-12	6	315	45,5	0,72	92,5	492	2,1	840	234	305,0			305,0
49	26325	KIP2-500V-130-12	6	400	50,5	0,82	93,0	492	2,5	930	213	672,0			672,0
50	26326	KIP2-500V-130-12	6	500	61,5	0,83	93,3	492	2,0	1210	246	813,0			813,0

Taboulul 5.3. (continuare)

Nr. crt.	Tip	P		I		cos φ		τ _m		I _m		U ₁		I ₁	QD ²
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
14	1														
15	2														
16	3														
17	4														
18	5														
19	6														
20	7														
21	8														
22	9														
23	10														
24	11														
25	12														
26	13														
27	14														
28	15														
29	16														
30	17														
31	18														
32	19														
33	20														
34	21														
35	22														
36	23														
37	24														
38	25														
39	26														
40	27														
41	28														
42	29														
43	30														
44	31														
45	32														
46	33														
47	34														
48	35														
49	36														
50	37														

Tabelul 5.4. (continuară)

MRP-560L-130-3; 630 kV; 6 kV; 739 rot/min
 $X_m=120,92103 \Omega$; $X_{sc}=4,4377607 \Omega$; $X_{10}=4,9719597 \Omega$; $R_0=0,5430709 \Omega$; $R_1=0,4328214 \Omega$
 CALUL ACȚIUNII 3x50 mm²; $R_0=0,650 \Omega/\text{km}$; $X_0=0,104 \Omega/\text{km}$.

Mr nr	l (m)	R _c (Ω)	X _c (Ω)	R _x ² , R ₀ ² , R ₁ ² (Ω^2)	X _x ² , X ₀ ² , X ₁ ² , X ₂ ² (Ω^2)	I ₀ (A)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)
1	0	0,0000	0,0000	0,5430709	125,35379	61,0000	9,2133378	54,0016	830
2	50	0,0325	0,0052	0,555739	125,36339	61,0319	9,2185373	53,9112	830
3	100	0,0650	0,0104	0,568409	125,36919	61,0638	9,2237368	53,8236	830
4	150	0,0975	0,0156	0,581079	125,37499	61,0957	9,2289363	53,7397	830
5	200	0,1300	0,0208	0,593749	125,37959	61,1276	9,2341358	53,6700	830
6	250	0,1625	0,0260	0,606419	125,38419	61,1595	9,2393353	53,6019	830
7	300	0,1950	0,0312	0,619089	125,38909	61,1913	9,2445348	53,5360	830
8	350	0,2275	0,0364	0,631759	125,39359	61,2232	9,2497343	53,4723	830
9	400	0,2600	0,0416	0,644429	125,40039	61,2551	9,2549338	53,4103	830
10	450	0,2925	0,0468	0,657099	125,40559	61,2870	9,2601333	53,3503	830
11	500	0,3250	0,0520	0,669769	125,41079	61,3188	9,2653328	53,2923	830
12	550	0,3575	0,0572	0,682439	125,41599	61,3507	9,2705323	53,2363	830
13	600	0,3900	0,0624	0,695109	125,42119	61,3826	9,2757318	53,1823	830
14	650	0,4225	0,0676	0,707779	125,42539	61,4144	9,2809313	53,1303	830
15	700	0,4550	0,0728	0,720449	125,43059	61,4463	9,2861308	53,0803	830
16	750	0,4875	0,0780	0,733119	125,43579	61,4782	9,2913303	53,0323	830
17	800	0,5200	0,0832	0,745789	125,44119	61,5100	9,2965298	52,9863	830
18	850	0,5525	0,0884	0,758459	125,44719	61,5419	9,3017293	52,9423	830
19	900	0,5850	0,0936	0,771129	125,45239	61,5737	9,3069288	52,8983	830
20	950	0,6175	0,0988	0,783799	125,45759	61,6056	9,3121283	52,8563	830
21	1000	0,6500	0,1040	0,796469	125,46279	61,6374	9,3173278	52,8163	830

MRP-560L-130-3; 630 kV; 6 kV; 739 rot/min
 $X_m=120,92103 \Omega$; $X_{sc}=4,4377607 \Omega$; $X_{10}=4,9719597 \Omega$; $R_0=0,5430709 \Omega$; $R_1=0,4328214 \Omega$
 CALUL ACȚIUNII 3x70 mm²; $R_0=0,457 \Omega/\text{km}$; $X_0=0,099 \Omega/\text{km}$.

Mr nr	l (m)	R _c (Ω)	X _c (Ω)	R _x ² , R ₀ ² , R ₁ ² (Ω^2)	X _x ² , X ₀ ² , X ₁ ² , X ₂ ² (Ω^2)	I ₀ (A)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)
1	0	0,0000	0,0000	0,5430709	125,35379	61,0000	9,2133373	54,0016	830
2	50	0,0228	0,0049	0,555739	125,36339	61,0301	9,2185370	53,9132	830
3	100	0,0457	0,0099	0,568409	125,36819	61,0607	9,2237365	53,8256	830
4	150	0,0685	0,0148	0,581079	125,37359	61,0906	9,2289360	53,7380	830
5	200	0,0914	0,0197	0,6344739	125,37959	61,1214	9,2341355	53,6524	830
6	250	0,1142	0,0247	0,6572789	125,38599	61,1521	9,2393350	53,5688	830
7	300	0,1371	0,0297	0,6801739	125,39299	61,1828	9,2445345	53,4872	830
8	350	0,1600	0,0346	0,7029789	125,40039	61,2122	9,2497340	53,4076	830
9	400	0,1828	0,0395	0,7257839	125,40839	61,2428	9,2549335	53,3300	830
10	450	0,2056	0,0445	0,7485889	125,41739	61,2729	9,2601330	53,2544	830
11	500	0,2285	0,0494	0,7713939	125,42739	61,3035	9,2653325	53,1808	830
12	550	0,2513	0,0544	0,7941989	125,43839	61,3342	9,2705320	53,1092	830
13	600	0,2742	0,0593	0,8169939	125,45039	61,3648	9,2757315	53,0396	830
14	650	0,2970	0,0643	0,8407989	125,46339	61,3954	9,2809310	52,9720	830
15	700	0,3199	0,0693	0,8646039	125,47739	61,4260	9,2861305	52,9064	830
16	750	0,3427	0,0742	0,8884089	125,49239	61,4566	9,2913300	52,8428	830
17	800	0,3656	0,0792	0,9122139	125,50839	61,4872	9,2965295	52,7812	830
18	850	0,3884	0,0841	0,9360189	125,52539	61,5178	9,3017290	52,7216	830
19	900	0,4113	0,0891	0,9598239	125,54339	61,5484	9,3069285	52,6640	830
20	950	0,4341	0,0940	0,9836289	125,56239	61,5789	9,3121280	52,6084	830
21	1000	0,4570	0,0990	1,0074339	125,58239	61,6095	9,3173275	52,5548	830

Tabelul 5.4. (continuară)

MRP-450V-110-4; 400 kV; 6 kV; 1431 rot/min
 $X_m=179,91172 \Omega$; $X_{sc}=5,4553333 \Omega$; $X_{10}=5,9553333 \Omega$; $R_0=1,2366613 \Omega$; $R_1=0,9133759 \Omega$
 CALUL ACȚIUNII 3x35 mm²; $R_0=0,906 \Omega/\text{km}$; $X_0=0,110 \Omega/\text{km}$.

Mr nr	l (m)	l ₀ (m)	k ₀	k ₁	k ₂	I ₀ (A)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	I ₄ (A)	I ₅ (A)	I ₆ (A)	I ₇ (A)	I ₈ (A)	I ₉ (A)	I ₁₀ (A)	I ₁₁ (A)	I ₁₂ (A)	I ₁₃ (A)	I ₁₄ (A)	I ₁₅ (A)	I ₁₆ (A)	I ₁₇ (A)	I ₁₈ (A)	I ₁₉ (A)	I ₂₀ (A)	I ₂₁ (A)	
1	0	-621,51479	1,5107356	25,551055	0,537373	0,6318343	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000
2	50	-617,32991	1,5015223	24,576133	0,5235637	0,6153141	0,9333450	0,9333450	0,9333450	0,9333450	0,9333450	0,9333450	0,9333450	0,9333450	0,9333450	0,9333450	0,9333450	0,9333450	0,9333450	0,9333450	0,9333450	0,9333450	0,9333450	0,9333450	0,9333450	0,9333450	0,9333450	0,9333450
3	100	-613,14503	1,4923090	24,551533	0,5121318	0,6043915	0,8733551	0,8733551	0,8733551	0,8733551	0,8733551	0,8733551	0,8733551	0,8733551	0,8733551	0,8733551	0,8733551	0,8733551	0,8733551	0,8733551	0,8733551	0,8733551	0,8733551	0,8733551	0,8733551	0,8733551	0,8733551	0,8733551
4	150	-609,06023	1,4830957	24,526933	0,5009393	0,5932693	0,8133751	0,8133751	0,8133751	0,8133751	0,8133751	0,8133751	0,8133751	0,8133751	0,8133751	0,8133751	0,8133751	0,8133751	0,8133751	0,8133751	0,8133751	0,8133751	0,8133751	0,8133751	0,8133751	0,8133751	0,8133751	0,8133751
5	200	-605,07553	1,4738824	24,502333	0,4895470	0,5821470	0,7533589	0,7533589	0,7533589	0,7533589	0,7533589	0,7533589	0,7533589	0,7533589	0,7533589	0,7533589	0,7533589	0,7533589	0,7533589	0,7533589	0,7533589	0,7533589	0,7533589	0,7533589	0,7533589	0,7533589	0,7533589	0,7533589
6	250	-601,09083	1,4646691	24,477733	0,4781549	0,5710311	0,6933505	0,6933505	0,6933505	0,6933505	0,6933505	0,6933505	0,6933505	0,6933505	0,6933505	0,6933505	0,6933505	0,6933505	0,6933505	0,6933505	0,6933505	0,6933505	0,6933505	0,6933505	0,6933505	0,6933505	0,6933505	0,6933505
7	300	-597,10613	1,4554558	24,453133	0,4667628	0,5599150	0,6133439	0,6133439	0,6133439	0,6133439	0,6133439	0,6133439	0,6133439	0,6133439	0,6133439	0,6133439	0,6133439	0,6133439	0,6133439	0,6133439	0,6133439	0,6133439	0,6133439	0,6133439	0,6133439	0,6133439	0,6133439	0,6133439
8	350	-593,12143	1,4462425	24,428533	0,4553707	0,5488000	0,5333368	0,5333368	0,5333368	0,5333368	0,5333368	0,5333368	0,5333368	0,5333368	0,5333368	0,5333368	0,5333368	0,5333368	0,5333368	0,5333368	0,5333368	0,5333368	0,5333368	0,5333368	0,5333368	0,5333368	0,5333368	0,5333368
9	400	-589,13673	1,4370292	24,403933	0,4439756	0,5376849	0,4933296	0,4933296	0,4933296	0,4933296	0,4933296	0,4933296	0,4933296	0,4933296	0,4933296	0,4933296	0,4933296	0,4933296	0,4933296	0,4933296	0,4933296	0,4933296	0,4933296	0,4933296	0,4933296	0,4933296	0,4933296	0,4933296
10	450	-585,15243	1,4278159	24,379333	0,4325805	0,5265690	0,4533225	0,4533225	0,4533225	0,4533225	0,4533225	0,4533225	0,4533225	0,4533225	0,4533225	0,4533225	0,4533225	0,4533225	0,4533225	0,4533225	0,4533225	0,4533225	0,4533225	0,4533225	0,4533225	0,4533225	0,4533225	0,4533225
11	500	-581,16813	1,4186026	24,354733	0,4211854	0,5154531	0,4133154	0,4133154	0,4133154	0,4133154	0,4133154	0,4133154	0,4133154	0,4133154	0,4133154	0,4133154	0,4133154	0,4133154	0,4133154	0,4133154	0,4133154	0,4133154	0,4133154	0,4133154	0,4133154	0,4133154	0,4133154	0,4133154
12	550	-577,18383	1,4093893	24,330133	0,4097903	0,5043372	0,3933079	0,3933079	0,3933079	0,3933079	0,3933079	0,3933079	0,3933079	0,3933079	0,3933079	0,3933079	0,3933079	0,3933079	0,3933079	0,3933079	0,3933079	0,3933079	0,3933079	0,3933079	0,3933079	0,3933079	0,3933079	0,3933079
13	600	-573,19953	1,4001760	24,305533	0,3983952	0,4932213	0,3733006	0,3733006	0,3733006	0,3733006	0,3733006	0,3733006	0,3733006	0,3733006	0,3733006	0,3733006	0,3733006	0,3733006	0,3733006	0,3733006	0,3733006	0,3733006	0,3733006	0,3733006	0,3733006	0,3733006	0,3733006	0,3733006
14	650	-569,21523	1,3909627	24,280933	0,3870001	0,4821054	0,3533000	0,3533000	0,3533000	0,3533000	0,3533000	0,3533000	0,3533000	0,3533000	0,3533000	0,3533000	0,3533000	0,3533000	0,3533000	0,3533000	0,3533000	0,3533000	0,3533000	0,3533000	0,3533000	0,3533000	0,3533000	0,3533000
15	700	-565,23093	1,3817494	24,2																								

Tabelul 5.4. (continuare)

MIP2-550L-130-3; 630 kV; 739 rot/min
 $X_m=120,92103 \Omega$; $X_{sc}=4,4377607 \Omega$; $X_{10}=1,9719337 \Omega$; $R_0=0,5430703 \Omega$; $R_1=0,4323214 \Omega$
 CALEUL ACTIVITATII 3x50 MVA²; $R_c=0,650 \Omega/km$; $X_c=0,104 \Omega/km$.

Nr crt	l (m)	ψ_{sc}		ψ_{10}		μ_{01}	k_{gr}	I_{01} (A)	k_{sc}	k_{10}	I_{sc}		I_{10}	$I_{sc}(0)$ $I_{sc}(0)(\cos)$	$I_{10}(0)$ $I_{10}(0)(\cos)$
		(A)	(%)	(A)	(%)						25	26			
1	0	-959,85094	1,745416	107,29192	1,461146	0,3032921	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000
2	50	-354,51223	1,735630	100,77955	1,3711504	0,2304336	0,9993553	0,9993553	0,9993553	0,9993553	0,9993553	0,9993553	0,9993553	0,9993553	0,9993553
3	100	-849,21975	1,726047	95,151533	1,2945737	0,2735033	0,9977139	0,9977139	0,9977139	0,9977139	0,9977139	0,9977139	0,9977139	0,9977139	0,9977139
4	150	-843,97341	1,7155130	93,97761	1,2297323	0,2593973	0,9990810	0,9990810	0,9990810	0,9990810	0,9990810	0,9990810	0,9990810	0,9990810	0,9990810
5	200	-839,77149	1,707073	88,33581	1,1752632	0,2456319	0,997915	0,997915	0,997915	0,997915	0,997915	0,997915	0,997915	0,997915	0,997915
6	250	-833,61452	1,697742	83,03532	1,1297356	0,2391537	0,9967107	0,9967107	0,9967107	0,9967107	0,9967107	0,9967107	0,9967107	0,9967107	0,9967107
7	300	-828,50193	1,688503	80,24937	1,0919359	0,2312959	0,9960183	0,9960183	0,9960183	0,9960183	0,9960183	0,9960183	0,9960183	0,9960183	0,9960183
8	350	-823,43291	1,679333	77,94453	1,0504705	0,2243102	0,9953154	0,9953154	0,9953154	0,9953154	0,9953154	0,9953154	0,9953154	0,9953154	0,9953154
9	400	-818,40725	1,670307	76,04553	1,0145331	0,2194905	0,9945669	0,9945669	0,9945669	0,9945669	0,9945669	0,9945669	0,9945669	0,9945669	0,9945669
10	450	-813,42463	1,661351	74,43757	0,9834564	0,2151507	0,993752	0,993752	0,993752	0,993752	0,993752	0,993752	0,993752	0,993752	0,993752
11	500	-808,43341	1,652434	73,21327	0,9561024	0,2116276	0,9931355	0,9931355	0,9931355	0,9931355	0,9931355	0,9931355	0,9931355	0,9931355	0,9931355
12	550	-803,53521	1,643471	72,17521	0,9319757	0,2087835	0,9923763	0,9923763	0,9923763	0,9923763	0,9923763	0,9923763	0,9923763	0,9923763	0,9923763
13	600	-798,50014	1,634474	71,32013	0,9073423	0,2064920	0,9915163	0,9915163	0,9915163	0,9915163	0,9915163	0,9915163	0,9915163	0,9915163	0,9915163
14	650	-793,41116	1,625425	70,64551	0,8816113	0,2046439	0,9906329	0,9906329	0,9906329	0,9906329	0,9906329	0,9906329	0,9906329	0,9906329	0,9906329
15	700	-788,27151	1,616341	70,09043	0,8536122	0,2032256	0,9896829	0,9896829	0,9896829	0,9896829	0,9896829	0,9896829	0,9896829	0,9896829	0,9896829
16	750	-783,09001	1,607211	69,54133	0,8235011	0,2020344	0,9886903	0,9886903	0,9886903	0,9886903	0,9886903	0,9886903	0,9886903	0,9886903	0,9886903
17	800	-777,87351	1,598031	69,09151	0,7912535	0,2010192	0,9876593	0,9876593	0,9876593	0,9876593	0,9876593	0,9876593	0,9876593	0,9876593	0,9876593
18	850	-772,62631	1,588801	68,74325	0,7568594	0,2000000	0,9865903	0,9865903	0,9865903	0,9865903	0,9865903	0,9865903	0,9865903	0,9865903	0,9865903
19	900	-767,34751	1,579521	68,49373	0,7203194	0,1999753	0,9854857	0,9854857	0,9854857	0,9854857	0,9854857	0,9854857	0,9854857	0,9854857	0,9854857
20	950	-762,03011	1,570191	68,24323	0,6816113	0,1999375	0,9843421	0,9843421	0,9843421	0,9843421	0,9843421	0,9843421	0,9843421	0,9843421	0,9843421
21	1000	-756,67301	1,560821	68,09151	0,6403333	0,1998931	0,9831573	0,9831573	0,9831573	0,9831573	0,9831573	0,9831573	0,9831573	0,9831573	0,9831573

MIP2-550L-130-3; 630 kV; 739 rot/min

$X_m=120,92103 \Omega$; $X_{sc}=4,4377607 \Omega$; $X_{10}=1,9719337 \Omega$; $R_0=0,5430703 \Omega$; $R_1=0,4323214 \Omega$
 CALEUL ACTIVITATII 3x70 MVA²; $R_c=0,457 \Omega/km$; $X_c=0,093 \Omega/km$.

1	0	-859,85004	1,745416	107,39192	1,461146	0,3032921	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000
2	50	-855,00052	1,735625	102,55452	1,3966502	0,2943353	0,9994102	0,9994102	0,9994102	0,9994102	0,9994102	0,9994102	0,9994102	0,9994102	0,9994102
3	100	-852,15153	1,731357	99,40215	1,3333054	0,2823235	0,9983032	0,9983032	0,9983032	0,9983032	0,9983032	0,9983032	0,9983032	0,9983032	0,9983032
4	150	-843,35079	1,725173	94,623615	1,2747773	0,2721443	0,9973202	0,9973202	0,9973202	0,9973202	0,9973202	0,9973202	0,9973202	0,9973202	0,9973202
5	200	-844,34934	1,715507	91,25191	1,2241657	0,2625210	0,9965347	0,9965347	0,9965347	0,9965347	0,9965347	0,9965347	0,9965347	0,9965347	0,9965347
6	250	-840,34912	1,711922	88,29121	1,2012411	0,2542233	0,9960734	0,9960734	0,9960734	0,9960734	0,9960734	0,9960734	0,9960734	0,9960734	0,9960734
7	300	-837,04702	1,703359	85,65531	1,1653354	0,2487959	0,9957959	0,9957959	0,9957959	0,9957959	0,9957959	0,9957959	0,9957959	0,9957959	0,9957959
8	350	-833,34195	1,693713	83,343670	1,1353275	0,2402410	0,9957230	0,9957230	0,9957230	0,9957230	0,9957230	0,9957230	0,9957230	0,9957230	0,9957230
9	400	-829,60451	1,682331	81,302651	1,1061721	0,2345531	0,9956339	0,9956339	0,9956339	0,9956339	0,9956339	0,9956339	0,9956339	0,9956339	0,9956339
10	450	-825,93031	1,670501	79,523051	1,0819454	0,2295322	0,995514	0,995514	0,995514	0,995514	0,995514	0,995514	0,995514	0,995514	0,995514
11	500	-822,32354	1,658149	77,99371	1,0505764	0,2251963	0,9953821	0,9953821	0,9953821	0,9953821	0,9953821	0,9953821	0,9953821	0,9953821	0,9953821
12	550	-818,71761	1,645354	76,60193	1,0121935	0,2214164	0,9952352	0,9952352	0,9952352	0,9952352	0,9952352	0,9952352	0,9952352	0,9952352	0,9952352
13	600	-815,10315	1,632105	75,44317	0,9765352	0,2181312	0,9950735	0,9950735	0,9950735	0,9950735	0,9950735	0,9950735	0,9950735	0,9950735	0,9950735
14	650	-811,52438	1,618430	74,33332	0,943352	0,2152773	0,9948944	0,9948944	0,9948944	0,9948944	0,9948944	0,9948944	0,9948944	0,9948944	0,9948944
15	700	-807,99213	1,604701	73,49132	0,9123810	0,2128511	0,9947055	0,9947055	0,9947055	0,9947055	0,9947055	0,9947055	0,9947055	0,9947055	0,9947055
16	750	-804,44714	1,590191	72,71891	0,8833730	0,2107500	0,9945054	0,9945054	0,9945054	0,9945054	0,9945054	0,9945054	0,9945054	0,9945054	0,9945054
17	800	-800,92653	1,574903	72,04844	0,8564144	0,2090259	0,9942954	0,9942954	0,9942954	0,9942954	0,9942954	0,9942954	0,9942954	0,9942954	0,9942954
18	850	-797,44333	1,558856	71,47015	0,83145	0,2076200	0,9940711	0,9940711	0,9940711	0,9940711	0,9940711	0,9940711	0,9940711	0,9940711	0,9940711
19	900	-793,97141	1,542045	70,97010	0,808445	0,2064101	0,9938331	0,9938331	0,9938331	0,9938331	0,9938331	0,9938331	0,9938331	0,9938331	0,9938331
20	950	-790,53523	1,524354	70,54165	0,787165	0,2053725	0,9935825	0,9935825	0,9935825	0,9935825	0,9935825	0,9935825	0,9935825	0,9935825	0,9935825
21	1000	-787,10212	1,505833	70,16950	0,76813	0,2044702	0,9933179	0,9933179	0,9933179	0,9933179	0,9933179	0,9933179	0,9933179	0,9933179	0,9933179

MIP2-550L-130-3; 630 kV; 739 rot/min

$X_m=120,92103 \Omega$; $X_{sc}=4,4377607 \Omega$; $X_{10}=1,9719337 \Omega$; $R_0=0,5430703 \Omega$; $R_1=0,4323214 \Omega$
 CALEUL ACTIVITATII 3x70 MVA²; $R_c=0,457 \Omega/km$; $X_c=0,093 \Omega/km$.

1	0	-3747211	0,9997704	93,403319	-531,57323	343,34470	-532,39063	343,34470	-532,39063	343,34470	-532,39063	343,34470	-532,39063	343,34470	-532,39063
2	50	-0,5162255	0,9997524	93,263185	-531,23546	343,13224	-532,50063	343,13224	-532,50063	343,13224	-532,50063	343,13224	-532,50063	343,13224	-532,50063
3	100	-0,6531873	0,9997340	93,121937	-530,94725	342,92780	-532,27917	342,92780	-532,27917	342,92780	-532,27917	342,92780	-532,27917	342,92780	-532,27917
4	150	-0,7993750	0,9997156	92,98027	-530,70379	342,71353	-531,96790	342,71353	-531,96790	342,71353	-531,96790	342,71353	-531,96790	342,71353	-531,96790
5	200	-0,9410134	0,9996971	92,83832	-530,50227	342,50335	-531,64510	342,50335	-531,64510	342,50335	-531,64510	342,50335	-531,64510	342,50335	-531,64510
6	250	-1,0318077	0,9996787	92,69542	-530,30222	342,29039	-531,32264	342,29039	-531,32264	342,29039	-531,32264	342,29039	-531,32264	342,29039	-531,32264
7	300	-1,1223160	0,9996603	92,55256	-530,10222	342,07745	-531,00016	342,07745	-531,00016	342,07745	-531,00016	342,07745	-531,00016	342,07745	-531,00016
8	350	-1,2133251	0,9996419	92,40971	-529,90222	341,86466	-529,67764	341,86466	-529,67764	341,86466	-529,67764	341,86466	-529,67764	341,86466	-529,67764
9	400	-1,3046926	0,9996235	92,26686	-529,70222	341,65272	-529,35522	341,65272	-529,35522	341,65272	-529,35522	341,65272	-529,35522	341,65272	-529,35522
10	450	-1,3960301	0,9996051	92,12401	-529,50222	341,44078	-529,03278	341,44078	-529,03278	341,44078	-529,03278	341,44078	-529,03278	341,44078	-529,03278
11	500	-1,4873676	0,9995867	91,98116											

Tabulul 5.5. (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	20,60	143,7	7,50	167,0050	20,60	153,4700	155,0076	3,5741013
12	19,35	135,7	0,00	154,9600	19,25	143,4125	144,5430	3,3510002
14	18,25	127,7	3,40	144,5100	17,00	134,1000	135,2701	3,1390711
16	17,25	120,7	13,10	134,0450	16,75	124,7075	126,7367	2,9302412
18	16,40	114,7	17,00	124,1600	15,60	116,2260	117,6700	2,7517113
20	15,60	109,7	15,00	114,4550	14,90	111,0050	112,0347	2,6151506
22	14,75	103,7	14,00	110,2600	13,90	102,0100	105,3704	2,4431510
24	13,90	96,7	13,15	104,3000	13,10	97,5950	99,4523	2,3090029
26	13,20	92,7	12,45	97,9075	12,50	93,1750	94,4535	2,1037040
28	12,55	87,7	11,75	92,5375	11,75	87,5375	89,5342	2,0712003
30	11,90	83,7	11,00	87,375	11,10	82,0950	84,4712	1,9243651
32	11,25	78,7	10,50	81,9300	10,60	76,6700	79,0525	1,7512057
34	10,60	74,7	10,00	78,2250	10,10	75,2450	75,0547	1,7516016
35	10,20	71,7	10,00	74,5000	9,60	71,5200	71,4393	1,6734211
36	9,75	67,7	9,50	70,7750	9,20	67,5400	67,1528	1,6032970
40	9,30	65,7	9,10	67,7150	9,00	67,0500	65,6173	1,5444449
42	8,90	61,7	8,70	64,6150	8,40	62,5800	62,9690	1,4591625
44	8,50	57,7	8,30	62,5300	8,00	59,6000	60,5317	1,4033593
46	8,10	53,7	8,00	59,6000	7,75	57,7375	57,9855	1,3443259
48	7,75	54,7	7,75	57,7375	7,50	55,8750	55,5783	1,2965329
50	7,50	50,7	7,60	55,6200	7,25	54,0125	54,3525	1,2500011
52	7,20	50,7	7,25	54,0125	7,00	52,1500	52,1635	1,2100347
54	6,80	47,7	7,00	52,1500	6,80	50,6500	50,1140	1,1618344
56	6,55	45,7	6,70	49,9160	6,50	49,4250	49,0415	1,1137859
58	6,40	44,7	6,25	47,3650	6,25	46,5825	46,5625	1,0797752
60	6,05	42,7	6,25	46,5825	6,00	44,7000	44,5173	1,0320022
62	5,80	40,7	6,10	45,4350	5,75	42,8375	42,9415	0,9935434
64	5,55	38,7	5,90	43,9950	5,50	40,9750	41,2415	0,9551359
66	5,40	37,7	5,60	41,7460	5,25	39,1125	39,5262	0,9163579
68	5,20	36,7	5,50	40,9750	5,20	38,7400	38,6977	0,8969282
70	5,00	34,7	5,30	39,9500	5,00	37,2500	37,2233	0,8690953
72	4,75	33,7	5,10	37,9350	4,80	35,7600	35,5525	0,8265615
74	4,50	32,7	5,00	37,2300	4,60	34,2700	34,5530	0,8011069
76	4,50	31,7	4,90	35,5050	4,55	33,0975	33,9525	0,7971490
78	4,40	30,7	4,70	35,0150	4,45	31,1975	32,9745	0,7647592
80	4,20	28,7	4,55	33,5975	4,25	29,6625	31,5392	0,7335200
82	4,10	28,7	4,50	33,5975	4,10	30,5450	30,5097	0,7169044
84	3,90	27,7	4,20	31,2300	4,00	29,8000	29,4503	0,6827715
86	3,80	26,7	4,00	29,8000	3,80	28,3100	28,2240	0,6543404
88	3,70	25,7	3,75	27,9375	3,75	27,9375	27,2460	0,6316566
90	3,60	25,7	3,50	26,0750	3,50	26,0750	25,7713	0,5974782
92	3,50	24,7	3,40	25,3300	3,40	25,3300	25,0417	0,5805617
94	3,45	24,7	3,25	24,2125	3,25	24,2125	24,1802	0,5505333
96	3,40	23,7	3,20	23,1660	3,20	23,1660	23,8153	0,5521306
98	3,30	23,7	3,10	23,0950	3,05	22,7225	22,9615	0,5323355
100	3,20	22,7	3,00	22,3590	3,00	22,3500	22,3556	0,5182977

Tabulul 5.5. (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
109	0,40	121,3300	0,50	124,7375	9,30	127,9750	124,6642	0,7732530
110	0,30	119,3350	0,40	123,2700	9,20	126,5000	123,2750	0,7643036
111	0,20	118,4300	0,30	120,3350	9,10	125,1250	121,3167	0,7524338
113	1,00	115,6000	0,80	117,4000	8,60	121,0000	118,0000	0,7319175
115	7,50	112,7100	7,00	114,4550	8,70	119,6250	115,6250	0,7170311
117	7,70	111,2650	7,60	111,5300	8,50	116,3750	113,2233	0,7022194
119	7,60	107,5200	7,40	109,5950	8,30	114,1250	110,3457	0,6875476
120	7,50	104,7750	7,30	107,1275	8,00	110,6000	106,5303	0,6729971
CONSPECTUL SIJIGUR LA BANI								
CONSPECTUL SIJIGUR LA BANI								
10	21,40	157,0225	22,50	167,8200	22,20	160,3000	164,5032	3,1139524
12	20,00	149,5360	21,05	155,8225	20,75	154,5475	153,6653	3,5525501
14	18,90	139,5000	20,00	143,0000	19,40	144,5300	144,4433	3,3407435
16	17,75	124,0725	17,75	132,2375	17,00	124,3450	135,6720	3,1453764
18	16,60	116,0310	16,70	125,6350	15,90	118,4550	120,1313	2,7351041
20	15,75	110,0325	16,00	119,5000	15,00	111,7500	113,6303	2,6355571
22	14,60	104,0540	15,00	111,7500	14,00	104,3000	106,0347	2,6382136
24	13,50	96,4620	14,00	104,3000	13,20	93,3400	93,7007	2,3114432
26	13,00	90,5700	13,50	100,5750	12,40	92,3400	94,6033	2,1933334
28	12,40	86,6760	12,30	93,8700	11,60	85,4200	88,9306	2,0509390
30	11,60	81,0150	12,10	90,1450	11,00	81,3500	84,3530	1,9565829
32	11,10	77,5370	11,20	84,1850	10,40	77,4300	79,7513	1,8259413
34	10,60	74,0940	10,30	80,4500	9,80	73,0100	75,8547	1,7533016
36	10,10	70,5930	10,30	76,7350	9,40	70,0300	72,4355	1,6797765
38	9,75	67,1525	9,30	73,7550	9,00	67,0300	69,6525	1,6143116
40	9,30	65,0070	9,50	70,7750	8,50	63,2250	65,3330	1,5503975
42	8,60	61,5120	8,50	66,3050	8,10	60,3450	62,7203	1,4941052
44	8,50	59,4150	8,50	63,3250	7,75	57,7375	60,1532	1,3947199
46	8,29	57,6875	8,25	61,4625	7,50	55,8750	58,3350	1,3524397
50	7,60	53,1210	7,50	59,1100	7,20	53,5400	55,6570	1,2703424
52	7,40	51,7290	7,25	55,3750	7,10	52,5950	54,9646	1,2511076
54	7,15	49,9785	7,03	52,1500	6,75	50,7675	52,6037	1,2057600
56	6,90	48,2110	6,60	49,1700	6,50	48,4250	50,1845	1,1636519
60	6,60	46,1340	6,20	46,4200	6,30	46,0300	48,1129	1,1052000
62	6,20	44,7350	6,25	45,5325	5,60	43,2100	44,8132	1,0391740
64	5,90	43,3330	6,05	43,0725	5,60	41,7200	43,3763	1,0056611
66	5,60	39,1440	5,65	42,0425	5,50	40,9750	41,8037	0,9692350
68	5,40	37,7460	5,50	40,5750	5,25	39,1125	40,1164	0,9300502
70	5,10	35,6450	5,25	39,1125	4,90	36,5050	37,0438	0,8530612
72	5,00	34,9500	5,10	37,9950	4,75	35,2375	35,1103	0,8371974
74	4,75	33,2025	5,00	37,2500	4,65	34,6425	35,0317	0,8121632
76	4,55	31,8045	4,75	35,2375	4,60	34,2700	33,8207	0,7840925
78	4,45	31,1055	4,60	34,2700	4,50	33,5250	32,9668	0,7642374
80	4,25	29,7075	4,50	33,5250	4,40	32,7000	32,0042	0,7419791
82	4,10	28,6990	4,40	32,8000	4,25	31,6625	31,0333	0,7194331
84	4,00	27,9500	4,25	31,6625	4,20	31,2900	30,3042	0,7025656
86	3,90	27,2610	4,05	30,1725	4,10	30,5450	29,3852	0,6790228
88	3,75	26,2125	3,70	27,0550	4,00	29,0000	27,3559	0,6573960
90	3,60	25,1640	3,75	27,9375	3,80	29,0550	27,3355	0,6343007
92	3,55	24,8145	3,40	25,3300	3,80	20,3100	26,1515	0,6090919
94	3,50	24,4650	3,25	24,2125	3,75	27,9375	25,5203	0,5920764
96	3,45	24,1155	3,10	23,6950	3,60	26,3200	24,6763	0,5721035
98	3,30	23,0670	3,00	22,3500	3,50	26,0750	23,8207	0,5524151
100	3,25	22,7175	2,90	21,6050	3,45	25,7025	23,3417	0,5411477
CONSPECTUL SIJIGUR LA BANI								
CONSPECTUL SIJIGUR LA BANI								
10	21,60	150,0340	24,00	173,9000	21,90	163,1550	164,3130	3,30074055

În lucrare a fost abordată problematica de actualitate a contribuției consumatorilor formați din motoare asincrone la valorile curenților de scurtcircuit din rețeaua lor de alimentare, precum și comportarea acestor consumatori în timpul scurtcircuitelor. Evaluarea cât mai precisă a valorii curenților de scurtcircuit are o importanță deosebită, atât pentru dimensionarea instalațiilor, cât și pentru exploatarea ulterioară a acestora din punct de vedere al reglajului corect al protecțiilor lor. Din punct de vedere al dimensionării corecte și economice a unei instalații electrice este necesară predeterminarea cât mai exactă a efectelor electrodinamice și termice ale curenților de scurtcircuit, care pot să apară în instalația respectivă. Ori consumatorul format din motoare asincrone, așa după cum s-a dovedit în cadrul lucrării, poate avea o influență cantitativă apreciabilă atât asupra efectului electrodinamic al curentului de scurtcircuit prin intermediul curentului de șoc, cât și asupra puterii de scurtcircuit la care sînt solicitate întreruptoarele din instalația respectivă. Pe de altă parte rezultatele obținute în lucrare conduc la elucidarea unor aspecte legate de comportarea marilor consumatori formați din motoare asincrone în regimuri tranzitorii, contribuind astfel la îmbogățirea volumului de date necesare pentru adoptarea unor măsuri de creștere a siguranței în funcționare a sistemului energetic și în alimentarea consumatorilor.

Principalele contribuții originale aduse de autor în lucrare constau în următoarele :

- A) În capitolul 1 a fost întreprins un studiu bibliografic amănunțit privind problematica influenței consumatorilor formați din motoare asincrone asupra curenților de scurtcircuit din rețeaua lor de alimentare, după care a fost efectuată o analiză critică a principalelor metode propuse în literatură pentru determinarea curenților de scurtcircuit proveniți de la consumatori, evidențiindu-se neajunsurile metodelor respective. Analiza detaliată a acestor metode a condus la concluzia necesității de a împărți consumatorii în două grupe, din punct de vedere al poziției acestora în timpul scurtcircuitului în raport cu sursele de alimentare și în raport cu punctul de scurtcircuit. Astfel, sub acest aspect, consumatorii au fost clasificați în consumatori complet separați și consumatori permanent conectați.

- B) În capitolul 2 au fost stabilite criteriile de clasificare ale motoarelor asincrone care alcătuiesc consumatorul, din punct de vedere al comportării lor în timpul scurtcircuitelor. Sub acest aspect motoarele asincrone au fost clasificate de către autor în motoare asincrone de categoria I, respectiv motoare asincrone de categoria II. În categoria I au fost incluse motoarele asincrone cu două colivii rotorice și cele cu o colivie rotoricească cu bare înalte. În categoria II au fost incluse motoarele asincrone cu o singură colivie rotoricească, care nu prezintă pronunțat efec-

tul pelicular și motoarele asincrone cu rotor bobinat. Au fost stabilite apoi modelele matematice și schemele echivalente corespunzătoare acestor modele pentru cele două categorii de motoare, modele și scheme pe care ulterior autorul le-a folosit pentru analiza comportării motoarelor în timpul scurtcircuitelor. Modelele matematice stabilite au un pronunțat caracter de generalizare, în sensul că pot fi aplicate oricărui tip constructiv de motor asincron. Trebuie scoase în evidență avantajele pe care le prezintă modelele matematice cu ecuațiile în sistemul de coordonate D, Q, O cu mărimile rotorice reduse la stator și raportate la axele D, Q , modele stabilite de către autor și care, după informațiile autorului nu sînt semnalate în literatura de specialitate. Astfel numărul parametrilor necesari acestor modele este mai mic decît cel necesar pentru alte tipuri de modele, iar valorile acestor parametrii se pot determina experimental pe baza măsurărilor la bornele statorului.

Tot în cadrul capitolului 2 a fost stabilită metodologia de înlocuire a motorului asincron cu o colivie rotorică cu bare înalte printr-un motor asincron echivalent cu două colivii rotorice, ceea ce a permis folosirea modelelor matematice ale motoarelor cu două colivii rotorice și pentru motoarele cu o colivie rotorică cu bare înalte.

- C) În capitolul 3 a fost întreprins un studiu analitic amănunțit al comportării motorului asincron de categoria I, respectiv de categoria II în timpul scurtcircuitului la bornele sale. Astfel :

- au fost stabilite parametrii operaționali și parametrii tranzitării ai celor două categorii de motoare ;

- a fost stabilită expresia analitică a curentului de scurtcircuit provenit de la cele două categorii de motoare ;

- a fost stabilită expresia analitică a curentului de șoc maxim provenit de la cele două categorii de motoare, precum și condițiile în care apare curentul de șoc maxim ;

- au fost stabilite relații pentru calculul parametrilor tranzitorii ai celor două categorii de motoare din datele experimentale obținute în urma încercării de scurtcircuit direct ;

- a fost stabilită expresia analitică a tensiunii reziduale de la bornele motorului de categoria I, respectiv de categoria II ;

- a fost stabilită o metodă originală de încercare, folosită pentru determinarea parametrilor tranzitorii ai motoarelor asincrone și denumită metoda scurtcircuitului indirect, care prezintă față de metoda scurtcircuitului direct avantajul că în timpul încercării nu este solicitată sursa de putere care alimentează motorul supus încercării ;

- a fost stabilită expresia analitică a curentului de scurtcircuit indirect ;

- au fost stabilite relații pentru determinarea parametrilor tranzitorii ai celor două categorii de motoare din datele obținute experimental

în urma încercării de scurtcircuit indirect ;

- a fost stabilită o metodă și relații de calcul pentru determinarea parametrilor care intervin în schema echivalentă a motorului asincron de categoria I, respectiv de categoria II, schemă corespunzătoare modelului matematic în sistemul de coordonate D, Q, O și având mărimile reduse la stator și raportate la axele D, Q, acești parametri fiind determinați în funcție de parametrii tranzitorii obținuți experimental în urma încercării de scurtcircuit direct sau indirect și a încercării de deconectare ;

- a fost stabilită o metodă de determinare a caracteristicilor de frecvență a motorului asincron de categoria I, respectiv de categoria II în funcție de parametrii tranzitorii obținuți experimental în urma încercării de scurtcircuit direct sau indirect și a încercării de deconectare ;

- D) Capitolul 4 a fost consacrat exclusiv încercărilor experimentale și interpretării rezultatelor obținute în urma acestor încercări. Astfel :

- a fost stabilită o metodă originală pentru prelucrare a oscilogramelor curenților de scurtcircuit direct și indirect, proveniți de la cele două categorii de motoare, precum și a oscilogramelor tensiunii reziduale ;

- au fost efectuate încercări, de scurtcircuit direct și indirect și de deconectare cu motoare asincrone de categoria I și de categoria II ;

- au fost prelucrate oscilogramele obținute în urma încercărilor în concordanță cu metoda propusă și au fost determinate constantele de timp care caracterizează componentele curentului de scurtcircuit și ale tensiunii reziduale, valorile inițiale ale acestor componente; curentul de șoc și contribuția la puterea de scurtcircuit a motoarelor în momentul deconectării scurtcircuitului ;

- a fost determinat coeficientul de șoc maxim și reactanțele tranzitorii ale motoarelor supuse încercărilor ;

- a fost verificată corectitudinea metodei scurtcircuitului indirect din punct de vedere al determinării parametrilor tranzitorii ai motoarelor asincrone ;

- au fost determinați parametrii care intervin în schema echivalentă a motoarelor, corespunzătoare modelului matematic cu ecuațiile în sistemul de coordonate D, Q, O cu mărimile reduse la stator și raportate la axele D, Q ;

- au fost determinați parametrii motorului asincron cu două colivii rotorice, echivalent al motorului cu o colivie cu bare înalte, pentru toate motoarele cu o colivie cu bare înalte supuse încercărilor ;

- au fost determinate caracteristicile de frecvență ale motoarelor supuse încercărilor ;

- au fost comparați parametrii obținuți din rezultatele experimentale cu cei obținuți din datele de proiectare și din probele uzinale obișnuite de stand și a rezultat o bună coincidență între ei ;

- E) In capitolul 5 a fost întreprinsă o analiză amănunțită a factorilor care influențează asupra contribuției consumatorilor formați din motoare asincrone la valorile curenților de scurtcircuit din rețeaua lor de alimentare. Au fost analizați separat acești factori pentru consumatorul complet separat, respectiv permanent conectat. Astfel :

- au fost efectuate încercări de scurtcircuit pe barele colectoare de la care s-au alimentat grupuri de motoare, pentru a stabili dacă există sau nu interacțiuni între motoarele care compun grupul și a fost stabilit experimental inexistența acestei interacțiuni ;

- a fost analizat un set de 50 de motoare din seria unitară MIP-2 cu tensiunea nominală de 6 kV, fabricate de Uzinele Electroputere Craiova, cu puteri nominale cuprinse între 132 kW și 2000 kW și cu numere diferite de perechi de poli și a fost stabilită influența diferiților parametri ai motoarelor asupra curentului de scurtcircuit care provine de la motoare, a constantelor de timp cu care se amortizează componentele acestui curent de scurtcircuit, a coeficientului de șoc și a puterii de scurtcircuit din momentul declanșării intreruptorului ;

- a fost analizată influența elementului de legătură dintre motor și locul de scurtcircuit asupra valorii curentului de scurtcircuit provenit de la motor și a amortizării acestuia ;

- a fost analizată comportarea consumatorului permanent conectat, format din motoare asincrone, în timpul scurtcircuitelor nesimetrice din rețeaua sa de alimentare, evidențiind factorii de care depind valorile curenților de scurtcircuit nesimetrice proveniți de la acest consumator și faptul că sînt situații cînd valorile curenților de scurtcircuit nesimetrice pot fi mult superioare celor ale curenților de scurtcircuit trifazat ;

- au fost stabilite diagrame de calcul a valorii curenților de scurtcircuit nesimetrice proveniți de la consumator în momentul inițial al scurtcircuitului în funcție de valoarea curentului de scurtcircuit trifazat ;

- au fost analizați factorii care influențează comportarea în timpul scurtcircuitelor a consumatorului permanent conectat și a contribuției acestuia la valoarea curenților de scurtcircuit din rețeaua sa de alimentare.

In cadrul lucrării au fost folosite facilitățile oferite de mijloacele moderne de calcul. Astfel au fost folosite programe de calcul pentru :

- calculul timpului la care apare curentul de șoc maxim ;

- calculul curentului de șoc maxim ;

- calculul mărimilor care au rezultat din prelucrarea oscilogramelor curenților de scurtcircuit direct și indirect și ale tensiunii reziduale ;

- calculul parametrilor tranzitorii ai setului de 50 de motoare asincrone de 6 kV din seria unitară MIP-2 ;

- calculul rapoartelor dintre curentul de scurtcircuit monofazat, respectiv bifazat și bifazat cu punere la pămînt și curentul de scurtcircuit

trifazat provenit de la consumatorul format din motoare asincrone ;

- calculul curenților de scurtcircuit provenit de la consumatorul permanent conectat format din motoare asincrone.

În lucrare au fost folosite de asemenea rezultatele publicate de autor într-o serie de lucrări anterioare /28/, /29/, /30/, /31/, /32/, /33/, /34/, /35/, precum și cele obținute în cadrul unor contracte de cercetare științifică /36/, /37/, legate de tema respectivă.

Lucrarea reprezintă rodul unei activități de mai mulți ani, sub îndrumarea permanentă și generoasă a tovarășului prof. dr. ing. Novac Ioan, căruia îi aduc cele mai respectuase mulțumiri.

De asemenea exprim cele mai calde mulțumiri tovarășului prof. dr. ing. Heinrich Iuliu, pentru preocuparea și sprijinul continuu pe care mi l-a acordat atât pe parcursul întregii activități de doctorat, cât și la formarea și orientarea mea profesională.

Mulțumesc întregului colectiv al Catedrei de electroenergetică a Institutului politehnic din Timișoara care, în diferite ocazii, m-a sprijinit sub diferite forme, pentru a putea duce la bun sfârșit această lucrare.

Autorul exprimă pe această cale sincere mulțumiri conducerii Institutului de cercetări și proiectări Electroputere Craiova , Laboratorului de mare putere al respectivului institut, Atelierului de proiectări mașini electrice rotative, Fabricii de mașini electrice a Uzinelor Electroputere, precum și conducerii Termocentralei Mintia pentru sprijinul acordat la efectuarea încercărilor cu motoare asincrone și pentru punerea la dispoziție a tuturor datelor necesare, referitoare la motoarele asincrone.

Capitolul 7

A N E X E

ANEXE REFERITORE LA CAPITOLUL 2

A N E X A 2.1

Obținerea ecuațiilor modelului matematic al motorului asincron cu două colivii rotorice în sistemul natural de coordonate și a modelului MA-2C-DC.

a) Obținerea ecuațiilor modelului matematic în sistemul natural de coordonate.

- Ecuațiile tensiunilor pentru circuitele înfășurării statorice :

$$(A.2.1.1) \quad u_{\nu s} = \frac{d}{dt} \Psi_{\nu s} + R_s i_{\nu s}; \quad \nu = 1, 2, 3.$$

- Ecuațiile tensiunilor pentru circuitele înfășurării echivalente N-fazate a coliviei rotorice superioare :

$$(A.2.1.2) \quad 0 = \frac{d}{dt} \Psi_{n1} + R_{11} i_{n1}; \quad n = 1, 2, \dots, N$$

- Ecuațiile tensiunilor pentru circuitele înfășurării echivalente N-fazate a coliviei rotorice inferioare :

$$(A.2.1.3) \quad 0 = \frac{d}{dt} \Psi_{n2} + R_{22} i_{n2}; \quad n = 1, 2, \dots, N$$

Reunite sub formă matricială ecuațiile (A.2.1.1), (A.2.1.2), (A.2.1.3) constituie ecuația matricială (2.3) a modelului, în care matricile componente sînt date de relațiile (2.7).

- Înălțuirile circuitelor înfășurării statorice :

$$(A.2.1.4) \quad \Psi_{\nu s} = L_{1s} i_{\nu s} + \sum_{\lambda=1}^3 \left[L_{1s\lambda} \cos \left((\lambda - \nu) \frac{2\pi}{3} \right) \right] i_{\lambda s} + \sum_{\lambda=1}^3 \left[L_{1s\lambda h} \cos \left((\lambda - \nu) \frac{2\pi}{3} \right) \right] i_{\lambda h} + \\ + \sum_{n=1}^N \left\{ L_{1n1h} \cos \left[\tau_n + (n-1) \frac{2p\pi}{N} - (\nu-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\} i_{n1} + \sum_{n=1}^N \left\{ L_{1n2h} \cos \left[\tau_n + (n-1) \frac{2p\pi}{N} - (\nu-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\} i_{n2}; \\ n = 1, 2, 3, \dots, N$$

- Înălțuirile circuitelor înfășurării echivalente N-fazate a coliviei rotorice superioare :

$$(A.2.1.5) \quad \Psi_{n1} = \sum_{\nu=1}^3 \left\{ L_{1n\nu h} \cos \left[\tau_n + (n-1) \frac{2p\pi}{N} - (\nu-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\} i_{\nu h} + (L_{12c\sigma} + L_{12i\sigma}) (i_{n1} + i_{n2}) + \\ + L_{12m\sigma} i_{n2} + \sum_{\mu=1}^N \left\{ L_{12\sigma\mu} \cos \left[(\mu-n) \frac{2p\pi}{N} \right] \right\} (i_{\mu 1} + i_{\mu 2}) + L_{1s} i_{n1} + \\ + \sum_{\mu=1}^N \left\{ L_{11h} \cos \left[(\mu-n) \frac{2p\pi}{N} \right] \right\} i_{\mu 1} + \sum_{\mu=1}^N \left\{ L_{12h} \cos \left[(\mu-n) \frac{2p\pi}{N} \right] \right\} i_{\mu 2}; \quad n = 1, 2, \dots, N$$

- Înălțuirile circuitelor înfășurării echivalente N -fazate a coliviei rotorice inferioare :

$$(A.2.1.6) \quad \Psi_{n_2} = \sum_{\nu=1}^3 \left\{ L_{2\nu h} \cos \left[\gamma_n + (n-1) \frac{2p\pi}{N} - (\nu-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\} i_{\nu s} + (L_{12c\sigma} + L'_{12c\sigma}) (i_{n_1} + i_{n_2}) + \\ + L_{21m\sigma} i_{n_1} + \sum_{\mu=1}^N \left\{ L_{12\sigma} \cos \left[(\mu-n) \frac{2p\pi}{N} \right] \right\} (i_{\mu_1} + i_{\mu_2}) + L_{2\sigma} i_{n_2} + \\ + \sum_{\mu=1}^N \left\{ L_{22h} \cos \left[(\mu-n) \frac{2p\pi}{N} \right] \right\} i_{\mu_2} + \sum_{\mu=1}^N \left\{ L_{21h} \cos \left[(\mu-n) \frac{2p\pi}{N} \right] \right\} i_{\mu_1}; \quad n=1,2,\dots,N.$$

Reunite sub formă matricială, ecuațiile (A2.1.4), (A.2.1.5), (A.2.1.6) constituie ecuația matricială (2.4) a modelului, în care matricile componente sînt date de relația (2.7).

Cuplul electromagnetic dezvoltat de motorul asincron cu două colivii rotorice se obține din relația :

$$(A.2.1.7) \quad M = p \left(\frac{dW_m}{dt} \right)_{i=ct}$$

unde W_m este energia magnetică a motorului, fiind dată de relația :

$$(A.2.1.8) \quad W_m = \frac{1}{2} [i]_t [\Psi]$$

în care matricile $[i]_t$ și $[\Psi]$ sînt date de relația (2.7).

Avînd în vedere ecuația (2.4) a modelului rezultă :

$$(A.2.1.9) \quad W_m = \frac{1}{2} [i]_t [L] [i]$$

Introducînd relația (A.2.1.9) în (A.2.1.7), rezultă ecuația (2.5) a modelului matematic.

Ecuația (2.6) a modelului constituie ecuația mișcării.

b) Obținerea ecuațiilor modelului matematic MA-2C-DC.

Se aplică relația de transformare (2.13) ecuației (A.2.1.1) și rezultă :

$$\bar{u}_{B_0} = \left(\frac{2}{3} \sum_{\nu=1}^3 u_{\nu s} a^{\nu-1} \right) \exp[-j\gamma_0] = \left[\frac{d}{dt} \left(\frac{2}{3} \sum_{\nu=1}^3 \Psi_{\nu s} a^{\nu-1} \right) \right] \exp[-j\gamma_0] + R_s \left(\frac{2}{3} \sum_{\nu=1}^3 i_{\nu s} a^{\nu-1} \right) \exp[-j\gamma_0]$$

Avînd în vedere că :

$$\frac{d}{dt} \left\{ \left(\frac{2}{3} \sum_{\nu=1}^3 \Psi_{\nu s} a^{\nu-1} \right) \exp[-j\gamma_0] \right\} = \left[\frac{d}{dt} \left(\frac{2}{3} \sum_{\nu=1}^3 \Psi_{\nu s} a^{\nu-1} \right) \right] \exp[-j\gamma_0] - j \left\{ \left(\frac{2}{3} \sum_{\nu=1}^3 \Psi_{\nu s} a^{\nu-1} \right) \exp[-j\gamma_0] \right\} \frac{d\gamma_0}{dt}$$

adică :

$$\left[\frac{d}{dt} \left(\sum_{\nu=1}^3 \Psi_{\nu s} a^{\nu-1} \right) \right] \exp[-j\gamma_0] = \frac{d}{dt} \bar{\Psi}_{B_0} + j \bar{\Psi}_{B_0} \frac{d\gamma_0}{dt} = \left[\frac{d}{dt} + j \frac{d\gamma_0}{dt} \right] \bar{\Psi}_{B_0}$$

rezultă că ecuația pentru \bar{u}_{B_0} se poate scrie sub forma :

$$(A.2.1.10) \quad \bar{u}_{B_0} = \left[\frac{d}{dt} + j \frac{d\gamma_0}{dt} \right] \bar{\Psi}_{B_0} + R_s \bar{I}_{B_0}$$

Se aplică relația de transformare (2.14) ecuației (A.2.1,1) și rezultă :

$$u_{os} = \left(\frac{1}{3} \sum_{\nu=1}^3 \mu_{\nu s} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{3} \sum_{\nu=1}^3 \Psi_{\nu s} \right) + R_s \left(\frac{1}{3} \sum_{\nu=1}^3 i_{\nu s} \right)$$

adică:

$$(A.2.1.11) \quad u_{os} = \frac{d}{dt} \Psi_{os} + R_s \gamma_{os}$$

Se aplică relația de transformare (2.15) ecuației (A.2.1.2) și rezultă:

$$0 = \left[\frac{d}{dt} \left(\frac{2}{N} k_{\Psi} \sum_{n=1}^N \Psi_{n1} \rho^{n-1} \right) \right] \exp[-j(\gamma_D - \gamma_n)] + R_{11} k_{\Psi} k_I \left(\frac{2}{N} \frac{1}{k_I} \sum_{n=1}^N i_{n1} \rho^{n-1} \right) \exp[j(\gamma_D - \gamma_n)]$$

Dar:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left\{ \left(\frac{2}{N} k_{\Psi} \sum_{n=1}^N \Psi_{n1} \rho^{n-1} \right) \exp[-j(\gamma_D - \gamma_n)] \right\} &= \left[\frac{d}{dt} \frac{2}{N} k_{\Psi} \sum_{n=1}^N \Psi_{n1} \rho^{n-1} \right] \exp[-j(\gamma_D - \gamma_n)] - \\ &- j \left\{ \left(\frac{2}{N} k_{\Psi} \sum_{n=1}^N \Psi_{n1} \rho^{n-1} \right) \exp[-j(\gamma_D - \gamma_n)] \right\} \end{aligned}$$

adică:

$$\left[\frac{d}{dt} \left(\frac{2}{N} k_{\Psi} \sum_{n=1}^N \Psi_{n1} \rho^{n-1} \right) \right] \exp[-j(\gamma_D - \gamma_n)] = \frac{d}{dt} \bar{\Psi}_{B1} + j \bar{\Psi}_{B1} \frac{d(\gamma_D - \gamma_n)}{dt} = \left| \frac{d}{dt} + j \frac{d(\gamma_D - \gamma_n)}{dt} \right| \bar{\Psi}_{B1}$$

Dacă se notează:

$$(A.2.1.12) \quad R_1 = k_{\Psi} k_I R_{11} = k_2 R_{11}$$

atunci rezultă:

$$(A.2.1.13) \quad 0 = \left[\frac{d}{dt} + j \frac{d(\gamma_D - \gamma_n)}{dt} \right] \bar{\Psi}_{B1} + R_1 \bar{\gamma}_{B1}$$

Dacă se aplică relația de transformare (2.16) ecuației (A.2.1.2) rezultă:

$$0 = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{N} k_{\Psi} \sum_{n=1}^N \Psi_{n1} \right) + R_{11} k_{\Psi} k_I \left(\frac{1}{N} \frac{1}{k_I} \sum_{n=1}^N i_{n1} \right)$$

adică:

$$(A.2.1.14) \quad 0 = \frac{d}{dt} \Psi_{o1} + R_1 \gamma_{o1}$$

Dacă se aplică relația de transformare (2.15) ecuației (A.2.1.3), iar relația de transformare (2.16) ecuației (A.2.1.3) și procedînd analog ca în cazul ecuațiilor (A.2.1.13), respectiv (A.2.1.14) rezultă:

$$(A.2.1.15) \quad 0 = \left[\frac{d}{dt} + j \frac{d(\gamma_D - \gamma_n)}{dt} \right] \bar{\Psi}_B + R_2 \bar{\gamma}_{B2} ; \quad (A.2.1.16) \quad 0 = \frac{d}{dt} \Psi_{o2} + R_2 \gamma_{o2}$$

unde:

$$(A.2.1.17) \quad R_2 = k_{\Psi} k_I R_{22} = k_2 R_{22}$$

Reunite sub formă matricială ecuațiile (A.2.1.10), (A.2.1.11), (A.2.1.13), (A.2.1.14), (A.2.1.15), (A.2.1.16) constituie ecuația matricială (2.18) a modelului MA-2C-DC, în care matricile sînt date de relațiile (2.22).

Pentru obținerea ecuației matriciale (2.19) a modelului MA-2C-DC se au în vedere următoarele identități:

$$(A.2.1.18) \quad \sum_{\nu=1}^3 \left\{ a^{\nu-1} \sum_{\lambda=1}^3 i_{\lambda s} \cos(\lambda - \nu) \frac{2\pi}{3} \right\} = \frac{3}{2} \sum_{\lambda=1}^3 a^{\lambda-1} i_{\lambda s}$$

$$(A.2.1.19) \quad \sum_{\nu=1}^3 \left\{ a^{\nu-1} \sum_{n=1}^N i_{n1} \cos \left[\delta_n + (n-1) \frac{2p\pi}{N} - (\nu-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\} = \frac{3}{2} \exp [j\delta_n] \sum_{n=1}^N i_{n1} \rho^{n-1}$$

$$(A.2.1.20) \quad \sum_{\nu=1}^3 \left\{ \sum_{\lambda=1}^3 i_{\lambda\nu} \cos \left[(\lambda-\nu) \frac{2\pi}{3} \right] \right\} = 0$$

$$(A.2.1.21) \quad \sum_{\nu=1}^3 \left\{ \sum_{n=1}^N i_{nk} \cos \left[\delta_n + (n-1) \frac{2p\pi}{N} - (\nu-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\} = 0 ; \quad k=1,2$$

$$(A.2.1.22) \quad \sum_{n=1}^N \left\{ \rho^{n-1} \sum_{\nu=1}^3 i_{\nu n} \cos \left[\delta_n + (n-1) \frac{2p\pi}{N} - (\nu-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\} = \frac{N}{2} \exp [-j\delta_n] \sum_{\nu=1}^3 i_{\nu n} a^{\nu-1}$$

$$(A.2.1.23) \quad \sum_{n=1}^N \left\{ \rho^{n-1} \sum_{\mu=1}^N i_{\mu k} \cos \left[(\mu-n) \frac{2p\pi}{N} \right] \right\} = \frac{N}{2} \sum_{\mu=1}^N \rho^{\mu-1} i_{\mu k} ; \quad k=1,2$$

$$(A.2.1.24) \quad \sum_{n=1}^N \left\{ \sum_{\nu=1}^3 i_{\nu n} \cos \left[\delta_n + (n-1) \frac{2p\pi}{N} - (\nu-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\} = 0$$

$$(A.2.1.25) \quad \sum_{n=1}^N \left\{ \sum_{\mu=1}^N i_{\mu k} \cos \left[(\mu-n) \frac{2p\pi}{N} \right] \right\} = 0 ; \quad k=1,2$$

Ecuatia înlântuirilor circuitelor înfășurării statorice se obține aplicând relația de transformare (2.13) ecuației (A.2.1.4). Rezultă :

$$\begin{aligned} \left(\frac{2}{3} \sum_{\nu=1}^3 \Psi_{\nu s} a^{\nu-1} \right) \exp [-j\delta_0] &= k_I L_{Mh} \left[\frac{2}{3} \frac{1}{k_I} \sum_{\nu=1}^3 \left\{ a^{\nu-1} \sum_{n=1}^N i_{n1} \cos \left[\delta_n + (\nu-1) \frac{2p\pi}{N} - (\nu-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\} \right] \exp [-j\delta_0] + \\ &+ k_2 L_{2h} \left[\frac{2}{3} \frac{1}{k_2} \sum_{\nu=1}^3 \left\{ a^{\nu-1} \sum_{n=1}^N i_{n2} \cos \left[\delta_n + (\nu-1) \frac{2p\pi}{N} - (\nu-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\} \right] \exp [-j\delta_0] + L_{\sigma 0} \left(\frac{2}{3} \sum_{\nu=1}^3 i_{\nu s} a^{\nu-1} \right) \exp [-j\delta_0] + \\ &+ (L_{\delta\sigma} + L_{Mh}) \left[\frac{2}{3} \sum_{\nu=1}^3 \left\{ a^{\nu-1} \sum_{\lambda=1}^3 i_{\lambda\nu} \cos \left[(\lambda-\nu) \frac{2\pi}{3} \right] \right\} \right] \exp [-j\delta_0] . \end{aligned}$$

Având în vedere identitățile (A.2.1.18), (A.2.1.19), relația de mai sus se poate scrie sub forma :

$$(A.2.1.26) \quad \bar{\Psi}_{B0} = (L_{\lambda 0} + \frac{3}{2} L_{\delta\sigma} + \frac{3}{2} L_{Mh}) \bar{J}_{B0} + \left(\frac{N}{2} k_I L_{Mh} \right) \bar{J}_{B1} + \left(\frac{N}{2} k_2 L_{2h} \right) \bar{J}_{B2}$$

Aplicând relația de transformare (2.16) ecuației (A.2.1.4) rezultă :

$$\begin{aligned} \frac{1}{3} \sum_{\nu=1}^3 \Psi_{\nu s} &= L_{\lambda 0} \left(\frac{1}{3} \sum_{\nu=1}^3 i_{\nu s} \right) + (L_{\delta\sigma} + L_{Mh}) \frac{1}{3} \left[\sum_{\nu=1}^3 \left\{ \sum_{\lambda=1}^3 i_{\lambda\nu} \cos \left[(\lambda-\nu) \frac{2\pi}{3} \right] \right\} \right] + \\ &+ k_I L_{Mh} \frac{1}{3} \left[\frac{1}{k_I} \sum_{\nu=1}^3 \left\{ \sum_{n=1}^N i_{n1} \cos \left[\delta_n + (n-1) \frac{2p\pi}{N} - (\nu-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\} \right] + k_2 L_{2h} \frac{1}{3} \left[\frac{1}{k_2} \sum_{\nu=1}^3 \left\{ \sum_{n=1}^N i_{n2} \cos \left[\delta_n + (n-1) \frac{2p\pi}{N} - (\nu-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\} \right] \end{aligned}$$

Având în vedere identitățile (A.2.1.20), (A.2.1.21), relația de mai sus se poate scrie sub forma :

$$(A.2.1.27) \quad \Psi_{0s} = L_{\lambda 0} \bar{J}_{0s}$$

Ecuatia înlântuirilor circuitelor înfăşurării rotorice echivalente a coliviei superioare se obține aplicând relația de transformare (2.15) ecuației (A.2.1.5).
Rezultă :

$$\begin{aligned} & \left(\frac{2}{N} k_{\Psi} \sum_{n=1}^N \rho^{n-1} \Psi_{n1} \right) \exp[-j(\delta_0 - \delta_n)] = \frac{2}{N} k_{\Psi} L_{11h} \sum_{n=1}^N \left\{ \rho^{n-1} \sum_{\nu=1}^3 i_{\nu n} \cos \left[\delta_n + (n-1) \frac{2p\tilde{\pi}}{N} - (\nu-1) \frac{2\tilde{\pi}}{3} \right] \right\} \exp[-j(\delta_0 - \delta_n)] + \\ & + k_I k_{\Psi} (L_{11r} + L_{12cr} + L'_{12icr}) \left[\frac{2}{N} \frac{1}{k_I} \sum_{n=1}^N \rho^{n-1} i_{n1} \right] \exp[-j(\delta_0 - \delta_n)] + k_I k_{\Psi} (L_{12cr} + L'_{12icr} + L_{12mr}) \left[\frac{2}{N} \frac{1}{k_I} \sum_{n=1}^N \rho^{n-1} i_{n2} \right] \exp[-j(\delta_0 - \delta_n)] + \\ & + k_I k_{\Psi} (L_{12sr} + L_{11h}) \left[\frac{2}{N} \frac{1}{k_I} \sum_{n=1}^N \left\{ \rho^{n-1} \sum_{\mu=1}^N i_{\mu 1} \cos \left[(\mu-n) \frac{2p\tilde{\pi}}{N} \right] \right\} \right] \exp[-j(\delta_0 - \delta_n)] + k_I k_{\Psi} (L_{12sr} + L_{11h}) \left[\frac{2}{N} \frac{1}{k_I} \sum_{n=1}^N \left\{ \rho^{n-1} \sum_{\mu=1}^N i_{\mu 2} \cos \left[(\mu-n) \frac{2p\tilde{\pi}}{N} \right] \right\} \right] \exp[-j(\delta_0 - \delta_n)] \end{aligned}$$

Avind în vedere identitățile (A.2.1.22), (A.2.1.23) și faptul că există egalitatea $k_{\Psi} k_I = k_U k_I = k_Z$, relația de mai sus se poate scrie sub forma :

$$(A.2.1.28) \quad \bar{\Psi}_{01} = \left(\frac{3}{2} k_{\Psi} L_{11h} \right) \bar{J}_{01} + k_Z (L_{11r} + L_{12cr} + L'_{12icr} + \frac{N}{2} L_{12sr} + \frac{N}{2} L_{11h}) \bar{J}_{01} + k_Z (L_{12cr} + L'_{12icr} + L_{12mr} + \frac{N}{2} L_{12sr} + \frac{N}{2} L_{11h}) \bar{J}_{02}$$

Dacă se aplică relația de transformare (2.16) ecuației (A.2.1.5) rezultă :

$$\begin{aligned} \frac{1}{N} k_{\Psi} \sum_{n=1}^N \Psi_{n1} &= \frac{1}{N} k_{\Psi} L_{11h} \sum_{n=1}^N \left\{ \sum_{\nu=1}^3 i_{\nu n} \cos \left[\delta_n + (n-1) \frac{2p\tilde{\pi}}{N} - (\nu-1) \frac{2\tilde{\pi}}{3} \right] \right\} + k_I k_{\Psi} (L_{11r} + L_{12cr} + L'_{12icr}) \frac{1}{N} \frac{1}{k_I} \sum_{n=1}^N i_{n1} + \\ & + k_I k_{\Psi} (L_{12cr} + L'_{12icr} + L_{12mr}) \frac{1}{N} \frac{1}{k_I} \sum_{n=1}^N i_{n2} + k_I k_{\Psi} (L_{12sr} + L_{11h}) \frac{1}{N} \frac{1}{k_I} \sum_{n=1}^N \left\{ \sum_{\mu=1}^N i_{\mu 1} \cos \left[(\mu-n) \frac{2p\tilde{\pi}}{N} \right] \right\} + \\ & + k_I k_{\Psi} (L_{12sr} + L_{11h}) \frac{1}{N} \frac{1}{k_I} \sum_{n=1}^N \left\{ \sum_{\mu=1}^N i_{\mu 2} \cos \left[(\mu-n) \frac{2p\tilde{\pi}}{N} \right] \right\}. \end{aligned}$$

Avind în vedere identitățile (A.2.1.24), (A.2.1.25), relația de mai sus se poate scrie sub forma :

$$(A.2.1.29) \quad \Psi_{01} = k_Z (L_{11r} + L_{12cr} + L'_{12icr}) J_{01} + k_Z (L_{12cr} + L'_{12icr} + L_{12mr}) J_{02}$$

Dacă se aplică relația de transformare (2.15) ecuației (A.2.1.6) și se ține seama de identitățile (A.2.1.22), (A.2.1.23), procedind la fel ca în cazul ecuației (A.2.1.28) se poate arăta că :

$$(A.2.1.30) \quad \bar{\Psi}_{02} = \left(\frac{3}{2} k_{\Psi} L_{11h} \right) \bar{J}_{02} + k_Z (L_{12cr} + L'_{12icr} + L_{12mr} + \frac{N}{2} L_{12sr} + \frac{N}{2} L_{11h}) \bar{J}_{01} + k_Z (L_{12cr} + L'_{12icr} + L_{12mr} + \frac{N}{2} L_{12sr} + \frac{N}{2} L_{11h}) \bar{J}_{02}$$

Dacă se aplică relația de transformare (2.16) ecuației (A.2.1.6) și se ține seama de identitățile (A.2.1.24), (A.2.1.25), procedind la fel ca în cazul ecuației (A.2.1.29) se poate arăta că :

$$(A.2.1.31) \quad \Psi_{02} = k_Z (L_{12cr} + L'_{12icr} + L_{12mr}) J_{01} + k_Z (L_{12cr} + L'_{12icr} + L_{12mr}) J_{02}$$

Avind în vedere relațiile (2.23) de definire a reactanțelor și reunind sub formă matricială ecuațiile (A.2.1.26), (A.2.1.27), ale circuitelor înfăşurării statorice și (A.2.1.28), (A.2.1.29), (A.2.1.30), (A.2.1.31) ale circuitelor înfăşurării rotorice se obține ecuația matricială (2.19) a modelului MA-2C-DC.

În vederea găsirii expresiei cuplului electromagnetic în sistemul de coordonate D, Q, 0 se pleacă de la definiția puterii instantanee absorbite de stato-

rul motorului, care este :

$$(A.2.1.32) \quad p_s = \sum_{v=1}^3 u_{\gamma_s} i_{\gamma_s}$$

Dacă se calculează expresia $\operatorname{Re} \left\{ \frac{3}{2} \bar{u}_{B_s} \bar{j}_{B_s}^* \right\}$ și se are în vedere că :

$$(A.2.1.33) \quad \begin{aligned} \bar{u}_{B_s} &= \frac{2}{3} (i_{1s} + a i_{2s} + a^2 i_{3s}) \exp[-j\tau_0]; & \bar{j}_{B_s} &= \frac{2}{3} (i_{1s} + a i_{2s} + a^2 i_{3s}) \exp[-j\tau_0]; \\ u_{1s} + u_{2s} + u_{3s} &= 3u_{0s}; & i_{1s} + i_{2s} + i_{3s} &= 3i_{0s}. \end{aligned}$$

rezultă :

$$(A.2.1.34) \quad p_s = \frac{3}{2} \operatorname{Re} \left\{ \bar{u}_{B_s} \bar{j}_{B_s}^* \right\} + 3 u_{0s} i_{0s}$$

Înlocuind tensiunea \bar{u}_{B_s} din relația (A2.1.10) în (A.2.1.34) rezultă :

$$(A.2.1.35) \quad p_s = \frac{3}{2} R_s |\bar{j}_{B_s}|^2 + \frac{3}{2} \operatorname{Re} \left\{ \bar{j}_{B_s}^* \frac{d\bar{\Psi}_{B_s}}{dt} \right\} + 3 u_{0s} i_{0s} + \frac{3}{2} \operatorname{Re} \left\{ j \frac{d\tau_0}{dt} \bar{\Psi}_{B_s} \bar{j}_{B_s}^* \right\}$$

În relația (A2.1.35) primul termen reprezintă pierderile prin efect Joule-Lentz în înfășurările statorului, al doilea termen reprezintă pierderile în fierul statoric, al treilea termen reprezintă puterea sistemului de succesiune homopolară, al patrulea termen reprezintă puterea electromagnetică p_f transferată prin întrefierul motorului:

$$(A.2.1.36) \quad p_f = \frac{3}{2} \operatorname{Re} \left\{ j \frac{d\tau_0}{dt} \bar{\Psi}_{B_s} \bar{j}_{B_s}^* \right\}$$

Expresia cuplului electromagnetic rezultă prin raportarea puterii electromagnetice instantanee p_f la viteza unghiulară de deplasare Ω_D a sistemului de coordonate în raport cu statorul :

$$(A.2.1.37) \quad \Omega_D = \frac{\omega_p}{p} = \frac{d\tau_0}{p dt}$$

și deci expresia cuplului electromagnetic în sistemul de coordonate D,Q,0 este:

$$(A.2.1.38) \quad M = \frac{p_f}{\Omega_D} = \frac{3}{2} p \operatorname{Re} \left\{ j \bar{\Psi}_{B_s} \bar{j}_{B_s}^* \right\}$$

care constituie ecuația (2.20) a modelului MA-2C-DC.

Ecuația (2.21) a modelului MA-2C-DC constituie ecuația mișcării și rezultă imediat din ecuația (2.6) a modelului din sistemul natural de coordonate, dacă se ține seama de relațiile (2.8) și (2.10).

A N E X A 2.2

Obținerea ecuațiilor modelului matematic MA-2C-DCR, cu mărimi rotorice reduse la stator și raportate la axele D, Q.

În matricea de reactanță $[X_B]$ a modelului MA-2C-DC care intervine în ecuația (2.19) și este dată de relația (2.22), nu toate reactanțele mutuale sînt egale.

Ecuațiile matriciale (2.18), (2.19) ale modelului MA-2C-DC se pot scrie:

$$(A.2.2.1) \quad \begin{aligned} \bar{u}_{B_s} &= \left[\frac{d}{dt} + j\omega(1-s_p) \right] \bar{\Psi}_{B_s} + R_s \bar{j}_{B_s}; & u_{0s} &= \frac{d}{dt} \Psi_{0s} + R_s j_{0s} \\ 0 &= \left[\frac{d}{dt} + j\omega(1-s_p) \right] \begin{bmatrix} X_{22} & \bar{\Psi}_{21} \\ X_{12} & \bar{\Psi}_{11} \end{bmatrix} + \left[R_1 \left(\frac{X_{22}}{X_{12}} \right)^2 \right] \begin{bmatrix} X_{12} \bar{j}_{B_s} \\ X_{22} \bar{j}_{B_s} \end{bmatrix}; & 0 &= \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} X_{21} \Psi_{01} \\ X_{12} \Psi_{01} \end{bmatrix} + \left[R_1 \left(\frac{X_{22}}{X_{12}} \right)^2 \right] \begin{bmatrix} X_{12} j_{01} \\ X_{22} j_{01} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$(A.2.2.1) \quad 0 = \left[\frac{d}{dt} + j\omega(1-s_D) \right] \begin{bmatrix} X_M \\ X_{12} \end{bmatrix} \bar{\Psi}_{B2} + \left[R_2 \left(\frac{X_M}{X_{12}} \right)^2 \right] \begin{bmatrix} X_{12} \\ X_{A1} \end{bmatrix} \bar{J}_{B2} ; \quad 0 = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} X_M \\ X_{12} \end{bmatrix} \Psi_{O2} + \left[R_2 \left(\frac{X_M}{X_{12}} \right)^2 \right] \begin{bmatrix} X_{12} \\ X_{A1} \end{bmatrix} J_{O2}$$

$$\omega \bar{\Psi}_{B3} = X_A \bar{J}_{B3} + \frac{X_{M1} X_{A2}}{X_{12}} \begin{bmatrix} X_{12} \\ X_{A2} \end{bmatrix} \bar{J}_{B1} + \frac{X_{M1} X_{A2}}{X_{12}} \begin{bmatrix} X_{12} \\ X_{A1} \end{bmatrix} \bar{J}_{B2} ; \quad \omega \Psi_{O3} = X_{O3} J_{O3}$$

$$(A.2.2.2) \quad \omega \begin{bmatrix} X_{A2} \\ X_{12} \end{bmatrix} \bar{\Psi}_{B1} = \frac{X_{M1} X_{A2}}{X_{12}} \bar{J}_{B3} + \left[X_1 \left(\frac{X_{A2}}{X_{12}} \right)^2 \right] \begin{bmatrix} X_{12} \\ X_{A2} \end{bmatrix} \bar{J}_{B1} + \frac{X_{M1} X_{A2}}{X_{12}} \begin{bmatrix} X_{12} \\ X_{A1} \end{bmatrix} \bar{J}_{B2} ; \quad \omega \begin{bmatrix} X_{A2} \\ X_{12} \end{bmatrix} \Psi_{O1} = \left[X_1 \left(\frac{X_{A2}}{X_{12}} \right)^2 \right] \begin{bmatrix} X_{12} \\ X_{A2} \end{bmatrix} J_{O1} + \left[X_{O12} \frac{X_{M1} X_{A2}}{X_{12}^2} \right] \begin{bmatrix} X_{12} \\ X_{A1} \end{bmatrix} J_{O2}$$

$$\omega \begin{bmatrix} X_{M1} \\ X_{12} \end{bmatrix} \bar{\Psi}_{B2} = \frac{X_{M1} X_{A2}}{X_{12}} \bar{J}_{B3} + \frac{X_{M1} X_{A2}}{X_{12}} \begin{bmatrix} X_{21} \\ X_{A2} \end{bmatrix} \bar{J}_{B1} + \left[X_2 \left(\frac{X_{M1}}{X_{12}} \right)^2 \right] \begin{bmatrix} X_{12} \\ X_{A1} \end{bmatrix} \bar{J}_{B2} ; \quad \omega \begin{bmatrix} X_{M1} \\ X_{12} \end{bmatrix} \Psi_{O2} = \left[X_{O21} \frac{X_{M1} X_{A2}}{X_{12}^2} \right] \begin{bmatrix} X_{12} \\ X_{A2} \end{bmatrix} J_{O1} + \left[X_{O2} \left(\frac{X_{M1}}{X_{12}} \right)^2 \right] \begin{bmatrix} X_{12} \\ X_{A1} \end{bmatrix} J_{O2}$$

Avind în vedere egalitățile din (2.28), autorul propune schimbările de variabile date de (2.29). Cu noile variabile ecuațiile (A.2.2.1), (A.2.2.2) devin :

$$\bar{u}_{B1} = \left[\frac{d}{dt} + j\omega(1-s_D) \right] \bar{\Psi}_{B1} + R_A \bar{J}_{B1} ; \quad u_{O1} = \frac{d}{dt} \Psi_{O1} + R_A J_{O1} \dots$$

$$(A.2.2.3) \quad 0 = \left[\frac{d}{dt} + j\omega(1-s_D) \right] \tilde{\Psi}_{B1} + \tilde{R}_1 \tilde{J}_{B1} ; \quad 0 = \frac{d}{dt} \tilde{\Psi}_{O1} + \tilde{R}_1 \tilde{J}_{O1}$$

$$0 = \left[\frac{d}{dt} + j\omega(1-s_D) \right] \tilde{\Psi}_{B2} + \tilde{R}_2 \tilde{J}_{B2} ; \quad 0 = \frac{d}{dt} \tilde{\Psi}_{O2} + \tilde{R}_2 \tilde{J}_{O2}$$

$$\omega \bar{\Psi}_{B3} = X_A \bar{J}_{B3} + \tilde{X}_m \tilde{J}_{B1} + \tilde{X}_m \tilde{J}_{B2} ; \quad \omega \Psi_{O3} = X_{O3} J_{O3} ;$$

$$(A.2.2.4) \quad \omega \tilde{\Psi}_{B1} = \tilde{X}_m \tilde{J}_{B3} + \tilde{X}_1 \tilde{J}_{B1} + \tilde{X}_m \tilde{J}_{B2} ; \quad \omega \tilde{\Psi}_{O1} = \tilde{X}_{O1} \tilde{J}_{O1} + \tilde{X}_{O12} \tilde{J}_{O2} \dots$$

$$\omega \tilde{\Psi}_{B2} = \tilde{X}_m \tilde{J}_{B3} + \tilde{X}_m \tilde{J}_{B1} + \tilde{X}_2 \tilde{J}_{B2} ; \quad \omega \tilde{\Psi}_{O2} = \tilde{X}_m \tilde{J}_{O1} + \tilde{X}_m \tilde{J}_{O2}$$

Reunite sub formă matricială ecuațiile (A.2.2.3), (A.2.2.4) constituie ecuațiile (2.30), respectiv (2.31) ale modelului MA-2C-DCR, unde matricile care intervin sînt date de relațiile (2.34). Ecuațiile (2.20), (2.21), ale modelului MA-2C-DC nu sînt afectate de schimbarea de variabile și ca urmare ele coincid cu ecuațiile (2.32), respectiv (2.33) ale modelului MA-2C-DCR.

ANEXE REFERITOARE LA CAPITOLUL 3

A N E X A 3.1.

Obținerea parametrilor operaționali ai motoarelor asincrone din categoria I-a și a II-a

a) Parametrii operaționali ai motorului asincron de categoria I

Din relațiile (3.2) și (3.3) se obțin :

$$\Delta \tilde{\Psi}_{B1}(p) = -\frac{1}{p} \tilde{R}_1 \Delta \tilde{J}_{B1}(p) ; \quad \Delta \tilde{\Psi}_{B2}(p) = -\frac{1}{p} \tilde{R}_2 \Delta \tilde{J}_{B2}(p)$$

care înlocuite în (3.5) și (3.6) și împreună cu (3.4) conduc la sistemul de ecuații :

$$(A.3.1.1) \quad \begin{aligned} \omega \Delta \tilde{\Psi}_{B3}(p) &= X_A \Delta \tilde{J}_{B3}(p) + \tilde{X}_m \Delta \tilde{J}_{B1}(p) + \tilde{X}_m \Delta \tilde{J}_{B2}(p) \\ 0 &= p \tilde{X}_m \Delta \tilde{J}_{B3}(p) + (p \tilde{X}_1 + \omega \tilde{R}_1) \Delta \tilde{J}_{B1}(p) + p \tilde{X}_m \Delta \tilde{J}_{B2}(p) \\ 0 &= p \tilde{X}_m \Delta \tilde{J}_{B3}(p) + p \tilde{X}_m \Delta \tilde{J}_{B1}(p) + (p \tilde{X}_2 + \omega \tilde{R}_2) \Delta \tilde{J}_{B2}(p) \end{aligned}$$

Rezolvând sistemul (A.3.1.1) în raport cu creșterile curenților rezultă :

$$(A.3.1.2) \quad \Delta \bar{J}_{B_3}(p) = \frac{A_3(p)}{A(p)}; \quad \Delta \bar{J}_{B_1}(p) = \frac{A_1(p)}{A(p)}; \quad \Delta \bar{J}_{B_2}(p) = \frac{A_2(p)}{A(p)}$$

unde determinantii $A(p)$, $A_3(p)$, $A_1(p)$, $A_2(p)$ au forma :

$$(A.3.1.3) \quad A(p) = \begin{vmatrix} X_A & \tilde{X}_m & \tilde{X}_m \\ p\tilde{X}_m & p\tilde{X}_1 + \omega\tilde{R}_1 & p\tilde{X}_m \\ p\tilde{X}_m & p\tilde{X}_m & p\tilde{X}_2 + \omega\tilde{R}_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X_A & \tilde{X}_m & \tilde{X}_m \\ 0 & p\left(\tilde{X}_1 - \frac{\tilde{X}_m^2}{X_A}\right) + \omega\tilde{R}_1 & p\left(\tilde{X}_m - \frac{\tilde{X}_m^2}{X_A}\right) \\ 0 & p\left(\tilde{X}_m - \frac{\tilde{X}_m^2}{X_A}\right) & p\left(\tilde{X}_2 - \frac{\tilde{X}_m^2}{X_A}\right) + \omega\tilde{R}_2 \end{vmatrix}$$

$$(A.3.1.4) \quad A_3(p) = \begin{vmatrix} \omega\Delta\bar{Y}_{B_3}(p) \tilde{X}_m & \tilde{X}_m \\ 0 & p\tilde{X}_1 + \omega\tilde{R}_1 & p\tilde{X}_m \\ 0 & p\tilde{X}_m & p\tilde{X}_2 + \omega\tilde{R}_2 \end{vmatrix}; \quad (A.3.1.5) \quad A_1(p) = \begin{vmatrix} X_A \omega\Delta\bar{Y}_{B_1}(p) \tilde{X}_m \\ p\tilde{X}_m & 0 & p\tilde{X}_m \\ p\tilde{X}_m & 0 & p\tilde{X}_2 + \omega\tilde{R}_2 \end{vmatrix}; \quad (A.3.1.6) \quad A_2(p) = \begin{vmatrix} X_A & \tilde{X}_m & \omega\Delta\bar{Y}_{B_2}(p) \\ p\tilde{X}_m & p\tilde{X}_1 + \omega\tilde{R}_1 & 0 \\ p\tilde{X}_m & p\tilde{X}_m & 0 \end{vmatrix}$$

Având în vedere relația (3.7) de definire a reactanțelor tranzitorii, relațiile (3.9), (3.11), (3.12) de definire a constantelor de timp și relația (3.8) de definire a coeficienților de scăpări și calculând valorile determinantilor de mai sus rezultă :

$$(A.3.1.7) \quad A(p) = X_A \left[(pX_1' + \omega\tilde{R}_1)(pX_2' + \omega\tilde{R}_2) - p^2(X_m')^2 \right] = \omega\tilde{R}_1\tilde{R}_2 X_A T_1' T_2' N(p)$$

$$(A.3.1.8) \quad N(p) = p^2 + p\left(\frac{1}{T_1''} + \frac{1}{T_2''}\right) + \frac{1}{T_1 T_2} = (p + b_1)(p + b_2)$$

$$(A.3.1.9) \quad A_3(p) = \omega\Delta\bar{Y}_{B_3}(p) \left[p^2(\tilde{X}_1\tilde{X}_2 - \tilde{X}_m^2) + p(\tilde{X}_1\omega\tilde{R}_1 + \tilde{X}_2\omega\tilde{R}_2) + \omega^2\tilde{R}_1\tilde{R}_2 \right] = \omega\Delta\bar{Y}_{B_3}(p) \omega^2\tilde{R}_1\tilde{R}_2 T_1' T_2' N_3(p)$$

$$(A.3.1.10) \quad N_3(p) = p^2 + p\left(\frac{1}{T_{10}'} + \frac{1}{T_{20}''}\right) + \frac{1}{T_{10} T_{20}} = (p + a_1)(p + a_2)$$

$$(A.3.1.11) \quad A_1(p) = \omega\Delta\bar{Y}_{B_1}(p) \left[p^2(\tilde{X}_m^2 - \tilde{X}_m\tilde{X}_2) - p\tilde{X}_m\omega\tilde{R}_2 \right] = -\omega\Delta\bar{Y}_{B_1}(p) \omega^2\tilde{R}_1\tilde{R}_2 \frac{(1-\sigma_1)X_A}{\tilde{X}_1} T_1 T_{2\sigma} N_1(p)$$

$$(A.3.1.12) \quad N_1(p) = p\left(p + \frac{1}{T_{2\sigma}}\right)$$

$$(A.3.1.13) \quad A_2(p) = \omega\Delta\bar{Y}_{B_2}(p) \left[p^2(\tilde{X}_m^2 - \tilde{X}_1\tilde{X}_m) - p\tilde{X}_m\omega\tilde{R}_1 \right] = -\omega\Delta\bar{Y}_{B_2}(p) \omega^2\tilde{R}_1\tilde{R}_2 \frac{(1-\sigma_2)X_A}{\tilde{X}_2} T_2 T_{1\sigma} N_2(p)$$

$$(A.3.1.14) \quad N_2(p) = p\left(p + \frac{1}{T_{1\sigma}}\right)$$

Având în vedere relațiile (A.3.1.7), (A.3.1.9), (A.3.1.11), (A.3.1.13), creșterile curenților exprimate de (A.3.1.2) se pot scrie sub forma :

$$(A.3.1.15) \quad \Delta \bar{J}_{B_3}(p) = \omega\Delta\bar{Y}_{B_3}(p) \frac{1}{X_A} \frac{T_1' T_2''}{T_1 T_2} \frac{N_3(p)}{N(p)}; \quad (A.3.1.16) \quad \Delta \bar{J}_{B_1}(p) = \omega\Delta\bar{Y}_{B_1}(p) \frac{1-\sigma_1}{\tilde{X}_1} \frac{T_1 T_{2\sigma}}{b_1 b_2} \frac{N_1(p)}{N(p)};$$

$$(A.3.1.17) \quad \Delta \bar{J}_{B_2}(p) = \omega\Delta\bar{Y}_{B_2}(p) \frac{1-\sigma_2}{\tilde{X}_2} \frac{T_2 T_{1\sigma}}{T_1 T_2} \frac{N_2(p)}{N(p)}.$$

Din (A.3.1.15) rezultă :

$$(A.3.1.18) \quad \omega\Delta\bar{Y}_{B_3}(p) = X_A \frac{T_1' T_2''}{T_1 T_2} \frac{N(p)}{N_3(p)} \Delta \bar{J}_{B_3}(p)$$

Dacă se definește reactanța supratranzitorie și reactanța operațională prin relațiile :

$$(A.3.1.19) \quad X_s'' = X_s \frac{T_1' T_2''}{T_{30}' T_{30}''}; \quad (A.3.1.20) \quad X_s(p) = X_s' \frac{N(p)}{N_s(p)}$$

și se introduc relațiile (A.3.1.19) și (A.3.1.20) în (A.3.1.18), rezultă :

$$(A.3.1.21) \quad \omega \Delta \bar{Y}_{B1}(p) = X_s(p) \Delta \bar{J}_{B1}(p)$$

Dacă se introduce (A.3.1.21) în ecuația (3.1) rezultă :

$$(A.3.1.22) \quad \Delta \bar{U}_{B1}(p) = \bar{Z}_{M1}(p) \Delta \bar{J}_{B1}(p)$$

unde :

$$(A.3.1.23) \quad \bar{Z}_{M1}(p) = \frac{1}{\omega} \left\{ [p + j\omega(1-s)] X_s(p) + \omega R_s \right\} = X_s' \frac{N_{M1}(p)}{N_s(p)}$$

$$(A.3.1.24) \quad N_{M1}(p) = \frac{1}{\omega} \left\{ [p + j\omega(1-s)] N(p) + \frac{\omega R_s}{X_s'} N_s(p) \right\} = \frac{1}{\omega} (p-p_1)(p-p_2)(p-p_3)$$

Din (A.3.1.22) rezultă :

$$(A.3.1.25) \quad \Delta \bar{Y}_{B1}(p) = \frac{\Delta \bar{U}_{B1}(p)}{\bar{Z}_{M1}(p)} = \Delta \bar{U}_{B1}(p) \bar{Y}_{M1}(p) \quad (A.3.1.26) \quad \bar{Y}_{M1}(p) = \frac{1}{\bar{Z}_{M1}(p)} = \frac{1}{X_s'} \frac{N_s(p)}{N_{M1}(p)}$$

Inlocuind (A.3.1.25) în (A.3.1.21) rezultă :

$$(A.3.1.27) \quad \omega \Delta \bar{Y}_{B1}(p) = \Delta \bar{U}_{B1}(p) \frac{N(p)}{N_{M1}(p)}$$

Inlocuind (A.3.1.27) în (A.3.1.16), respectiv în (A.3.1.17), rezultă :

$$(A.3.1.28) \quad \Delta \bar{Y}_{M1}(p) = \bar{Y}_{M1}(p) \Delta \bar{U}_{B1}(p); \quad \Delta \bar{Y}_{B2}(p) = \bar{Y}_{M2}(p) \Delta \bar{U}_{B1}(p)$$

$$(A.3.1.29) \quad \bar{Y}_{M1}(p) = -\frac{1-\sigma_s}{X_1} \frac{T_{2s} T_1}{T_1' T_2''} \frac{N(p)}{N_{M1}(p)}; \quad \bar{Y}_{M2}(p) = -\frac{1-\sigma_s}{X_2} \frac{T_{1s} T_2}{T_1' T_2''} \frac{N_2(p)}{N_{M1}(p)}$$

b) Parametrii operaționali ai motorului asincron de categoria II.

Din ecuația (3.102) rezultă :

$$(A.3.1.30) \quad \Delta \bar{Y}_{B1}(p) = -\frac{1}{p} R_1 \Delta \bar{J}_{B1}(p)$$

Inlocuind (A.3.1.30) în (3.104) și împreună cu (3.103) conduc la sistemul :

$$(A.3.1.31) \quad \omega \Delta \bar{Y}_{B1}(p) = X_s \Delta \bar{J}_{B1}(p) + X_m \Delta \bar{J}_{M1}(p); \quad 0 = p X_m \Delta \bar{J}_{B1}(p) + (p X_1 + \omega R_1) \Delta \bar{J}_{M1}(p)$$

Dacă se au în vedere relațiile (3.105) de definire a reactanței X_1' , a constantelor de timp și a coeficienților de scăpări, din sistemul (A.3.1.31) rezultă :

$$(A.3.1.32) \quad \omega \Delta \bar{Y}_{B1}(p) = X_s \frac{T_1'}{T_{30}'} \frac{N(p)}{N_s(p)} \Delta \bar{J}_{B1}(p); \quad (A.3.1.33) \quad \Delta \bar{J}_{M1}(p) = -\frac{1-\sigma_s}{X_1} \frac{p}{N(p)} \Delta \bar{J}_{B1}(p)$$

unde :

$$(A.3.1.34) \quad N(p) = p + \frac{1}{T_1'} = p + b_1; \quad N_s(p) = p + \frac{1}{T_{30}'} = p + b_1$$

Dacă se definesc :

$$(A.3.1.35) \quad X_s' = X_s \frac{T_2''}{T_{30}''} = X_s \frac{T_1'}{T_1}; \quad (A.3.1.36) \quad X_s(p) = X_s' \frac{N(p)}{N_s(p)}$$

relația (A.3.1.32) devine :

$$(A.3.1.37) \quad \omega \Delta \bar{Y}_{B1}(p) = X_s(p) \Delta \bar{J}_{B1}(p)$$

Dacă se introduce (A.3.1.37) în ecuația (3.101), rezultă :

$$(A.3.1.38) \quad \Delta \bar{U}_{B1}(p) = \bar{Z}_{M1}(p) \Delta \bar{J}_{B1}(p); \quad (A.3.1.39) \quad \bar{Z}_{M1}(p) = \frac{1}{\omega} \left\{ [p + j\omega(1-s)] X_s(p) + \omega R_s \right\} = X_s' \frac{N_{M1}(p)}{N_s(p)}$$

(A.3.1.40)
$$N_m(p) = \frac{1}{\omega} \left\{ [p + j\omega(1-\lambda)] N(p) + \frac{\omega R_2}{X_2'} N_2(p) \right\}$$

Din (A.3.1.38) rezultă :

(A.3.1.41)
$$\Delta \tilde{J}_{B_2}(p) = \frac{\Delta \tilde{U}_{B_2}(p)}{\tilde{Z}_{B_2}(p)} = \tilde{Y}_{B_2}(p) \Delta \tilde{U}_{B_2}(p); \quad (A.3.1.42) \quad \tilde{Y}_{B_2}(p) = \frac{1}{\tilde{Z}_{B_2}(p)} = \frac{1}{X_2'} \frac{N_2(p)}{N_{B_2}(p)}$$

Daă se introduce (A.3.1.41) în (A.3.1.33) rezultă :

(A.3.1.43)
$$\Delta \tilde{J}_{B_1}(p) = \tilde{Y}_{B_1}(p) \Delta \tilde{U}_{B_1}(p); \quad (A.3.1.44) \quad \tilde{Y}_{B_1}(p) = -\frac{1-\sigma_2}{X_1} \frac{T_1}{T_1'} \frac{p}{N_m(p)}$$

c) Obținerea relațiilor de legătură (3.29), (3.30) între constantele de timp ale unui motor asincron de categoria I.

Se exprimă din ultima ecuație a sistemului (A.3.1.1) creșterea $\Delta \tilde{J}_{B_2}(p)$ sub forma :

(A.3.1.45)
$$\Delta \tilde{J}_{B_2}(p) = -\frac{p \tilde{X}_m \Delta \tilde{J}_{B_2}(p) + p \tilde{X}_m \Delta \tilde{J}_{B_1}(p)}{p \tilde{X}_2 + \omega \tilde{R}_2}$$

care introdusă în primele două ecuații ale sistemului (A.3.1.1) conduce la următoarele ecuații :

(A.3.1.46)
$$\omega \Delta \tilde{Y}_{B_1}(p) = X_{B_1}(p) \Delta \tilde{J}_{B_2}(p) + X_{B_1}(p) \Delta \tilde{J}_{B_1}(p) \quad (A.3.1.47) \quad 0 = p X_{B_2}(p) \Delta \tilde{J}_{B_2}(p) + \omega R_{B_2}(p) \Delta \tilde{J}_{B_2}(p)$$

unde :

(A.3.1.48)
$$X_{B_2}(p) = X_2 - \frac{p \tilde{X}_m^2}{p \tilde{X}_2 + \omega \tilde{R}_2} = X_2 \frac{p T_2' + 1}{p T_2 + 1}; \quad (A.3.1.49) \quad X_{B_1}(p) = X_m - \frac{p \tilde{X}_m^2}{p \tilde{X}_2 + \omega \tilde{R}_2} = \tilde{X}_m \frac{p T_2' + 1}{p T_2 + 1};$$

(A.3.1.50)
$$\omega \tilde{R}_{B_1}(p) = \omega \tilde{R}_1 + p \tilde{X}_1 - \frac{p^2 \tilde{X}_m^2}{p \tilde{X}_2 + \omega \tilde{R}_2} = \omega \tilde{R}_1 \frac{p^2 T_{20}' T_{20}'' + p (T_{20}' + T_{20}'') + 1}{p T_2 + 1}$$

Din relația (A.3.1.47) rezultă :

(A.3.1.51)
$$\Delta \tilde{J}_{B_1}(p) = -\frac{p X_{B_2}(p)}{\omega R_{B_1}(p)} \Delta \tilde{J}_{B_2}(p)$$

care înlocuită în (A.3.1.46) conduce la :

(A.3.1.52)
$$\omega \Delta \tilde{Y}_{B_1}(p) = \left\{ X_{B_1}(p) - p \frac{[X_{B_2}(p)]^2}{\omega R_{B_1}(p)} \right\} \Delta \tilde{J}_{B_2}(p)$$

Din compararea relațiilor (A.3.1.21) și (A.3.1.52) rezultă :

(A.3.1.53)
$$X_{B_1}(p) = X_{B_2}(p) - p \frac{[X_{B_2}(p)]^2}{\omega R_{B_1}(p)}$$

Ținând seama de relațiile (A.3.1.8), (A.3.1.10), (A.3.1.20), (A.3.1.43); precum și de (A.3.1.50), după preluorări adecvate, relația (A.3.1.53) devine :

(A.3.1.54)
$$\frac{p^2 T_1' T_1'' + p (T_1' + T_1'') + 1}{p^2 T_{20}' T_{20}'' + p (T_{20}' + T_{20}'') + 1} = \frac{p T_2' + 1}{p T_2 + 1} - p \frac{\tilde{X}_m^2}{X_2 \omega \tilde{R}_1} \frac{(p T_2' + 1)^2}{[p^2 T_{20}' T_{20}'' + p (T_{20}' + T_{20}'') + 1] [p T_2 + 1]}$$

Având în vedere relațiile (3.7) și (3.9) rezultă :

(A.3.1.55)
$$\frac{\tilde{X}_m^2}{X_2 \omega \tilde{R}_1} = T_1 - T_1'$$

Inlocuind (A.3.1.55) în (A.3.1.54) și prelucrând această relație, după înlocuire, rezultă :

(A.3.1.56) $(pT_2+1)[p^2T_3'T_3''+p(T_3'+T_3'')+1] = (pT_2'+1)[p^2T_3'0T_3''0+p(T_3'0'+T_3'0'')+1] - (T_1-T_1')p(pT_2T_2'+1)^2$
 Identificarea coeficienților lui p^2 și p din cele două polinoame ale relației (A.3.1.56) conduce la relațiile (3.29) și (3.30).

A N E X A 3.2

Deducerea expresiei curentului de scurtcircuit direct debitat de motorul asinoron în timpul scurtcircuitului trifazat la bornele sale.

În sistemul de coordonate Park, tensiunea \bar{u}_{Bs} și curentul \bar{i}_{Bs} din regimul staționar anterior scurtcircuitului se pot obține aplicând relația de transformare (2.19), în care $\gamma_D = \gamma_r$, relațiilor (3.46), (3.47). În felul acesta rezultă:

(A.3.2.1)
$$\begin{aligned} \bar{u}_{Bs} &= \sqrt{2} U \exp[j(\omega t + \varepsilon_1 - \pi/2)] \exp[-j\gamma_r] = \bar{U}_{Bs} \exp[j\lambda \omega t] \exp[-j\gamma_{r0}] \\ \bar{i}_{Bs} &= \sqrt{2} I \exp[j(\omega t + \varepsilon_1 - \pi/2 - \varphi)] \exp[-j\gamma_r] = \bar{I}_{Bs} \exp[j\lambda \omega t] \exp[-j\gamma_{r0}] \end{aligned}$$

în care:

(A.3.2.2)
$$\bar{U}_{Bs} = \sqrt{2} U \exp[j(\varepsilon_1 - \pi/2)]; \quad \bar{I}_{Bs} = \sqrt{2} I \exp[j(\varepsilon_1 - \pi/2 - \varphi)]; \quad \gamma_r = \gamma_{r0} + (1-s)\omega t.$$

Unghiul γ_{r0} caracterizează poziția la momentul $t = 0$ a fazei de referință a rotorului în raport cu faza de referință a statorului.

În sistemul de coordonate Park, relația de legătură dintre curentul \bar{i}_{Bs} și tensiunea \bar{u}_{Bs} din regimul staționar anterior scurtcircuitului se poate găsi înlocuind în relația (3.15) $p = js\omega$, $\Delta \bar{i}_{Bs}$ cu \bar{i}_{Bs} și $\Delta \bar{u}_{Bs}$ cu \bar{u}_{Bs} , rezultând astfel :

(A.3.2.3)
$$\bar{i}_{Bs} = \bar{Y}_{\lambda s}(js\omega) \bar{u}_{Bs} = \frac{\bar{u}_{Bs}}{\bar{Z}_{\lambda s}(js\omega)}$$

Luând în considerare relațiile (A.3.2.1), (A.3.2.2), (A.3.2.3), se poate scrie:

(A.3.2.4)
$$\bar{I}_{Bs} = \bar{Y}_{\lambda s}(js\omega) \bar{U}_{Bs} = \frac{\bar{U}_{Bs}}{\bar{Z}_{\lambda s}(js\omega)}; \quad I = \frac{U}{|\bar{Z}_{\lambda s}(js\omega)|}$$

În relațiile (A.3.2.3) și (A.3.2.4), $\bar{Z}_{\lambda s}(js\omega)$ este impedanța complexă a motorului în regim staționar de funcționare cu alunecarea s , $\bar{Y}_{\lambda s}(js\omega)$ este admitanța complexă a motorului în același regim, iar $|\bar{Z}_{\lambda s}(js\omega)|$ este modulul impedanței complexe $\bar{Z}_{\lambda s}(js\omega)$.

Curentul motorului, care apare în urma scurtcircuitului trifazat la bornele sale va fi notat în sistemul de coordonate Park cu \bar{i}_{Bsk} .

Având în vedere că după producerea scurtcircuitului trifazat la bornele motorului, tensiunea la bornele sale devine egală cu zero, iar curentul devine egal cu cel de scurtcircuit provenit de la motor \bar{i}_{Bsk} , rezultă că imaginile Carson $\Delta \bar{u}_{Bs}(p)$, $\Delta \bar{i}_{Bs}(p)$ ale creșterii tensiunii, respectiv curentului se pot scrie sub forma :

(A.3.2.5)
$$\Delta \bar{u}_{Bs}(p) = 0 - \bar{u}_{Bs}(p) = -\frac{p}{p - js\omega} \bar{U}_{Bs} \exp[j\gamma_{r0}]; \quad (A.3.2.6) \quad \Delta \bar{i}_{Bs}(p) = \bar{i}_{Bsk}(p) - \bar{i}_{Bs}(p)$$

unde $\bar{U}_{Bs}(p)$, $\bar{Y}_{Bs}(p)$, $\bar{Y}_{Bsk}(p)$ sînt imaginile Carson ale mărimilor \bar{U}_{Bs} , \bar{Y}_{Bs} , \bar{Y}_{Bsk} .

Inlocuind creșterile $\Delta\bar{U}_{Bs}(p)$, $\Delta\bar{Y}_{Bs}(p)$ date de relațiile (A.3.2.5), (A.3.2.6) în relația (3.15) rezultă :

$$(A.3.2.7) \quad \bar{Y}_{Bsk}(p) = \bar{Y}_{Bs}(p) - \frac{p}{(p-j\omega)\bar{Z}_{ss}(p)} \bar{U}_{Bs} \exp[-j\gamma_{r0}]$$

Curentul de scurtcircuit \bar{Y}_{Bsk} se obține aplicînd transformata Carson inversă relației (A.3.2.7) și teorema dezvoltării lui Heaviside. Astfel rezultă :

$$(A.3.2.8) \quad \bar{Y}_{Bsk} = \bar{Y}_{Bs} - \frac{\bar{U}_{Bs} \exp[j\omega] \exp[-j\gamma_{r0}]}{\bar{Z}_{ss}(j\omega)} - \sum_{n=1}^k \frac{\bar{U}_{Bs} \exp[-j\gamma_{r0}] \exp[p_n t]}{(p_n - j\omega) \bar{Z}'_{ss}(p_n)}$$

unde p_n sînt rădăcinile funcției $\bar{Z}_{ss}(p)$, fiind date de relația (3.35) pentru motorul asincron de categoria I și de relația (3.116) pentru motorul asincron de categoria II, $\bar{Z}'_{ss}(p_n)$ reprezintă valoarea pentru $p = p_n$ a derivatei în raport cu p a impedanței operaționale $\bar{Z}_{ss}(p)$, iar k este numărul de rădăcini ale impedanței $\bar{Z}_{ss}(p)$.

Avînd în vedere relațiile (A.3.2.1), (A.3.2.3), (A.3.2.4), rezultă că primii doi termeni din (A.3.2.8) se reduc, ei reprezentînd curentul din regim staționar anterior scurtcircuitului. Considerînd și relația (A.3.2.2), expresia curentului în sistemul de coordonate Park se poate scrie sub forma :

$$(A.3.2.9) \quad \bar{Y}_{Bsk} = - \sum_{n=1}^k \frac{\sqrt{2} U \exp[j(\epsilon_1 - \bar{x}/2 - \gamma_{r0})]}{(p_n - j\omega) \bar{Z}'_{ss}(p_n)} \exp[p_n t]$$

Curentul de scurtcircuit al fazei v_s ($v = 1, 2, 3$) va fi dat de expresia :

$$(A.3.2.10) \quad i_{vsk} = \text{Re} \left\{ \bar{Y}_{Bsk} \exp[j\gamma_{r0}] a^{-v-1} \right\} = \text{Re} \left\{ \sum_{n=1}^k \frac{\sqrt{2} U}{(p_n - j\omega) \bar{Z}'_{ss}(p_n)} \exp \left\{ [j(l-s)\omega t + \epsilon_v - \frac{\pi}{2}] \right\} \exp[p_n t] \right\}$$

Se introduc următoarele notații :

- pentru motorul asincron de categoria I :

$$(A.3.2.11) \quad \bar{I}^I = I^I \exp[-j\psi^I] = \frac{-U}{(p_1 - j\omega) \bar{Z}'_{ss}(p_1)}; \quad \bar{I}^{II} = I^{II} \exp[-j\psi^{II}] = \frac{-U}{(p_2 - j\omega) \bar{Z}'_{ss}(p_2)}; \quad \bar{I}^a = I^a \exp[-j\psi^a] = \frac{-U}{(p_3 - j\omega) \bar{Z}'_{ss}(p_3)}$$

- pentru motorul asincron de categoria II :

$$(A.3.2.12) \quad \bar{I}^I = I^I \exp[-j\psi^I] = \frac{-U}{(p_1 - j\omega) \bar{Z}'_{ss}(p_1)}; \quad \bar{I}^a = I^a \exp[-j\psi^a] = \frac{-U}{(p_2 - j\omega) \bar{Z}'_{ss}(p_2)}$$

În cazul motorului asincron de categoria I, expresia (A.3.2.10) a curentului de scurtcircuit direct devine cea dată de relația (3.50), unde componentele sale sînt exprimate de relația (3.52), iar în cazul motorului asincron de categoria II devine cea dată de relația (3.123), unde componentele sale sînt exprimate de relația (3.124).

Avînd în vedere relațiile (3.37), respectiv (3.100), de definire a impedanței complexe operaționale $\bar{Z}_{ss}(p)$, se pot scrie relațiile :

$$(A.3.2.13) \quad \bar{Z}'_{ss}(p_n) = X'_s \frac{N'_s(p_n)}{N_s(p_n)}; \quad n=1,2,3 \quad \text{pentru motorul asincron de categoria I}$$

$$(A.3.2.14) \quad \bar{Z}'_{ss}(p_n) = X'_s \frac{N'_s(p_n)}{N_s(p_n)}; \quad n=1,2 \quad \text{pentru motorul asincron de categoria II}$$

Având în vedere relațiile (3.25)₂, (3.26), respectiv (3.112), (3.113) de definire a polinoamelor $N_s(p)$ și $N_{ss}(p)$, relațiile (A.3.2.13), respectiv relațiile (A.3.2.14), devin :

- pentru motorul asincron de categoria I :

$$(A.3.2.15) \quad \bar{Z}'_{ss}(p_1) = \frac{X_s''}{\omega} \frac{(p_1 - p_2)(p_1 - p_3)}{(p_1 + \epsilon_1)(p_1 + \epsilon_2)}; \quad \bar{Z}'_{ss}(p_2) = \frac{X_s''}{\omega} \frac{(p_2 - p_1)(p_2 - p_3)}{(p_2 + \epsilon_1)(p_2 + \epsilon_2)}; \quad \bar{Z}'_{ss}(p_3) = \frac{X_s''}{\omega} \frac{(p_3 - p_1)(p_3 - p_2)}{(p_3 + \epsilon_1)(p_3 + \epsilon_2)}$$

- pentru motorul asincron de categoria II :

$$(A.3.2.16) \quad \bar{Z}'_{ss}(p_1) = \frac{X_s'}{\omega} \frac{p_1 - p_2}{p_1 + \epsilon_1}; \quad \bar{Z}'_{ss}(p_2) = \frac{X_s'}{\omega} \frac{p_2 - p_1}{p_2 + \epsilon_1}$$

Determinarea expresiei componentelor curentului de scurtcircuit direct al motorului asincron, folosind expresia analitică aproximativă a impedanței $\bar{Z}_{ss}(p)$.

Dacă se înlocuiesc relațiile (3.43) de aproximare a rădăcinilor p_n ale impedanței $\bar{Z}_{ss}(p)$ a motorului asincron de categoria I în relațiile (A.3.2.15), vor rezulta relațiile :

$$(A.3.2.17) \quad \frac{1}{\bar{Z}'_{ss}(p_1)} = \frac{-\omega(\epsilon_1 - b_1)(\epsilon_2 - b_1)}{X_s''(b_1 - b_2)[a - b_1 + j\omega(1-s)]}; \quad \frac{1}{\bar{Z}'_{ss}(p_2)} = \frac{-\omega(\epsilon_1 - b_2)(\epsilon_2 - b_2)}{X_s''(b_2 - b_1)[a - b_2 + j\omega(1-s)]};$$

$$\frac{1}{\bar{Z}'_{ss}(p_3)} = \frac{\omega[\epsilon_1 - a - j\omega(1-s)][\epsilon_2 - a - j\omega(1-s)]}{X_s''[b_1 - a - j\omega(1-s)][b_2 - a - j\omega(1-s)]}$$

iar dacă se înlocuiesc relațiile (3.120) de aproximare a rădăcinilor p_n ale impedanței $\bar{Z}_{ss}(p)$ a motorului asincron de categoria II în relațiile (A.3.2.16) vor rezulta :

$$(A.3.2.18) \quad \frac{1}{\bar{Z}'_{ss}(p_1)} = \frac{\omega(\epsilon_1 - b_1)}{X_s'[a - b_1 + j\omega(1-s)]}; \quad \frac{1}{\bar{Z}'_{ss}(p_2)} = \frac{\omega[\epsilon_1 - a - j\omega(1-s)]}{X_s'[b_1 - a - j\omega(1-s)]}$$

Dacă se au în vedere relațiile (3.17), (3.18) de definire a reactanțelor X_s' și X_s'' ale motorului asincron de categoria I și relația (3.106) de definire a reactanței X_s' a motorului asincron de categoria II, prin efectuarea calculelor necesare se poate arăta că pentru motorul asincron de categoria I :

$$(A.3.2.19) \quad \frac{(\epsilon_1 - b_1)(\epsilon_2 - b_1)}{X_s''(b_1 - b_2)} = b_1 \left(\frac{1}{X_s'} - \frac{1}{X_s''} \right); \quad \frac{(\epsilon_1 - b_2)(\epsilon_2 - b_2)}{X_s''(b_2 - b_1)} = b_2 \left(\frac{1}{X_s''} - \frac{1}{X_s'} \right)$$

iar pentru motorul asincron de categoria II :

$$(A.3.2.20) \quad \frac{b_1 - \epsilon_1}{X_s'} = b_1 \left(\frac{1}{X_s'} - \frac{1}{X_s} \right)$$

Ținând seama de relațiile (A.3.2.19), relațiile (A.3.2.17) corespunzătoare motorului asincron de categoria I se pot scrie sub forma :

$$(A.3.2.21) \quad \frac{1}{\bar{Z}'_{ss}(p_1)} = \frac{-\omega b_1 \left(\frac{1}{X_s'} - \frac{1}{X_s} \right)}{[a - b_1 + j\omega(1-s)]}; \quad \frac{1}{\bar{Z}'_{ss}(p_2)} = \frac{-\omega b_2 \left(\frac{1}{X_s''} - \frac{1}{X_s'} \right)}{[a - b_2 + j\omega(1-s)]}; \quad \frac{1}{\bar{Z}'_{ss}(p_3)} = \frac{\omega \left[1 + j \frac{\epsilon_1 - a}{\omega(1-s)} \right] \left[1 + j \frac{\epsilon_2 - a}{\omega(1-s)} \right]}{X_s'' \left[1 + j \frac{b_1 - a}{\omega(1-s)} \right] \left[1 + j \frac{b_2 - a}{\omega(1-s)} \right]}$$

Ținând seama de relația (A.3.2.20), relațiile (A.3.2.18), corespunzătoare motorului asincron de categoria II se pot scrie sub forma :

$$(A.3.2.22) \quad \frac{1}{\bar{Z}'_{ss}(p_1)} = \frac{-\omega b_1 \left(\frac{1}{X_s'} - \frac{1}{X_s} \right)}{a - b_1 + j\omega(1-s)} \quad \frac{1}{\bar{Z}'_{ss}(p_2)} = \frac{\omega \left[1 + j \frac{\epsilon_1 - a}{\omega(1-s)} \right]}{X_s' \left[1 + j \frac{b_1 - a}{\omega(1-s)} \right]}$$

Dacă în relațiile (A.3.2.11) se înlocuiesc rădăcinile p_1, p_2, p_3 cu valorile lor date de (3.43) și se au în vedere relațiile (A.3.2.21), rezultă pentru motorul asincron de categoria I :

$$(A.3.2.23) \quad \bar{I}' = \frac{-U b_1 \omega \left(\frac{1}{X_2'} - \frac{1}{X_1} \right)}{(b_1 + j\omega) [a - b_1 + j\omega(1-s)]}; \quad \bar{I}'' = \frac{-U b_2 \omega \left(\frac{1}{X_2''} - \frac{1}{X_1} \right)}{(b_2 + j\omega) [a - b_2 + j\omega(1-s)]}; \quad \bar{I}_a = \frac{\frac{U}{X_2''} \left[1 + j \frac{c_1 - a}{\omega(1-s)} \right] \left[1 + j \frac{c_2 - a}{\omega(1-s)} \right]}{\left[\frac{a}{\omega} + j \right] \left[1 + j \frac{b_1 - a}{\omega(1-s)} \right] \left[1 + j \frac{b_2 - a}{\omega(1-s)} \right]}$$

Dacă în relațiile (A.3.2.12) se înlocuiesc rădăcinile p_1, p_2 cu valorile date de (3.120) și se au în vedere relațiile (A.3.2.22), rezultă pentru motorul asincron de categoria II:

$$(A.3.2.24) \quad \bar{I}' = \frac{-U b_1 \omega \left(\frac{1}{X_2'} - \frac{1}{X_1} \right)}{(b_1 + j\omega) [a - b_1 + j\omega(1-s)]}; \quad \bar{I}_a = \frac{\frac{U}{X_2'} \left[1 + j \frac{c_1 - a}{\omega(1-s)} \right]}{\left[\frac{a}{\omega} + j \right] \left[1 + j \frac{b_1 - a}{\omega(1-s)} \right]}$$

Se constată că \bar{I}' are aceeași expresie atât pentru motorul asincron de categoria I, cât și pentru cel de categoria II. Expresia sa se mai poate pune și sub forma :

$$(A.3.2.25) \quad \bar{I}' = U \left(\frac{1}{X_2'} - \frac{1}{X_1} \right) \frac{j\omega b_1}{[(1-2s)\omega b_1 + s\omega a] + j[s(1-s)\omega^2 - b_1(a - b_1)]}$$

Dacă se notează :

$$(A.3.2.26) \quad \varphi_s' = \arctg \frac{s(1-s)\omega - b_1(a - b_1)}{(1-2s)\omega b_1 + s\omega a}$$

în urma efectuării calculelor, expresia (3.2.25) a componentei \bar{I}' devine :

$$(A.3.2.27) \quad \bar{I}' = I' \exp \left[j \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_s' \right) \right] \quad (A.3.2.28) \quad I' = U D' \left(\frac{1}{X_2'} - \frac{1}{X_1} \right); \quad D' = \frac{\omega b_1}{\sqrt{(b_1 + s\omega)^2 [\omega^2(1-s)^2 + (b_1 - a)^2]}}$$

Identificând relația (A.3.2.27) cu prima dintre relațiile (A.3.2.11), rezultă :

$$(A.3.2.29) \quad \varphi' = \varphi_s' - \frac{\pi}{2}$$

Componenta \bar{I}'' a curentului de scurtcircuit direct a motorului asincron de categoria I, dată de cea de a doua relație (A.3.2.23) se mai poate pune și sub forma :

$$(A.3.2.30) \quad \bar{I}'' = U \left(\frac{1}{X_2''} - \frac{1}{X_1} \right) \frac{j\omega b_2}{[(1-2s)\omega b_2 + s\omega a] + j[s(1-s)\omega^2 - b_2(a - b_2)]}$$

Dacă se notează :

$$(A.3.2.31) \quad \varphi_s'' = \arctg \frac{s(1-s)\omega^2 - b_2(a - b_2)}{(1-2s)\omega b_2 + s\omega a}$$

în urma efectuării calculelor, expresia (A.3.2.30) a componentei \bar{I}'' devine :

$$(A.3.2.32) \quad \bar{I}'' = I'' \exp \left[j \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_s'' \right) \right] \quad (A.3.2.33) \quad I'' = U D'' \left(\frac{1}{X_2''} - \frac{1}{X_1} \right); \quad D'' = \frac{\omega b_2}{\sqrt{(b_2 + s\omega)^2 [\omega^2(1-s)^2 + (b_2 - a)^2]}}$$

Identificând relația (A.3.2.32) cu cea de a doua relație (A.3.2.11), rezultă :

$$(A.3.2.34) \quad \varphi'' = \varphi_s'' - \frac{\pi}{2}$$

Dacă se notează :

$$(A.3.2.35) \quad \varphi_a = \arctg \frac{\omega}{a}; \quad \varphi_{c_1} = \arctg \frac{c_1 - a}{\omega(1-s)}; \quad \varphi_{c_2} = \arctg \frac{c_2 - a}{\omega(1-s)}; \quad \varphi_{b_1} = \arctg \frac{b_1 - a}{\omega(1-s)}; \quad \varphi_{b_2} = \arctg \frac{b_2 - a}{\omega(1-s)}$$

în urma efectuării calculelor, expresia (A.3.2.23) a componentei \bar{I}_a a motorului asincron de categoria I devine :

(A.3.2.36)

$$\bar{I}_a = I_a \exp[-j\varphi_{1a}]$$

unde :

(A.3.2.37)
$$I_a = \frac{UD_a}{X'_a}; \quad D_a = \frac{\omega}{\sqrt{a^2 + \omega^2}} \sqrt{\frac{[\omega^2(1-s)^2 + (c_1 - a)^2][\omega^2(1-s)^2 + (c_2 - a)^2]}{[\omega^2(1-s)^2 + (b_1 - a)^2][\omega^2(1-s)^2 + (b_2 - a)^2]}}; \quad \varphi_{1a} = \varphi_a + \varphi_{a1};$$

$$\varphi_{a1} = \varphi_{b1} + \varphi_{b2} - \varphi_{c1} - \varphi_{c2} = \arctg \frac{\omega(1-s) \{ (b_0 - 2a)[\omega^2(1-s)^2 + ac_0 - c_1^2 - c_2^2] - (c_0 - 2a)[\omega^2(1-s)^2 + ab_0 - a^2 - b^2] \}}{[\omega^2(1-s)^2 + ab_0 - a^2 - b^2][\omega^2(1-s)^2 + ac_0 - a^2 - c^2] + \omega^2(1-s)^2(b_0 - 2a)(c_0 - 2a)}$$

iar expresia (A.3.2.24) a componentei \bar{I}_a a motorului asincron de categoria II devine :

(A.3.2.38)

$$\bar{I}_a = I_a \exp[-j\varphi_{1a}]$$

unde :

(A.3.2.39)
$$I_a = \frac{UD_a}{X'_a}; \quad D_a = \frac{\omega}{\sqrt{a^2 + \omega^2}} \sqrt{\frac{\omega^2(1-s)^2 + (c_1 - a)^2}{\omega^2(1-s)^2 + (b_1 - a)^2}}; \quad \varphi_{1a} = \varphi_a + \varphi_{a1}; \quad \varphi_{a1} = \varphi_{b1} - \varphi_{c1} = \arctg \frac{(1-s)\omega(b_1 - c_1)}{\omega^2(1-s)^2 + (b_1 - a)(c_1 - a)}$$

Identificând relațiile (A.3.2.36), respectiv (A.3.2.28) cu ultima relație (A.3.2.11), respectiv cu ultima relație (A.3.2.12), rezultă atât pentru motoarele asincrone de categoria I, cât și pentru cele de categoria II :

(A.3.2.40)

$$\varphi_a = \varphi_{ha}$$

Dacă se introduc relațiile (A.3.2.27), (A.3.2.32), (A.3.2.36) în relația (A.3.2.10), cu luarea în considerare a relațiilor (A.3.2.11), rezultă expresia (3.54) a curentului de scurtcircuit direct a motorului asincron de categoria I; dacă se introduc relațiile (A.3.2.27), (A.3.2.38) în relația (A.3.2.10), cu luarea în considerare a relațiilor (A.3.2.12), rezultă expresia (3.126) a curentului de scurtcircuit direct al motorului asincron de categoria II.

A N E X A 3.3

Determinarea expresiei curentului de șoc maxim.

Analiza expresiilor curentului de scurtcircuit direct al motorului asincron de categoria I și a II, conduce la concluzia că expresiile curentului de scurtcircuit direct al motorului asincron de categoria II pot fi găsite și pe cale directă, prin particularizarea celor corespunzătoare motorului de categoria I, dacă în acestea se face $I'' = 0$. Din acest motiv toate relațiile referitoare la curentul de șoc maxim, găsite în cele ce urmează, se referă la motorul asincron de categoria I. Pentru motorul asincron de categoria II relații similare vor fi găsite prin particularizarea $I'' = 0$, în relațiile corespunzătoare motorului asincron de categoria I.

Din relația (3.61) se observă că i_{ysk} este o funcție de două variabile independente ε_y și t . Valoarea sa momentană maxim-maximorum (curentul de șoc maxim $i_{\text{șoc.M.}}$) apare în condițiile în care derivatele parțiale în raport cu cele două variabile independente se anulează concomitent :

(A.3.3.1)
$$\frac{\partial i_{ysk}}{\partial \varepsilon_y} = 0; \quad (A.3.3.2) \quad \frac{\partial i_{ysk}}{\partial t} = 0$$

Ecuatiile (A.3.3.1), (A.3.3.2) constituie un sistem de două ecuații cu necunoscutele ε_v și t . Avînd în vedere relația (3.61), sistemul de ecuații (A.3.3.1), (A.3.3.2) se va scrie sub forma :

$$(A.3.3.3) \quad \left[I \cos(\varepsilon_v - \varphi) + I' \sin(\varepsilon_v - \varphi_1') + I'' \sin(\varepsilon_v - \varphi_2'') \right] \exp \left[-t/T_{sa} \right] - I' \exp \left[-t/T_1' \right] \sin \left\{ (1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_1' \right\} - I'' \exp \left[-t/T_2'' \right] \sin \left\{ (1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_2'' \right\} = 0$$

$$(A.3.3.4) \quad -\frac{1}{T_{sa}} \left[I \sin(\varepsilon_v - \varphi) - I' \cos(\varepsilon_v - \varphi_1') - I'' \cos(\varepsilon_v - \varphi_2'') \right] \exp \left[-t/T_{sa} \right] - \frac{I'}{T_1'} \exp \left[-t/T_1' \right] \cos \left\{ (1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_1' \right\} - \frac{I''}{T_2''} \exp \left[-t/T_2'' \right] \cos \left\{ (1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_2'' \right\} - (1-s)\omega I' \exp \left[-t/T_1' \right] \sin \left\{ (1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_1' \right\} - (1-s)\omega I'' \exp \left[-t/T_2'' \right] \sin \left\{ (1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_2'' \right\} = 0$$

Din ecuația (A.3.3.3) rezultă :

$$(A.3.3.5) \quad I' \exp \left[-t/T_1' \right] \sin \left\{ (1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_1' \right\} + I'' \exp \left[-t/T_2'' \right] \sin \left\{ (1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_2'' \right\} = \left[I \cos(\varepsilon_v - \varphi) + I' \sin(\varepsilon_v - \varphi_1') + I'' \sin(\varepsilon_v - \varphi_2'') \right] \exp \left[-t/T_{sa} \right]$$

Dacă se au în vedere relațiile (3.43) și se înlocuiește relația (A.3.3.5) în (A.3.3.4), rezultă ecuația :

$$(A.3.3.6) \quad b_1 I' \exp \left[-t/T_1' \right] \cos \left\{ (1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_1' \right\} + b_2 I'' \exp \left[-t/T_2'' \right] \cos \left\{ (1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_2'' \right\} = \exp \left[-t/T_{sa} \right] \left\{ -a I \sin(\varepsilon_v - \varphi) - (1-s)\omega I \cos(\varepsilon_v - \varphi) + a I' \cos(\varepsilon_v - \varphi_1') - (1-s)\omega I' \sin(\varepsilon_v - \varphi_1') + a I'' \cos(\varepsilon_v - \varphi_2'') - (1-s)\omega I'' \sin(\varepsilon_v - \varphi_2'') \right\}$$

Dacă se notează :

$$(A.3.3.7) \quad \gamma_{sa} = \arctg \frac{a}{(1-s)\omega} \quad (A.3.3.8) \quad G = \sqrt{a^2 + \omega^2 / (1-s)^2}$$

și se au în vedere relațiile (A.3.3.7) și (A.3.3.8) care se înlocuiesc în relația (A.3.3.6), se obține un nou sistem de ecuații echivalent cu sistemul (A.3.3.3), (A.3.3.4). Noul sistem este format din ecuația (A.3.3.3) și ecuația ce rezultă din (A.3.3.6) după înlocuirea în aceasta a relațiilor (A.3.3.7) și (A.3.3.8). Noul sistem de ecuații este :

$$(A.3.3.9) \quad I' \exp \left[-t/T_1' \right] \sin \left\{ (1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_1' \right\} + I'' \exp \left[-t/T_2'' \right] \sin \left\{ (1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_2'' \right\} = \left[I \cos(\varepsilon_v - \varphi) + I' \sin(\varepsilon_v - \varphi_1') + I'' \sin(\varepsilon_v - \varphi_2'') \right] \exp \left[-t/T_{sa} \right]$$

$$(A.3.3.10) \quad b_1 I' \exp \left[-t/T_1' \right] \cos \left\{ (1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_1' - \gamma_{sa} \right\} + b_2 I'' \exp \left[-t/T_2'' \right] \cos \left\{ (1-s)\omega t + \varepsilon_v - \varphi_2'' - \gamma_{sa} \right\} = G \left[-I \cos(\varepsilon_v - \varphi - \gamma_{sa}) - I' \sin(\varepsilon_v - \varphi_1' - \gamma_{sa}) - I'' \sin(\varepsilon_v - \varphi_2'' - \gamma_{sa}) \right] \exp \left[-t/T_{sa} \right]$$

Din sistemul de ecuații (A.3.3.9), (A.3.3.10) se determină $\operatorname{tg} \varepsilon_v$, rezultînd:

$$(A.3.3.11) \quad \operatorname{tg} \varepsilon_v = \frac{I' \exp \left[-t/T_1' \right] \sin \left\{ (1-s)\omega t - \varphi_1' \right\} + I'' \exp \left[-t/T_2'' \right] \sin \left\{ (1-s)\omega t - \varphi_2'' \right\} - \exp \left[-t/T_{sa} \right] \left[I \cos \varphi - I' \sin \varphi_1' - I'' \sin \varphi_2'' \right]}{I' \exp \left[-t/T_1' \right] \cos \left\{ (1-s)\omega t - \varphi_1' \right\} + I'' \exp \left[-t/T_2'' \right] \cos \left\{ (1-s)\omega t - \varphi_2'' \right\} - \exp \left[-t/T_{sa} \right] \left[I \sin \varphi + I' \cos \varphi_1' + I'' \cos \varphi_2'' \right]}$$

$$(A.3.3.12) \quad \operatorname{tg} \varepsilon_v = \frac{b_1 I' \exp \left[-t/T_1' \right] \cos \left\{ (1-s)\omega t - \varphi_1' - \gamma_{sa} \right\} + b_2 I'' \exp \left[-t/T_2'' \right] \cos \left\{ (1-s)\omega t - \varphi_2'' - \gamma_{sa} \right\} + G \exp \left[-t/T_{sa} \right] \left\{ I \cos(\varphi + \gamma_{sa}) + I' \sin(\varphi_1' + \gamma_{sa}) - I'' \sin(\varphi_2'' + \gamma_{sa}) \right\}}{b_1 I' \exp \left[-t/T_1' \right] \sin \left\{ (1-s)\omega t - \varphi_1' \right\} - b_2 I'' \exp \left[-t/T_2'' \right] \sin \left\{ (1-s)\omega t - \varphi_2'' \right\} + G \exp \left[-t/T_{sa} \right] \left\{ I \sin(\varphi + \gamma_{sa}) + I' \cos(\varphi_1' + \gamma_{sa}) + I'' \cos(\varphi_2'' + \gamma_{sa}) \right\}}$$

egalînd membrii din partea dreaptă a ecuațiilor (A.3.3.11) și (A.3.3.12), adu-

cînd la același numitor în relația astfel obținută și efectuînd calculele, rezultă următoarea ecuație avînd necunoscuta t :

$$\begin{aligned}
 & b_1(I')^2 \exp[-2t/T_a'] + b_2(I'')^2 \exp[-2t/T_a''] + I'I''(b_1 + b_2) \exp[-t/T_a'] \exp[-t/T_a''] \cos(\varphi_s' - \varphi_s'') + \\
 & + G \sin \delta_{sa} \exp[-2t/T_{sa}] \left\{ I^2 + (I')^2 + (I'')^2 + 2II' \sin(\varphi_s' - \varphi_s') + 2II'' \sin(\varphi_s' - \varphi_s'') + 2I'I'' \cos(\varphi_s' - \varphi_s'') \right\} + \\
 & + II' \exp[-t/T_{sa}] \exp[-t/T_a'] \left[G \cos \left\{ (1-s)\omega t + \varphi + \delta_{sa} - \varphi_s' \right\} - b_1 \sin \left\{ (1-s)\omega t + \varphi - \varphi_s' \right\} \right] + \\
 & + II'' \exp[-t/T_{sa}] \exp[-t/T_a''] \left[G \cos \left\{ (1-s)\omega t + \varphi + \delta_{sa} - \varphi_s'' \right\} - b_2 \sin \left\{ (1-s)\omega t + \varphi - \varphi_s'' \right\} \right] - \\
 & - I'I' \exp[-t/T_{sa}] \exp[-t/T_a'] \left[G \sin \left\{ (1-s)\omega t + \varphi_s' + \delta_{sa} - \varphi_s' \right\} + b_1 \cos \left\{ (1-s)\omega t + \varphi_s' - \varphi_s' \right\} \right] - \\
 & - I'I'' \exp[-t/T_{sa}] \exp[-t/T_a''] \left[G \sin \left\{ (1-s)\omega t + \varphi_s'' + \delta_{sa} - \varphi_s'' \right\} + b_2 \cos \left\{ (1-s)\omega t + \varphi_s'' - \varphi_s'' \right\} \right] - \\
 & - (I')^2 \exp[-t/T_{sa}] \exp[-t/T_a'] \left[G \sin \left\{ (1-s)\omega t + \delta_{sa} \right\} + b_1 \cos \left\{ (1-s)\omega t \right\} \right] - \\
 & - (I'')^2 \exp[-t/T_{sa}] \exp[-t/T_a''] \left[G \sin \left\{ (1-s)\omega t + \delta_{sa} \right\} + b_2 \cos \left\{ (1-s)\omega t \right\} \right] = 0
 \end{aligned}
 \tag{A.3.3.13}$$

Din relațiile (A.3.3.7) și (A.3.3.8) rezultă :

$$G \sin \delta_{sa} = a; \quad G \cos \delta_{sa} = \omega(1-s)
 \tag{A.3.3.14}$$

Se notează :

$$\begin{aligned}
 A &= I^2 + (I')^2 + (I'')^2 + 2II' \sin(\varphi_s' - \varphi_s') + 2II'' \sin(\varphi_s' - \varphi_s'') + 2I'I'' \cos(\varphi_s' - \varphi_s''); \\
 A_1 &= \sqrt{(a+b_1)^2 + \omega^2(1-s)^2}; \quad A_2 = \sqrt{(a+b_2)^2 + \omega^2(1-s)^2}; \\
 \varphi_1 &= \arctg \frac{I \sin(\varphi_{ab1} + \varphi - \varphi_s') + I' \cos \varphi_{ab1} + I'' \cos(\varphi_{ab1} + \varphi_s'' - \varphi_s')}{I \cos(\varphi_{ab1} + \varphi - \varphi_s') - I' \sin \varphi_{ab1} - I'' \sin(\varphi_{ab1} + \varphi_s'' - \varphi_s')}; \quad \varphi_{ab1} = \arctg \frac{a+b_1}{\omega(1-s)}; \\
 \varphi_2 &= \arctg \frac{I \sin(\varphi_{ab2} + \varphi - \varphi_s'') + I' \cos(\varphi_{ab2} + \varphi_s' - \varphi_s'') + I'' \cos \varphi_{ab2}}{I \cos(\varphi_{ab2} + \varphi - \varphi_s'') - I' \sin(\varphi_{ab2} + \varphi_s' - \varphi_s'') - I'' \sin \varphi_{ab2}}; \quad \varphi_{ab2} = \arctg \frac{a+b_2}{\omega(1-s)}.
 \end{aligned}
 \tag{A.3.3.15}$$

Tinînd seama de relațiile (A.3.3.14) și (A.3.3.15) și efectuînd calculele în (A.3.3.13), rezultă ecuația (3.63), în care necunoscuta a fost notată $t = t_M$.

Relația (3.64) și coeficienții M și N din (3.66), rezultă înlocuind $t = t_M$ în relația (A.3.3.11).

Relația (3.62) a curentului de șoc maxim rezultă înlocuind în (3.61) variabila t cu t_M și \mathcal{E}_s cu \mathcal{E}_M .

A N E X A 3.4

Forma ecuațiilor modelelor matematice ale motoarelor asincrone în cazul în care se consideră și capacitățile înfășurărilor. Forma operațională a ecuațiilor.

În cazul cînd se consideră și capacitățile C ale înfășurărilor motorului (a se vedea fig.3.1) apar modificări numai în ecuațiile circuitelor statorice ale modelelor matematice ale motorului asincron de categoria I, respectiv de categoria II. Cu alte cuvinte aceste modificări se referă numai la mărimile $\bar{u}_{s\sigma}$, $\bar{u}_{s\sigma}$ și la partea din operatorii $[\bar{\partial}]_D$, $[\bar{\partial}]_S$, $[\bar{\partial}]_P$ aferentă acestor mărimi.

Tinînd seama de existența capacităților C și de notațiile din fig.3.1, ecuațiile circuitelor statorice ale motorului, în sistemul natural de coordonate

se scriu sub forma :

$$(A.3.4.1) \quad i_{vst} = i_{vs} + i_{vc}; \quad v=1,2,3 \quad (A.3.4.2) \quad u_{vs} = \frac{d}{dt} \Psi_{vs} + R_s i_{vs} = \frac{1}{C} \int i_{vc} dt; \quad v=1,2,3.$$

Aplicînd relația de transformare (2.13) ecuațiilor (A.3.4.2) rezultă :

$$(A.3.4.3) \quad \left\{ \exp[-j\delta_0] \right\} \left[\frac{2}{3} \sum_{v=1}^3 u_{vs} a^{v-1} \right] = \left\{ \exp[-j\delta_0] \right\} \left\{ \frac{d}{dt} \left[\frac{2}{3} \sum_{v=1}^3 \Psi_{vs} a^{v-1} \right] + R_s \left\{ \exp[-j\delta_0] \right\} \left[\frac{2}{3} \sum_{v=1}^3 i_{vc} a^{v-1} \right] \right\} = \frac{1}{C} \left\{ \exp[-j\delta_0] \right\} \int \left[\frac{2}{3} \sum_{v=1}^3 i_{vc} a^{v-1} \right] dt.$$

Relația (A.3.4.3) este echivalentă cu relația :

$$(A.3.4.4) \quad \bar{u}_{B_s} = \left\{ \exp[-j\delta_0] \right\} \left\{ \frac{d}{dt} \left[\frac{2}{3} \sum_{v=1}^3 \Psi_{vs} a^{v-1} \right] \right\} + R_s \bar{J}_{B_s} = \frac{1}{C} \left\{ \exp[-j\delta_0] \right\} \int \left[\frac{2}{3} \sum_{v=1}^3 i_{vc} a^{v-1} \right] dt.$$

Din relația (A.3.4.4) rezultă :

$$(A.3.4.5) \quad \frac{1}{C} \int \left[\frac{2}{3} \sum_{v=1}^3 i_{vc} a^{v-1} \right] dt = \bar{u}_{B_s} \exp[j\delta_0]$$

Se mai pot scrie următoarele relații :

$$(A.3.4.6) \quad \frac{d\delta_0}{dt} = \omega_0 = \text{constantă}$$

$$(A.3.4.7) \quad d \left\{ \exp[-j\delta_0] \right\} = -j \left\{ \exp[-j\delta_0] \right\} \frac{d\delta_0}{dt} dt = -j\omega_0 \left\{ \exp[-j\delta_0] \right\} dt$$

$$(A.3.4.8) \quad d \left\{ \frac{1}{C} \int \left[\frac{2}{3} \sum_{v=1}^3 i_{vc} a^{v-1} \right] dt \right\} = \frac{1}{C} \left[\frac{2}{3} \sum_{v=1}^3 i_{vc} a^{v-1} \right] dt$$

$$(A.3.4.9) \quad \frac{d}{dt} \left\{ \left[\frac{2}{3} \sum_{v=1}^3 \Psi_{vs} a^{v-1} \right] \exp[-j\delta_0] \right\} = \left\{ \exp[-j\delta_0] \right\} \left\{ \frac{d}{dt} \left[\frac{2}{3} \sum_{v=1}^3 \Psi_{vs} a^{v-1} \right] \right\} + \left[\frac{2}{3} \sum_{v=1}^3 \Psi_{vs} a^{v-1} \right] \frac{d}{dt} \left\{ \exp[-j\delta_0] \right\}$$

$$(A.3.4.10) \quad \int d \left\{ \exp[-j\delta_0] \right\} \frac{1}{C} \int \left[\frac{2}{3} \sum_{v=1}^3 i_{vc} a^{v-1} \right] dt = \left\{ \exp[-j\delta_0] \right\} \left\{ \frac{1}{C} \int \left[\frac{2}{3} \sum_{v=1}^3 i_{vc} a^{v-1} \right] dt \right\} + \int \left\{ \exp[-j\delta_0] \right\} d \left\{ \frac{1}{C} \int \left[\frac{2}{3} \sum_{v=1}^3 i_{vc} a^{v-1} \right] dt \right\}$$

Avînd în vedere relația (A.3.4.7), din relația (A.3.4.9) rezultă :

$$(A.3.4.11) \quad \left\{ \exp[-j\delta_0] \right\} \left\{ \frac{d}{dt} \left[\frac{2}{3} \sum_{v=1}^3 \Psi_{vs} a^{v-1} \right] \right\} = \left[\frac{d}{dt} + j\omega_0 \right] \bar{\Psi}_{B_s}$$

Înlocuind relațiile (A.3.4.5), (A.3.4.7) și (A.3.4.8) în relația (A.3.4.10), aceasta din urmă se va putea scrie sub forma :

$$(A.3.4.12) \quad \frac{1}{C} \left\{ \exp[-j\delta_0] \right\} \int \left[\frac{2}{3} \sum_{v=1}^3 i_{vc} a^{v-1} \right] dt = \frac{1}{C} \int \bar{J}_{B_c} dt - j\omega_0 \int \bar{u}_{B_s} dt$$

Aplicînd relația de transformare (2.13) ecuației (A.3.4.1), rezultă ecuația (A.3.4.13) referitoare la curenți în sistemul de coordonate D, Q, O. Avînd în vedere relațiile (A.3.4.11) și (A.3.4.12), ecuația (A.3.4.4) a tensiunii circuitelor statorice se va scrie sub forma (A.3.4.14). Aplicînd apoi relația de transformare (2.14) ecuațiilor (A.3.4.1) și (A.3.4.2) rezultă ecuațiile referitoare la mărimile homopolare (A.3.4.15) și (A.3.4.16).

$$(A.3.4.13) \quad \bar{J}_{B_{st}} = \bar{J}_{B_s} + \bar{J}_{B_c}; \quad (A.3.4.14) \quad \bar{u}_{B_s} = \frac{d}{dt} + j\omega_0 \bar{\Psi}_{B_s} + R_s \bar{J}_{B_s} = \frac{1}{C} \int \bar{J}_{B_c} dt - j\omega_0 \int \bar{u}_{B_s} dt$$

$$(A.3.4.15) \quad \bar{J}_{Ost} = \bar{J}_{O_s} + \bar{J}_{O_c} \quad (A.3.4.16) \quad \bar{u}_{O_s} = \frac{d}{dt} \Psi_{O_s} + R_s \bar{J}_{O_s} = \frac{1}{C} \int \bar{J}_{O_c} dt.$$

Ecuațiile circuitelor statorice ale modelului MA-2C-DCR, respectiv MA-1C-DCR al motorului asincron de categoria I, respectiv de categoria II, cînd se consideră și capacitățile C ale înfășurărilor motorului (fig.3.1) sînt date de

relațiile (A.3.4.13), (A.3.4.14), (A.3.4.15), (A.3.4.16). Ecuațiile referitoare la circuitele rotorice rămân neschimbate.

Forma operațională a ecuațiilor (A.3.4.13), (A.3.4.14), (A.3.4.15), respectiv (A.3.4.16), formă în care ecuațiile conțin imaginile Carson ale creșterilor variabilelor, este:

$$(A.3.4.17) \quad \Delta \bar{J}_{Bst}(p) = \Delta \bar{J}_{Bs}(p) + \Delta \bar{J}_{Bc}(p);$$

$$(A.3.4.18) \quad \Delta \bar{u}_{Bs}(p) = \left[p + j\omega(1-s) \right] \Delta \bar{Y}_{Bs}(p) + R_s \Delta \bar{J}_{Bs}(p) = \frac{\Delta \bar{J}_{Bc}(p)}{pC} - \frac{j\omega(1-s)}{p} \Delta \bar{u}_{Bs}(p)$$

$$(A.3.4.19) \quad \Delta \bar{J}_{ost}(p) = \Delta \bar{J}_{os}(p) + \Delta \bar{J}_{oc}(p)$$

$$(A.3.4.20) \quad \Delta u_{os}(p) = p \Delta \Psi_{os}(p) + R_s \Delta \bar{J}_{os}(p) = \frac{\Delta \bar{J}_{oc}(p)}{pC}$$

Pentru a obține forma operațională a ecuațiilor (A.3.4.17), (A.3.4.18) în sistemul de coordonate Park, în ecuațiile de mai sus se face particularizarea $s_D = s$. În acest caz relațiile (A.3.4.17) și (A.3.4.18) devin:

$$(A.3.4.21) \quad \Delta \bar{J}_{Bst}(p) = \Delta \bar{J}_{Bs}(p) + \Delta \bar{J}_{Bc}(p)$$

$$(A.3.4.22) \quad \Delta \bar{u}_{Bs}(p) = \left[p + j\omega(1-s) \right] \Delta \bar{Y}_{Bs}(p) + R_s \Delta \bar{J}_{Bs}(p) = \frac{\Delta \bar{J}_{Bc}(p)}{pC} - \frac{j\omega(1-s)}{p} \Delta \bar{u}_{Bs}(p)$$

Avînd în vedere relația (3.15), valabilă atât pentru motoarele asincrone de categoria I cît și pentru cele de categoria II, relația (A.3.4.22) se mai poate scrie și sub forma:

$$(A.3.4.23) \quad \Delta \bar{u}_{Bs}(p) = \bar{Z}_{ss}(p) \Delta \bar{J}_{Bs}(p) = \frac{\Delta \bar{J}_{Bc}(p)}{pC} - \frac{j\omega(1-s)}{p} \Delta \bar{u}_{Bs}(p)$$

Dacă se exprimă $\Delta \bar{J}_{Bs}(p)$ și $\Delta \bar{J}_{Bc}(p)$ din relația (A.3.4.23) și se înlocuiesc în relația (A.3.4.21), va rezulta următoarea relație:

$$(A.3.4.24) \quad \Delta \bar{u}_{Bs}(p) = \frac{\bar{Z}_{ss}(p)}{1 + C \left[p + j\omega(1-s) \right] \bar{Z}_{ss}(p)} \Delta \bar{J}_{Bst}(p)$$

care se mai poate scrie și sub forma:

$$(A.3.4.25) \quad \Delta \bar{u}_{Bs}(p) = \bar{Z}_{sc}(p) \Delta \bar{J}_{Bst}(p) = \frac{\Delta \bar{J}_{Bst}(p)}{\bar{Y}_{sc}(p)}$$

în care:

$$(A.3.4.26) \quad \bar{Z}_{sc}(p) = \frac{\bar{Z}_{ss}(p)}{1 + C \left[p + j\omega(1-s) \right] \bar{Z}_{ss}(p)}; \quad \bar{Y}_{sc}(p) = \frac{1}{\bar{Z}_{sc}(p)} = \bar{Y}_{ss}(p) + \bar{Y}_c(p); \quad \bar{Y}_{ss}(p) = \frac{1}{\bar{Z}_{ss}(p)}; \quad \bar{Y}_c(p) = C \left[p + j\omega(1-s) \right]$$

A N E X A 3.5

Determinarea componentelor tensiunii reziduale a motorului asincron de categoria I și de categoria II.

Se notează cu $\bar{u}_{Bs}^{(R)}$ fazorul reprezentativ spațial-temporal al tensiunii reziduale în sistemul de coordonate Park. Avînd în vedere că în regim staționar, anterior deconectării motorului, tensiunea la borne era \bar{u}_{Bs} și curentul absorbit \bar{J}_{Bst} , iar după deconectare tensiunea la borne devine egală cu $\bar{u}_{Bs}^{(R)}$ și cu-

rentul absorbit devine egal cu zero, rezultă că imaginile Carson $\Delta \bar{u}_{Bs}(p)$ și $\Delta \bar{I}_{Bst}(p)$ sînt :

$$(A.3.5.1) \quad \Delta \bar{u}_{Bs}(p) = \bar{u}_{Bs}^{(R)}(p) - \bar{u}_{Bs}(p) \quad (A.3.5.2) \quad \Delta \bar{I}_{Bst}(p) = 0 - \bar{I}_{Bst}(p)$$

Cu relațiile (A.3.5.1) și (A.3.5.2) relația (A.3.4.25) devine :

$$(A.3.5.3) \quad \Delta \bar{u}_{Bs}^{(R)}(p) = \bar{u}_{Bs}(p) - \frac{\bar{I}_{Bst}(p)}{\bar{Y}_{1c}(p)}$$

unde $\bar{u}_{Bs}^{(R)}(p)$, $\bar{u}_{Bs}(p)$, $\bar{I}_{Bst}(p)$ sînt imaginile Carson ale tensiunii reziduale, tensiunii din regimul staționar anterior deconectării motorului, respectiv curentului absorbit în regimul staționar anterior deconectării.

Relația de legătură între curentul \bar{I}_{Bst} și tensiunea \bar{u}_{Bs} în regimul staționar anterior deconectării motorului se poate găsi înlocuind în (A.3.4.25) variabila p cu $js\omega$, $\Delta \bar{I}_{Bst}(p)$ cu \bar{I}_{Bst} , $\Delta \bar{u}_{Bs}(p)$ cu \bar{u}_{Bs} , rezultînd astfel :

$$(A.3.5.4) \quad \bar{u}_{Bs} = \bar{Z}_{1c}(js\omega) \bar{I}_{Bst} = \frac{\bar{I}_{Bst}}{\bar{Y}_{1c}(js\omega)}$$

unde :

$$(A.3.5.5) \quad \bar{Z}_{1c}(js\omega) = \frac{1}{\bar{Y}_{1c}(js\omega)} = \frac{1}{\bar{Y}_{1s}(js\omega) + \bar{Y}_c(js\omega)} = \frac{\bar{Z}_{1s}(js\omega)}{1 + j\omega C \bar{Z}_{1s}(js\omega)}$$

În relația (A.3.5.5), $\bar{Z}_{1s}(js\omega)$, respectiv $\bar{Y}_{1s}(js\omega)$ sînt impedanța, respectiv admitanța complexă a motorului în regimul de funcționare staționar cu alunecarea s , fără considerarea capacităților C .

Dacă tensiunile u_{Bs} și curentii i_{Bst} din regimul staționar anterior deconectării sînt exprimați prin relațiile (3.46), (3.72), procedînd în mod similar ca în anexa 3.2 (a se vedea relațiile (A.3.2.1), (A.3.2.2), (A.3.2.5)) se poate scrie :

$$(A.3.5.6) \quad \bar{u}_{Bs} = \sqrt{2} U \exp\left[j\left(\omega t + \varepsilon_1 - \frac{\pi}{2} - \delta_{r0}\right)\right] = \bar{U}_{Bs} \exp\left[j(\omega t - \delta_{r0})\right]$$

$$(A.3.5.7) \quad \bar{I}_{Bst} = \sqrt{2} I_t \exp\left[j\left(\omega t + \varepsilon_1 - \frac{\pi}{2} - \delta_{r0} - \varphi_t\right)\right] = \bar{I}_{Bst} \exp\left[j(\omega t - \delta_{r0})\right]$$

$$(A.3.5.8) \quad \bar{u}_{Bs}(p) = \bar{U}_{Bs} \exp[-j\delta_{r0}] \frac{p}{p - js\omega}; \quad (A.3.5.9) \quad \bar{I}_{Bst}(p) = \bar{I}_{Bst} \exp[-j\delta_{r0}] \frac{p}{p - js\omega}$$

unde :

$$(A.3.5.10) \quad \bar{U}_{Bs} = \sqrt{2} U \exp\left[j\left(\varepsilon_1 - \frac{\pi}{2}\right)\right]; \quad \bar{I}_{Bst} = \sqrt{2} I_t \exp\left[j\left(\varepsilon_1 - \frac{\pi}{2} - \varphi_t\right)\right]$$

Unghiul δ_{r0} din relațiile de mai sus caracterizează poziția la momentul $t=0$ a fazei de referință a rotorului în raport cu faza de referință a statorului.

Dacă se introduc relațiile (A.3.5.6), (A.3.5.7) în relația (A.3.5.4) rezultă

$$(A.3.5.11) \quad \bar{I}_{Bst} = \frac{\bar{u}_{Bs}}{\bar{Z}_{1c}(js\omega)} = \frac{\bar{U}_{Bs}}{|\bar{Z}_{1c}(js\omega)|} \exp[-j\varphi_t] = \bar{U}_{Bs} \bar{Y}_{1c}(js\omega) = \bar{U}_{Bs} |\bar{Y}_{1c}(js\omega)| \exp[-j\varphi_t]$$

în care :

$$(A.3.5.12) \quad |\bar{Z}_{1c}(js\omega)| = \frac{1}{|\bar{Y}_{1c}(js\omega)|}; \quad \varphi_t = \text{arctg} \frac{\text{Im}\{\bar{Z}_{1c}(js\omega)\}}{\text{Re}\{\bar{Z}_{1c}(js\omega)\}}$$

Dacă se înlocuiește relația (A.3.5.9) în care \bar{I}_{Bst} este dat de (A.3.5.11), în relația (A.3.5.3), rezultă :

$$(A.3.5.13) \quad \bar{u}_{Bs}^{(R)}(p) = \bar{u}_{Bs}(p) - \bar{U}_{Bs} \bar{Y}_{1c}(js\omega) \exp[-j\delta_{r0}] \frac{p}{(p - js\omega) \bar{Y}_{1c}(p)}$$

Tensiunea reziduală $\bar{u}_{Bs}^{(R)}$ se obține aplicînd transformata Carson inversă re-

latiei (A.3.5.13) și teorema dezvoltării lui Heaviside. Astfel rezultă :

$$(A.3.5.14) \quad \bar{u}_{B_3}^{(R)} = \bar{u}_{B_3} - \frac{\bar{U}_{B_3} \bar{Y}_{SC}(j\omega)}{\bar{Y}_{SC}(j\omega)} \exp[j\omega t - \gamma_{no}] - \bar{U}_{B_3} \bar{Y}_{SC}(j\omega) \exp[-j\gamma_{no}] \sum_{n=1}^k \frac{\exp[p_{yn} t]}{(p_{yn} - j\omega) \bar{Y}'_{SC}(p_{yn})}$$

unde p_{yn} este o rădăcină a funcției $\bar{Y}_{SC}(p)$; k este numărul rădăcinilor funcției $\bar{Y}_{SC}(p)$; $\bar{Y}'_{SC}(p_{yn})$ este valoarea derivatei funcției $\bar{Y}_{SC}(p)$ pentru $p = p_{yn}$.

Având în vedere relația (A.3.5.6) primii doi termeni din relația (A.3.5.14) se reduc. Dacă se au în vedere și relațiile (A.3.5.10), (A.3.5.11), (A.3.5.12), relația (A.3.5.14) devine :

$$(A.3.5.15) \quad \bar{u}_{B_3}^{(R)} = \frac{-\sqrt{2} U}{|\bar{Z}_{SC}(j\omega)|} \exp\left[j\left(\epsilon_1 - \frac{\pi}{2} - \varphi_t - \gamma_{no}\right)\right] \sum_{n=1}^k \frac{\exp[p_{yn} t]}{(p_{yn} - j\omega) \bar{Y}'_{SC}(p_{yn})}$$

Tensiunea reziduală a fazei v_s ($v = 1, 2, 3$) va fi dată de expresia :

$$(A.3.5.16) \quad u_{v_s}^{(R)} = \operatorname{Re}\left\{\bar{u}_{B_3}^{(R)} \exp[j\gamma_n] a^{-(v-1)}\right\}; \quad (A.3.5.17) \quad \gamma_n = (1-s)\omega t + \gamma_{no}; \quad a = \exp\left[j\frac{2\pi}{3}\right]$$

Inlocuind relațiile (A.3.5.15) și (A.3.5.17) în (A.3.5.16) rezultă :

$$(A.3.5.18) \quad u_{v_s} = \frac{-\sqrt{2} U}{|\bar{Z}_{SC}(j\omega)|} \operatorname{Re}\left\{\exp\left[j\left[(1-s)\omega t + \epsilon_v - \frac{\pi}{2} - \varphi_t\right]\right] \sum_{n=1}^k \frac{\exp[p_{yn} t]}{(p_{yn} - j\omega) \bar{Y}'_{SC}(p_{yn})}\right\}$$

În relațiile (A.3.5.15) și (A.3.5.18) mărimea $|\bar{Z}_{SC}(j\omega)|$ reprezintă modulul impedanței motorului asincron în regimul staționar cu alunecarea s dinaintea deconectării motorului, cu luarea în considerare a capacitatilor C ale înfășurărilor.

Determinarea expresiei componentelor tensiunii reziduale a motoarelor de categoria I și de categoria II, folosind expresia analitică aproximativă a admitanței complexe operaționale $\bar{Y}_{SC}(p)$.

Admitanța complexă operațională $\bar{Y}_{SC}(p)$ a motorului, dată de relația (A.3.4.26) se mai poate scrie sub forma :

$$(A.3.5.19) \quad \bar{Y}_{SC}(p) = \frac{1 + C \bar{Z}_{M_3}(p) [p + j\omega(1-s)]}{\bar{Z}_{M_3}(p)}$$

Având în vedere relația (3.20) pentru motoarele asincrone de categoria I și (3.108) pentru cele de categoria II, relația (A.3.5.19) devine :

$$(A.3.5.20) \quad \bar{Y}_{SC}(p) = \frac{1 + \frac{CX_2(p)}{\omega} [p + j\omega(1-s)] \left\{ [p + j\omega(1-s)] + \frac{\omega R_2}{X_2(p)} \right\}}{\frac{X_A(p)}{\omega} \left\{ [p + j\omega(1-s)] + \frac{\omega R_1}{X_A(p)} \right\}}$$

care se mai poate scrie și sub forma :

$$(A.3.5.21) \quad \bar{Y}_{SC}(p) = \frac{\omega}{[CX_2(p)]} \frac{1}{X_A(p)} \frac{[p + j\omega(1-s)] \left\{ [p + j\omega(1-s)] + \frac{\omega R_1}{X_A(p)} \right\} + \frac{\omega}{CX_2(p)}}{[p + j\omega(1-s)] + \frac{\omega R_2}{X_2(p)}}$$

Având în vedere relația (3.19) pentru motoarele asincrone de categoria I, respectiv (3.107) pentru cele de categoria II, relații de definire a reactanței operaționale $X_s(p)$ a motoarelor respective, precum și de faptul că la motoarele asincrone rapoartele R_1/X_1 , R_2/X_2 , R_1/X_1' , R_2/X_2' sînt foarte mici, rezultă că

termenii $\omega/CX_s(p)$ și $\omega R_s/X_s(p)$ din relația (A.3.5.21) se pot exprima după cum urmează (a se vedea și relațiile (3.17), (3.39), (3.40)) :

- pentru motoarele asincrone de categoria I :

$$(A.3.5.22) \quad \frac{\omega}{CX_s(p)} \approx \frac{\omega}{CX_s''} = \omega_0^2; \quad \frac{\omega R_s}{X_s(p)} \approx \frac{\omega R_s'}{X_s''} = \frac{1}{T_{sa}} = a.$$

de unde rezultă :

$$(A.3.5.23) \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{\omega}{CX_s''}} \quad \text{sau:} \quad C = \frac{\omega}{\omega_0^2 X_s''}$$

- pentru motoarele asincrone de categoria II :

$$(A.3.5.24) \quad \frac{\omega}{CX_s(p)} \approx \frac{\omega}{CX_s'} = \omega_0^2; \quad \frac{\omega R_s}{X_s(p)} \approx \frac{\omega R_s'}{X_s'} = \frac{1}{T_{sa}} = a$$

de unde rezultă :

$$(A.3.5.25) \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{\omega}{CX_s'}} \quad \text{sau:} \quad C = \frac{\omega}{\omega_0^2 X_s'}$$

Avînd în vedere relațiile (A.3.5.22), (A.3.5.23), respectiv (A.3.5.24), ca și (A.3.5.25), precum și relația (3.19) de definire a reacțantei operaționale pentru motorul asincron de categoria I, respectiv relația (3.107) pentru cel de categoria II, admitanța complexă operațională dată de relația (A.3.5.21) poate fi aproximată, atât pentru motoarele de categoria I, cît și pentru cele de categoria II, prin relația :

$$(A.3.5.26) \quad \bar{Y}_{sc}(p) \approx C \frac{N_s(p) \{ [p+j\omega(1-s)]^2 + a[p+j\omega(1-s)] + \omega_0^2 \}}{N(p) \{ [p+j\omega(1-s)] + a \}} = C \frac{P_1(p)}{P_2(p)}$$

unde polinoamele $N(p)$, $N_s(p)$ au expresiile (3.24), (3.25) pentru motoarele de categoria I, respectiv (3.111), (3.112) pentru cele de categoria II.

Polinoamele $P_1(p)$, $P_2(p)$ din expresia (A.3.5.26) se pot scrie sub forma :

- pentru motoarele asincrone de categoria I :

$$(A.3.5.27) \quad P_1(p) = (p-p_{y1})(p-p_{y2})(p-p_{y3})(p-p_{y4}); \quad P_2(p) = (p+b_1)(p+b_2)[p+a+j\omega(1-s)]$$

- pentru motoarele asincrone de categoria II :

$$(A.3.5.28) \quad P_1(p) = (p-p_{y1})(p-p_{y2})(p-p_{y3}); \quad P_2(p) = (p+b_1)[p+a+j\omega(1-s)]$$

unde p_{yn} ($n=1,2,3,4$ pentru motoarele asincrone de categoria I și $n=1,2,3$ pentru cele de categoria II) sînt rădăcinile funcției $\bar{Y}_{sc}(p)$, avînd expresiile :

$$(A.3.5.29) \quad p_{y1} = -\frac{a}{2} + j \left[\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} - \omega(1-s) \right]; \quad p_{y2} = -\frac{a}{2} - j \left[\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} + \omega(1-s) \right]; \quad p_{y3} = -b_1; \quad p_{y4} = -b_2$$

Avînd în vedere relația (A.3.5.26), rezultă :

$$(A.3.5.30) \quad \bar{Y}'_{sc}(p_{yn}) = C \frac{P_1'(p_{yn})}{P_2(p_{yn})}$$

Dacă se introduce relația (A.3.5.30) în (A.3.5.18), tensiunea reziduală a fazei v_s va fi dată de :

$$(A.3.5.31) \quad u_{v_s} = \frac{\sqrt{2}U}{\omega C \left| \sum_{k=1}^k (j\omega) \right|} \operatorname{Re} \left\{ \exp \left\{ j \left[(1-s)\omega t + \varepsilon_v - \frac{\pi}{2} - \varphi_1 \right] \right\} \sum_{n=1}^k \frac{\omega P_2(p_{yn})}{(j\omega - p_{yn}) P_1'(p_{yn})} \exp [p_{yn} t] \right\}$$

Folosind relațiile (A.3.5.27), (A.3.5.28), (A.3.5.29) și efectuînd calculele rezultă :

- pentru motoarele asincrone de categoria I :

$$(A.3.5.32) \quad \frac{\omega P_2(p_{y1}) \exp[p_{y1}t]}{(js\omega - p_{y1})P_1'(p_{y1})} = \frac{\omega \left[b_1 - \frac{a}{2} + j \left(\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} - \omega(1-s) \right) \right] \left[b_2 - \frac{a}{2} + j \left(\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} - \omega(1-s) \right) \right]}{\left[\frac{a}{2} + j \left(\omega - \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} \right) \right] \left[c_1 - \frac{a}{2} + j \left(\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} - \omega(1-s) \right) \right]} \times \\ \times \frac{\left[\frac{a}{2} + j \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} \right] \exp \left[-\frac{a}{2}t - j \left(\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} - \omega(1-s) \right)t \right]}{\left[c_2 - \frac{a}{2} + j \left(\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} - \omega(1-s) \right) \right] \left[2j \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} \right]}$$

$$(A.3.5.33) \quad \frac{\omega P_2(p_{y2}) \exp[p_{y2}t]}{(js\omega - p_{y2})P_1'(p_{y2})} = \frac{\omega \left[b_1 - \frac{a}{2} - j \left(\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} + \omega(1-s) \right) \right] \left[b_2 - \frac{a}{2} - j \left(\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} + \omega(1-s) \right) \right]}{\left[\frac{a}{2} + j \left(\omega + \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} \right) \right] \left[c_1 - \frac{a}{2} + j \left(\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} + \omega(1-s) \right) \right]} \times \\ \times \frac{\left[\frac{a}{2} - j \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} \right] \exp \left[-\frac{a}{2}t - j \left(\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} + \omega(1-s) \right)t \right]}{\left[c_2 - \frac{a}{2} - j \left(\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} + \omega(1-s) \right) \right] \left[-2j \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} \right]}$$

$$(A.3.5.34) \quad \frac{\omega P_2(p_{y3}) \exp[p_{y3}t]}{(js\omega - p_{y3})P_1'(p_{y3})} = \frac{\omega (b_1 - c_1)(b_2 - c_1) \left[1 + j \frac{c_1 - a}{\omega(1-s)} \right] \exp[-c_1 t]}{c_1 (c_2 - c_1)(a - 2c_1) \left(1 + j \frac{s\omega}{c_1} \right) \left(1 + j \frac{c_1^2 - ac_1 + \omega_0^2 - \omega^2(1-s)^2}{\omega(1-s)(2c_1 - a)} \right)}$$

$$(A.3.5.35) \quad \frac{\omega P_2(p_{y4}) \exp[p_{y4}t]}{(js\omega - p_{y4})P_1'(p_{y4})} = \frac{\omega (b_1 - c_2)(b_2 - c_2) \left[1 + j \frac{c_2 - a}{\omega(1-s)} \right] \exp[-c_2 t]}{c_2 (c_1 - c_2)(a - 2c_2) \left(1 + j \frac{s\omega}{c_2} \right) \left(1 + j \frac{c_2^2 - ac_2 + \omega_0^2 - \omega^2(1-s)^2}{\omega(1-s)(2c_2 - a)} \right)}$$

- pentru motoarele asincrone de categoria II :

$$(A.3.5.36) \quad \frac{\omega P_2(p_{y1}) \exp[p_{y1}t]}{(js\omega - p_{y1})P_1'(p_{y1})} = \frac{\omega \left[b_1 - \frac{a}{2} + j \left(\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} - \omega(1-s) \right) \right] \left[\frac{a}{2} + j \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} \right] \exp \left[-\frac{a}{2}t + j \left(\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} - \omega(1-s) \right)t \right]}{\left[\frac{a}{2} + j \left(\omega - \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} \right) \right] \left[c_1 - \frac{a}{2} + j \left(\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} - \omega(1-s) \right) \right] \left[2j \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} \right]}$$

$$(A.3.5.37) \quad \frac{\omega P_2(p_{y2}) \exp[p_{y2}t]}{(js\omega - p_{y2})P_1'(p_{y2})} = \frac{\omega \left[b_1 - \frac{a}{2} - j \left(\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} + \omega(1-s) \right) \right] \left[\frac{a}{2} - j \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} \right] \exp \left[-\frac{a}{2}t - j \left(\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} + \omega(1-s) \right)t \right]}{\left[\frac{a}{2} + j \left(\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} + \omega \right) \right] \left[c_1 - \frac{a}{2} - j \left(\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} + \omega(1-s) \right) \right] \left[-2j \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} \right]}$$

$$(A.3.5.38) \quad \frac{\omega P_2(p_{y3}) \exp[p_{y3}t]}{(js\omega - p_{y3})P_1'(p_{y3})} = \frac{\omega (b_1 - c_1) \left[1 + j \frac{c_1 - a}{\omega(1-s)} \right] \exp[-c_1 t]}{c_1 (a - 2c_1) \left(1 + \frac{s\omega}{c_1} \right) \left(1 + j \frac{c_1^2 - ac_1 + \omega_0^2 - \omega^2(1-s)^2}{\omega(1-s)(2c_1 - a)} \right)}$$

Deoarece pentru motoarele asincrone $\omega(1-s) \gg \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2}$ și $\omega \gg \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2}$, cantitățile $\omega(1-s)$ și ω se pot neglija în raport cu $\sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2}$ în toți termenii din expresiile (A.3.5.32), (A.3.5.33), (A.3.5.36), (A.3.5.37) cu excepția celor care intervin în funcțiile exponentiale. Procedând astfel și efectuând calculele se poate arăta că, atât pentru motoarele asincrone de categoria I, cât și pentru cele de categoria II :

$$(A.3.5.39) \quad \frac{\omega P_2(p_{y1}) \exp[p_{y1}t]}{(js\omega - p_{y1})P_1'(p_{y1})} + \frac{\omega P_2(p_{y2}) \exp[p_{y2}t]}{(js\omega - p_{y2})P_1'(p_{y2})} \approx \omega \left[\bar{J} + \bar{J}^* \right] \exp \left[-\frac{a}{2}t - j\omega(1-s)t \right] = \\ = 2\omega |\bar{J}| \cos \varphi_j \exp \left[-\frac{a}{2}t - j\omega(1-s)t \right]$$

unde numărul complex \bar{J} , de argument φ_j și modul $|\bar{J}|$ și avînd conjugatul \bar{J}^* se

poate scrie sub forma :

- pentru motoarele asincrone de categoria I :

$$(A.3.5.40) \quad \bar{J} = \frac{j \left[1 + j \frac{a-2b_1}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}} \right] \left[1 + j \frac{a-2b_2}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}} \right] \left[1 - j \frac{a}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}} \right] \exp \left[j \frac{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}}{2} t \right]}{\left[1 + j \frac{a-2c_1}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}} \right] \left[1 + j \frac{a-2c_2}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}} \right] \left[1 + j \frac{a}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}} \right] \sqrt{4\omega_0^2 - a^2}}$$

- pentru motoarele asincrone de categoria II :

$$(A.3.5.41) \quad \bar{J} = \frac{j \left[1 + j \frac{a-2b_1}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}} \right] \left[1 - j \frac{a}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}} \right] \exp \left[j \frac{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}}{2} t \right]}{\left[1 + j \frac{a-2c_1}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}} \right] \left[1 + j \frac{a}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}} \right] \sqrt{4\omega_0^2 - a^2}}$$

Dacă se notează :

$$(A.3.5.42) \quad \theta_{b_1} = \operatorname{arctg} \frac{a-2b_1}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}} ; \theta_{b_2} = \operatorname{arctg} \frac{a-2b_2}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}} ; \theta_{c_1} = \operatorname{arctg} \frac{a-2c_1}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}} ; \theta_{c_2} = \operatorname{arctg} \frac{a-2c_2}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}} ;$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{a}{\sqrt{4\omega_0^2 - a^2}} .$$

rezultă că numărul complex \bar{J} se poate scrie sub forma :

- pentru motoarele asincrone de categoria I :

$$(A.3.5.43) \quad \bar{J} = \frac{\cos \theta_{c_1} \cos \theta_{c_2}}{2\omega_0 \cos \alpha \cos \theta_{b_1} \cos \theta_{b_2}} \exp \left[j \left(\frac{\pi}{2} + t \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2} \right)^2} + \theta_{b_1} + \theta_{b_2} - \theta_{c_1} - \theta_{c_2} - 2\alpha \right) \right]$$

- pentru motoarele asincrone de categoria II :

$$(A.3.5.44) \quad \bar{J} = \frac{\cos \theta_{b_1}}{2\omega_0 \cos \alpha \cos \theta_{b_1}} \exp \left[j \left(\frac{\pi}{2} + t \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2} \right)^2} + \theta_{b_1} - \theta_{c_1} - 2\alpha \right) \right]$$

iar expresia (A.3.5.39) devine :

- pentru motoarele asincrone de categoria I :

$$(A.3.5.45) \quad \frac{\omega P_2(p_{y1}) \exp[p_{y1}t]}{(j\omega - p_{y1}) P_1'(p_{y1})} + \frac{\omega P_2(p_{y2}) \exp[p_{y2}t]}{(j\omega - p_{y2}) P_1'(p_{y2})} \approx \frac{\omega \cos \theta_{c_1} \cos \theta_{c_2} \cos \left[t \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2} \right)^2} - (\theta_{c_1} + \theta_{c_2} + 2\alpha - \theta_{b_1} - \theta_{b_2} - \frac{\pi}{2}) \right]}{\omega_0 \cos \alpha \cos \theta_{b_1} \cos \theta_{b_2}} \times$$

$$\times \exp \left[-\frac{a}{2} t - j\omega(1-s)t \right]$$

- pentru motoarele asincrone de categoria II :

$$(A.3.5.46) \quad \frac{\omega P_2(p_{y1}) \exp[p_{y1}t]}{(j\omega - p_{y1}) P_1'(p_{y1})} + \frac{\omega P_2(p_{y2}) \exp[p_{y2}t]}{(j\omega - p_{y2}) P_1'(p_{y2})} \approx \frac{\omega \cos \theta_{c_1} \cos \left[t \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{a}{2} \right)^2} - (\theta_{c_1} + 2\alpha - \theta_{b_1} - \frac{\pi}{2}) \right]}{\omega_0 \cos \alpha \cos \theta_{b_1}} \exp \left[-\frac{a}{2} t - j\omega(1-s)t \right]$$

Dacă se notează :

$$(A.3.5.47) \quad \varphi_{c_1} = \operatorname{arctg} \frac{c_1 - a}{\omega(1-s)} ; \quad \gamma_{c_1} = \operatorname{arctg} \frac{s\omega}{c_1} ; \quad \mu_{c_1} = \operatorname{arctg} \frac{c_1^2 - a c_1 + \omega_0^2 - \omega^2(1-s)^2}{\omega(1-s)(2c_1 - a)} ;$$

$$\varphi_{c_2} = \operatorname{arctg} \frac{c_2 - a}{\omega(1-s)} ; \quad \gamma_{c_2} = \operatorname{arctg} \frac{s\omega}{c_2} ; \quad \mu_{c_2} = \operatorname{arctg} \frac{c_2^2 - a c_2 + \omega_0^2 - \omega^2(1-s)^2}{\omega(1-s)(2c_2 - a)} .$$

atunci expresiile (A.3.5.34), (A.3.5.35) se pot scrie sub forma :

- pentru motoarele asincrone de categoria I :

$$(A.3.5.48) \quad \frac{\omega P_2(p_{y3}) \exp[p_{y3}t]}{(j\omega - p_{y3}) P_1'(p_{y3})} = \frac{\omega (b_1 - c_1)(b_2 - c_1) \cos \gamma_{c_1} \cos \mu_{c_1}}{c_1 (c_2 - c_1)(a - 2c_1) \cos \varphi_{c_1}} \exp[-c_1 t] \exp \left[j(\varphi_{c_1} - \gamma_{c_1} - \mu_{c_1}) \right]$$

$$(A.3.5.49) \quad \frac{\omega P_2(p_{y4}) \exp[p_{y4}t]}{(j\omega - p_{y4}) P_1'(p_{y4})} = \frac{\omega (b_1 - c_2)(b_2 - c_2) \cos \gamma_{c_2} \cos \mu_{c_2}}{c_2 (c_1 - c_2)(a - 2c_2) \cos \varphi_{c_2}} \exp[-c_2 t] \exp \left[j(\varphi_{c_2} - \gamma_{c_2} - \mu_{c_2}) \right]$$

iar expresia (A.3.5.38) se poate scrie sub forma :

- pentru motoarele asincrone de categoria II :

$$(A.3.5.50) \quad \frac{\omega P_2(p_{y3}) \exp[p_{y3}t]}{(j\omega - p_{y3}) P_4'(p_{y3})} = \frac{\omega(\xi_1 - \xi_2) \cos \delta_{\xi_1} \cos \mu_{\xi_1}}{\xi_1(a - 2\xi_1) \cos \varphi_{\xi_1}} \exp[-\xi_1 t] \exp\left[j(\varphi_{\xi_1} - \delta_{\xi_1} - \mu_{\xi_1})\right]$$

Inlocuind expresiile (A.3.5.45), (A.3.5.48), (A.3.5.49) în (A.3.5.31) și avînd în vedere relațiile (A.3.5.23), după efectuarea calculului rezultă expresia (3.77) a tensiunii reziduale pentru motoarele de categoria I.

Inlocuind expresiile (A.3.5.46), (A.3.5.50) în (A.3.5.31) și avînd în vedere relațiile (A.3.5.25), după efectuarea calculului rezultă expresia (3.136) a tensiunii reziduale pentru motoarele asincrone de categoria II.

A N E X A 3.6

Determinarea expresiei analitice a curentului de scurtcircuit indirect al unui motor asincron.

Notînd cu t_0 intervalul de timp din momentul deconectării motorului pînă în momentul producerii scurtcircuitului (a se vedea și fig.3.3) și făcînd schimbarea de variabilă :

$$(A.3.6.1) \quad \tau = t - t_0$$

expresiile (3.80), respectiv (3.137) a componentei u'_{y3} a tensiunii reziduale a motorului asincron de categoria I, respectiv de categoria II, în funcție de noua variabilă devin :

$$(A.3.6.2) \quad u'_{y3}(\tau) = \sqrt{2} U' \exp[-(\tau + t_0)/T_{\lambda 0}'] \sin\left\{(1-s)\omega\tau + (1-s)\omega t_0 + \varepsilon_y - \varphi_t - \vartheta'\right\}$$

Se notează :

$$(A.3.6.3) \quad U'_0 = U' \exp[-t_0/T_{\lambda 0}'] \quad (A.3.6.4) \quad \varepsilon_0 = (1-s)\omega t_0$$

În sistemul de coordonate Park fazorul reprezentativ spațialo-temporal al componentei u'_{y3} dată de relația (A.3.6.2) va fi :

$$(A.3.6.5) \quad \bar{u}'_{\theta s}(\tau) = \sqrt{2} U'_0 \exp[-\tau/T_{\lambda 0}'] \exp\left\{j\left[(1-s)\omega\tau + \varepsilon_0 + \varepsilon_1 - \frac{\pi}{2} - \varphi_t - \vartheta'\right]\right\} \exp[-j\delta_r]$$

unde :

$$(A.3.6.6) \quad \delta_r = \delta_{r0} + (1-s)\omega\tau$$

unde unghiul δ_{r0} caracterizează poziția în momentul producerii scurtcircuitului ($t = t_0$ sau $\tau = 0$) a fazei de referință a rotorului în raport cu faza de referință a statorului.

Avînd în vedere relația (A.3.6.6), expresia (A.3.6.5) se mai poate scrie și sub forma :

$$(A.3.6.7) \quad \bar{u}'_{\theta s}(\tau) = \sqrt{2} U'_0 \exp[-\tau/T_{\lambda 0}'] \exp\left[j\left(\varepsilon_1 - \frac{\pi}{2} + \varepsilon_0 - \varphi_t - \vartheta' - \delta_{r0}\right)\right]$$

Avînd în vedere că în intervalul de timp $t = t_0$ dinainte de producerea scurtcircuitului motorul este deconectat de la sursă, curentul său fiind zero, iar după producerea scurtcircuitului la momentul $t = t_0$ ($\tau = 0$) tensiunea la bornele sale devine egală cu zero, iar curentul devine egal cu cel de scurtcircuit indirect \bar{J}_{BSQ} , rezultă că imaginile Carson $\Delta \bar{U}'_{BS}(p)$, $\Delta \bar{J}_{BSQ}(p)$ ale creșterii tensiunii, respectiv ale creșterii curentului se pot scrie sub forma :

$$(A.3.6.8) \quad \Delta \bar{U}'_{B_0}(p) = 0 - \bar{U}'_{B_0}(p) = -\frac{p}{p+c_1} \sqrt{2} U'_0 \exp\left[j\left(\xi_1 - \frac{\pi}{2} + \varepsilon_0 - \varphi'_t - \rho' - \tau_{r0}\right)\right]$$

$$(A.3.6.9) \quad \Delta \bar{J}_{B_0Q}(p) = \bar{J}_{B_0Q}(p) - 0 = \bar{J}_{B_0Q}(p)$$

unde conform relațiilor (3.32), respectiv (3.105) $c_1 = 1/T'_{s0}$.

Dacă în relația (3.15), valabilă atât pentru motoarele asincrone de categoria I cât și pentru cele de categoria II, se înlocuiesc creșterile $\Delta \bar{U}'_{B_0}(p)$, respectiv $\Delta \bar{J}_{B_0Q}(p)$ date de (A.3.6.8), respectiv (A.3.6.9) rezultă :

$$(A.3.6.10) \quad \Delta \bar{J}_{B_0Q}(p) = -\frac{p}{(p+c_1)\bar{Z}_{ss}(p)} \sqrt{2} U'_0 \exp\left[j\left(\xi_1 - \frac{\pi}{2} + \varepsilon_0 - \varphi'_t - \rho' + \tau_{r0}\right)\right]$$

unde $\bar{Z}_{ss}(p)$ este impedanța complexă operațională a motorului.

Dacă se înlocuiesc în (A.3.6.10) impedanța complexă operațională $\bar{Z}_{ss}(p)$ dată de relația (3.41) pentru motoarele asincrone de categoria I, respectiv de relația (3.119) pentru motoarele asincrone de categoria II, rezultă :

- pentru motoarele asincrone de categoria I :

$$(A.3.6.11) \quad \bar{J}_{B_0Q}(p) = -\sqrt{2} U'_0 \frac{\omega}{X'_2} \exp\left[j\left(\xi_1 - \frac{\pi}{2} + \varepsilon_0 - \varphi'_t - \rho' - \tau_{r0}\right)\right] \frac{p(p+c_2)}{(p+b_1)(p+b_2)[p+a+j\omega(1-s)]}$$

- pentru motoarele asincrone de categoria II :

$$(A.3.6.12) \quad \bar{J}_{B_0Q}(p) = -\sqrt{2} U'_0 \frac{\omega}{X'_2} \exp\left[j\left(\xi_1 - \frac{\pi}{2} + \varepsilon_0 - \varphi'_t - \rho' - \tau_{r0}\right)\right] \frac{p}{(p+b_1)[p+a+j\omega(1-s)]}$$

Aplicând relațiilor (A.3.6.11), (A.3.6.12) transformata Carson inversă, rezultă expresia fazorului spațial-temporal \bar{J}_{B_0Q} :

- pentru motoarele asincrone de categoria I :

$$(A.3.6.13) \quad \bar{J}_{B_0Q}(p) = \frac{\sqrt{2} U'_0}{(1-s)X'_2} \exp\left[j\left(\xi_1 - \frac{\pi}{2} + \varepsilon_0 - \varphi'_t - \rho' - \tau_{r0}\right)\right] \left\{ \frac{1 + \frac{c_2 - a}{j\omega(1-s)}}{j \left[1 + j \frac{b_1 - a}{\omega(1-s)}\right] \left[1 + j \frac{b_2 - a}{\omega(1-s)}\right]} \exp[-a\tau - j\omega(1-s)\tau] - \frac{(b_1 - c_2)}{j(b_1 - b_2) \left[1 + j \frac{b_1 - a}{\omega(1-s)}\right]} \exp[-b_1\tau] - \frac{(b_2 - c_2)}{j(b_2 - b_1) \left[1 + j \frac{b_2 - a}{\omega(1-s)}\right]} \exp[-b_2\tau] \right\}$$

- pentru motoarele asincrone de categoria II :

$$(A.3.6.14) \quad \bar{J}_{B_0Q}(p) = \frac{\sqrt{2} U'_0}{(1-s)X'_2} \exp\left[j\left(\xi_1 - \frac{\pi}{2} + \varepsilon_0 - \varphi'_t - \rho' - \tau_{r0}\right)\right] \left\{ \frac{1}{j \left[1 + j \frac{b_1 - a}{\omega(1-s)}\right]} \exp[-a\tau - j\omega(1-s)\tau] - \frac{1}{j \left[1 + j \frac{b_1 - a}{\omega(1-s)}\right]} \exp[-b_1\tau] \right\}$$

Având în vedere relația (3.18) de definire a reactanței X'_2 pentru motoarele asincrone de categoria I, se pot scrie următoarele identități :

$$(A.3.6.15) \quad \frac{1}{X'_2(b_1 - b_2)} = \frac{1}{X'_2 \left[b_1 \left(1 + \frac{c_2^2}{b_1^2}\right) - c_2 \right]} ; \quad (A.3.6.16) \quad \frac{1}{X'_2(b_2 - b_1)} = \frac{\frac{1}{X'_2} - \frac{1}{X'_2}}{b_2 + b_1 \frac{c_2^2}{b_1^2} - c_2}$$

Dacă se introduc relațiile (A.3.6.15), (A.3.6.16) în (A.3.6.13) și dacă se au în vedere relațiile (A.3.2.35), curentul \bar{J}_{B_0Q} se va scrie sub forma :

- pentru motoarele asincrone de categoria I :

$$(A.3.6.17) \quad \bar{J}_{B_{1Q}} = \left\{ \frac{\sqrt{2} U_0' \omega}{X_1'} \sqrt{\frac{\omega^2(1-s)^2 + (\epsilon_2 - a)^2}{[\omega^2(1-s)^2 + (l_1 - a)^2][\omega^2(1-s)^2 + (l_2 - a)^2]}} \exp[-\varphi_{1aQ}] \exp[-a\tau - j\omega(1-s)\tau] + \right. \\ \left. + \frac{\sqrt{2} U_0' \omega (l_1 - \epsilon_1) \exp\left[j\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_{1aQ}'\right)\right] \exp[-l_1\tau]}{X_1' \left[l_1 \left(1 + \frac{\epsilon_2}{l_2}\right) - \epsilon_0\right] \sqrt{\omega^2(1-s)^2 + (l_1 - a)^2}} + \frac{\sqrt{2} U_0' \omega (l_2 - \epsilon_2) \left[\frac{1}{X_2''} - \frac{1}{X_2'}\right] \exp\left[j\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_{1aQ}''\right)\right] \exp[-l_2\tau]}{\left[l_2 + l_1 \frac{\epsilon_2}{l_2} - \epsilon_0\right] \sqrt{\omega^2(1-s)^2 + (l_2 - a)^2}} \right\} \exp\left[j\left(\epsilon_1 + \epsilon_2 \frac{\pi}{2} - \tau_{no}\right)\right]$$

- pentru motoarele asincrone de categoria II :

$$(A.3.6.18) \quad \bar{J}_{B_{1Q}} = \frac{\sqrt{2} U_0' \omega \exp\left[j\left(\epsilon_1 + \epsilon_2 \frac{\pi}{2} - \tau_{no}\right)\right]}{X_1' \sqrt{\omega^2(1-s)^2 + (l_1 - a)^2}} \left\{ \exp[-\varphi_{1aQ}] \exp[-a\tau - j\omega(1-s)\tau] + \exp\left[j\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_{1aQ}'\right)\right] \exp[-l_1\tau] \right\}$$

unde :

- pentru motoarele asincrone de categoria I :

$$(A.3.6.19) \quad \varphi_{1aQ} = \frac{\pi}{2} + \varphi_t + \varphi' + \varphi_{b1} + \varphi_{b2} - \varphi_{\epsilon 2}; \quad \varphi_{1aQ}' = \varphi_t + \varphi' + \varphi_{b1}; \quad \varphi_{1aQ}'' = \varphi_t + \varphi' + \varphi_{b2}$$

- pentru motoarele asincrone de categoria II :

$$(A.3.6.20) \quad \varphi_{1aQ} = \frac{\pi}{2} + \varphi_t + \varphi' + \varphi_{b1}; \quad \varphi_{1aQ}' = \varphi_t + \varphi' + \varphi_{b1}$$

În care unghiurile φ_{b1} , φ_{b2} , $\varphi_{\epsilon 2}$ sînt date de (A.3.2.35), iar unghiul φ' este dat de relația (3.79) pentru motoarele asincrone de categoria I și de (3.138) pentru cele de categoria II.

Se notează :

- pentru motoarele asincrone de categoria I :

$$(A.3.6.21) \quad Q_a = \omega \sqrt{\frac{\omega^2(1-s)^2 + (\epsilon_2 - a)^2}{[\omega^2(1-s)^2 + (l_1 - a)^2][\omega^2(1-s)^2 + (l_2 - a)^2]}}; \quad Q' = \frac{\omega (l_1 - \epsilon_2)}{\left[l_1 + l_1 \frac{\epsilon_2}{l_2} - \epsilon_0\right] \sqrt{\omega^2(1-s)^2 + (l_1 - a)^2}}; \\ Q'' = \frac{\omega (l_2 - \epsilon_2)}{\left[l_2 + l_1 \frac{\epsilon_2}{l_2} - \epsilon_0\right] \sqrt{\omega^2(1-s)^2 + (l_2 - a)^2}}; \quad I_{aQ} = \frac{U_0' Q_a}{X_1'}; \quad I_Q' = \frac{U_0' Q'}{X_1'}; \quad I_Q'' = U_0' Q'' \left[\frac{1}{X_2''} - \frac{1}{X_2'}\right]$$

- pentru motoarele asincrone de categoria II :

$$(A.3.6.22) \quad Q_a = Q' = \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2(1-s)^2 + (l_1 - a)^2}}; \quad I_{aQ} = \frac{U_0' Q_a}{X_1'}; \quad I_Q' = \frac{U_0' Q'}{X_1'}$$

Curentul de scurtcircuit al fazei vs ($v = 1, 2, 3$) va fi dat de :

$$(A.3.6.23) \quad i_{v1Q} = \operatorname{Re} \left\{ \bar{J}_{B_{1Q}} \exp [j\tau_n] \exp \left[j(1-v) \frac{2\pi}{3} \right] \right\}$$

Înlocuind expresiile (A.3.6.17) în (A.3.6.23) și avînd în vedere relațiile (A.3.6.19) și (A.3.6.21) rezultă relația (3.82) a curentului de scurtcircuit indirect pentru motoarele asincrone de categoria I.

Înlocuind (A.3.6.18) în (A.3.6.23) și avînd în vedere relațiile (A.3.6.20) și (A.3.6.22) rezultă relația (3.139) a curentului de scurtcircuit indirect pentru motoarele asincrone de categoria II.

A N E X A 3.7

Determinarea parametrilor din schemele echivalente corespunzătoare modelelor MA-2C-DCR-UR, respectiv MA-1C-DCR-UR ale motoarelor asincrone în funcție de parametrii lor tranzitorii.

a) Motoare asincrone de categoria I :

Relațiile (3.7) cu mărimi în u.r. se pot scrie sub forma :

(A.3.7.1) $x_1^1 = \tilde{x}_1(\sigma_1 + \sigma_3 - \sigma_1\sigma_3); x_2^1 = \tilde{x}_2(\sigma_2 + \sigma_3 - \sigma_2\sigma_3); x_m^1 = \tilde{x}_m\sigma_3$
iar coeficienții de scăpări dați de relațiile (3.8) sub forma :

(A.3.7.2) $\sigma_3 = 1 - \frac{\tilde{x}_m}{x_m} = \frac{\tilde{x}_m\sigma}{x_m}; \sigma_1 = 1 - \frac{\tilde{x}_m}{x_1} = \frac{\tilde{x}_m\sigma}{x_1}; \sigma_2 = 1 - \frac{\tilde{x}_m}{x_2} = \frac{\tilde{x}_m\sigma}{x_2};$

(A.3.7.3) $\sigma_{12} = \sigma_1 + \sigma_2 - \sigma_1\sigma_2; \sigma_{12}^1 = \frac{(\sigma_1 + \sigma_2)\sigma_3 + \sigma_1\sigma_2(1 - \sigma_3)}{(\sigma_1 + \sigma_3 - \sigma_1\sigma_3)(\sigma_2 + \sigma_3 - \sigma_2\sigma_3)}$

Avînd în vedere relațiile (A.3.7.1), constantele de timp în u.r. date de relațiile (3.9) vor fi :

(A.3.7.4) $t_1 = \tilde{x}_1/\tilde{r}_1; t_2 = \tilde{x}_2/\tilde{r}_2; t_{1\sigma} = t_1\sigma_1; t_{2\sigma} = t_2\sigma_2; t_1^1 = t_1(\sigma_1 + \sigma_3 - \sigma_1\sigma_3); t_2^1 = t_2(\sigma_2 + \sigma_3 - \sigma_2\sigma_3)$

Cu notațiile (3.90) și avînd în vedere relațiile (A.3.7.3), (A.3.7.4), relațiile (3.10) și (3.11) cu mărimile în u.r. devin :

(A.3.7.5) $t_1 t_2 [(\sigma_1 + \sigma_2)\sigma_3 + \sigma_1\sigma_2(1 - 2\sigma_3)] = B^2$ (A.3.7.6) $\sigma_3(t_1 + t_2) + (1 - \sigma_3)(t_1\sigma_1 + t_2\sigma_2) = B_0$

(A.3.7.7) $t_1 t_2 (\sigma_1 + \sigma_2 - \sigma_1\sigma_2) = C^2$ (A.3.7.8) $t_1 + t_2 = C_0$

Avînd în vedere relațiile (A.3.7.5) și (A.3.7.7), relația (3.18) cu mărimi în u.r. se poate scrie sub forma :

(A.3.7.9) $\frac{x_1^1}{x_2^1} = \frac{[\sigma_1 + \sigma_2 - \sigma_1\sigma_2] [(t_1^1)^2 - B^2]}{[(\sigma_1 + \sigma_2)\sigma_3 + \sigma_1\sigma_2(1 - 2\sigma_3)] [t_1^1 C_0 - (B^2 + C^2)]}$

iar relația (3.40), cu mărimile în u.r., sub forma :

(A.3.7.10) $\frac{x_0^1}{t_{12}} = r_s$

Relațiile (A.3.7.5), ..., (A.3.7.10) constituie sistemul (3.91), în care necunoscutele sînt coeficienții de scăpări $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, constantele de timp t_1, t_2 și rezistența înfășurării statorice r_s .

În scopul rezolvării acestui sistem se procedează astfel : din (A.3.7.6) și (A.3.7.8) rezultă :

(A.3.7.11) $t_1 = \frac{C_0(\sigma_2 - \sigma_3 - \sigma_2\sigma_3) - B_0}{(\sigma_2 - \sigma_1)(1 - \sigma_3)}$ (A.3.7.12) $t_2 = \frac{B_0 - C_0(\sigma_1 + \sigma_3 - \sigma_1\sigma_3)}{(\sigma_2 - \sigma_1)(1 - \sigma_3)}$

Introducînd notațiile :

(A.3.7.13) $\beta_1 = \sigma_1 + \sigma_2; \beta_2 = \sigma_1\sigma_2$

și înmulțind relațiile (A.3.7.11) și (A.3.7.12) rezultă :

(A.3.7.14) $t_1 t_2 = \frac{C_0(1 - \sigma_3)(B_0 - C_0\sigma_3)\beta_1 - C_0^2(1 - \sigma_3)^2\beta_2 - (C_0 - C_0\sigma_3)^2}{(1 - \sigma_3)^2(\beta_1^2 - 4\beta_2)}$

iar din relațiile (A.3.7.5) și (A.3.7.7) rezultă :

(A.3.7.15) $t_1 t_2 = \frac{B^2}{\beta_1\sigma_3 + \beta_2(1 - 2\sigma_3)}$ (A.3.7.16) $t_1 t_2 = \frac{C^2}{\beta_1 - \beta_2}$

Din egalarea relației (A.3.7.15) cu relația (A.3.7.16) rezultă :

(A.3.7.17) $\beta_2 = \frac{C^2\sigma_3 - B^2}{2C^2\sigma_3 - B^2 - C^2} \beta_1$

În scopul determinării coeficientului de scăpări σ_3 , relația (A.3.7.9) se va scrie sub forma :

(A.3.7.18) $\frac{\sigma_3 + \frac{\beta_2}{\beta_1}(1 - 2\sigma_3)}{1 - \frac{\beta_2}{\beta_1}} = \frac{x_1^1 [(t_1^1)^2 - B^2]}{x_2^1 [t_1^1 C_0 - (B^2 + C^2)]}$

Deoarece la motoarele asincrone de categoria I $\sigma_1 \ll \sigma_2$, rezultă că $\beta_2/\beta_1 \ll 1$

și ca urmare raportul β_2/β_1 se poate neglija în raport cu unitatea la numitorul membrului din stînga relației (A.3.7.18) și ca urmare se va putea scrie :

$$(A.3.7.19) \quad \sigma_s + \frac{\beta_2}{\beta_1} (1-2\sigma_s) \approx \frac{x_s'' [(t_s')^2 - B^2]}{x_s' [t_s' C_0 - (B^2 + C^2)]}$$

Inlocuind în relația (A.3.7.19) relația (A.3.7.17) și efectuind calculele rezultă :

$$(A.3.7.20) \quad \sigma_s = \frac{x_s'' [B^2 + C^2] [(t_s')^2 - B^2] - x_s' B^2 [t_s' C_0 - B^2 - C^2]}{2x_s'' C^2 [(t_s')^2 - B^2] - x_s' B^2 [t_s' C_0 - B^2 - C^2]}$$

Egalînd relațiile (A.3.7.14) cu (A.3.7.16) și avînd în vedere (A.3.7.17) rezultă :

$$(A.3.7.21) \quad \beta_1 = \frac{\varphi(\sigma_s) [2C^2\sigma_s - B^2 - C^2]}{F(\sigma_s) [1 - \sigma_s]}$$

unde funcțiile $\varphi(\sigma_s)$ și $F(\sigma_s)$ au expresiile :

$$(A.3.7.22) \quad \varphi(\sigma_s) = \sigma_s^2 (C_0^2 - 4C^2) + \sigma_s (4B^2 + 4C^2 - 2B_0 C_0) + B_0^2 - 4B^2$$

$$(A.3.7.23) \quad F(\sigma_s) = -C^2 \varphi(\sigma_s) + C^2 B_0^2 + B^2 C_0^2 + (B^2 + C^2)(B^2 + C^2 - B_0 C_0) - 4B^2 C^2$$

Avînd în vedere relația (A.3.7.21), relația (A.3.7.17) devine :

$$(A.3.7.24) \quad \beta_2 = \frac{\varphi(\sigma_s) [C^2 \sigma_s - B^2]}{F(\sigma_s) [1 - \sigma_s]}$$

Avînd în vedere relațiile (A.3.7.13), (A.3.7.21), (A.3.7.24), precum și faptul că la motoarele de categoria I $\sigma_1 < \sigma_2$, rezultă :

$$(A.3.7.25) \quad \sigma_1 = \frac{1}{2(1-\sigma_s)} \left[\frac{\varphi(\sigma_s)}{F(\sigma_s)} (2C^2\sigma_s - B^2 - C^2) - \sqrt{\left(\frac{\varphi(\sigma_s)}{F(\sigma_s)} \right)^2 (2C^2\sigma_s - B^2 - C^2)^2 - 4 \frac{\varphi(\sigma_s)}{F(\sigma_s)} (1-\sigma_s) (C^2\sigma_s - B^2)} \right]$$

$$(A.3.7.26) \quad \sigma_2 = \frac{1}{2(1-\sigma_s)} \left[\frac{\varphi(\sigma_s)}{F(\sigma_s)} (2C^2\sigma_s - B^2 - C^2) - \sqrt{\left(\frac{\varphi(\sigma_s)}{F(\sigma_s)} \right)^2 (2C^2\sigma_s - B^2 - C^2)^2 - 4 \frac{\varphi(\sigma_s)}{F(\sigma_s)} (1-\sigma_s) (C^2\sigma_s - B^2)} \right]$$

În concluzie coeficientul de scăpări σ_s se calculează cu relația (A.3.7.20) apoi cu relațiile (A.3.7.22), (A.3.7.23) se calculează funcțiile $\varphi(\sigma_s)$ și $F(\sigma_s)$ și în final se calculează coeficienții de scăpări σ_1 și σ_2 cu relațiile (A.3.7.25), (A.3.7.26). Cunoscînd coeficienții de scăpări σ_s , σ_1 , σ_2 se calculează constantele de timp t_1 și t_2 cu relațiile (A.3.7.11) și (A.3.7.12), iar cu relațiile (3.90) se determină parametrii din schema echivalentă, corespunzătoare modelului MA-2C-DCR-UR al motorului asincron de categoria I.

b) Motoare asincrone de categoria II

Avînd în vedere că pentru motorul asincron de categoria II există relațiile:

$$(A.3.7.27) \quad x_{10} = x_s - x_m; \quad x_{10} = x_1 - x_m$$

în care toate mărimile sînt în u.r., relațiile (3.105), (3.106) cu mărimile în u.r., după prelucrări adecvate, se pot scrie sub forma :

$$(A.3.7.28) \quad x_s = x_{10} + x_m; \quad (A.3.7.28)$$

$$(A.3.7.30) \quad t_{s0}' = \frac{x_{10} + x_m}{a_1} \quad (A.3.7.31)$$

$$(A.3.7.32) \quad t_{1s2} = \frac{x_s}{a_2}$$

Din ecuațiile (A.3.7.30) și (A.3.7.31) rezultă :

$$x_s' = \frac{x_m (x_{10} + x_{10}') + x_{10} x_{20}'}{x_m + x_{10}'}$$

$$t_s' = \frac{x_m (x_{10} + x_{10}') + x_{10} x_{20}'}{a_2 (x_m + x_{10}')}$$

$$(A.3.7.33) \quad \frac{t'_{20}}{t'_2} = \frac{x_m^2 + x_m(x_{1\sigma} + x_{2\sigma}) + x_{1\sigma}x_{2\sigma}}{x_m(x_{1\sigma} + x_{2\sigma}) + x_{1\sigma}x_{2\sigma}}$$

Deoarece $x_{1\sigma} \ll x_m$; $x_{2\sigma} \ll x_m$, produsul $x_{1\sigma}x_{2\sigma}$ se poate neglija în raport cu ceilalți termeni rezultând :

$$(A.3.7.34) \quad \frac{t'_{20}}{t'_2} \approx \frac{x_m + x_{1\sigma} + x_{2\sigma}}{x_{1\sigma} + x_{2\sigma}} \quad (A.3.7.35) \quad x_{1\sigma} + x_{2\sigma} \approx \frac{t'_2 x_m}{t'_{20} - t'_2}$$

Din ecuațiile (A.3.7.28) și (A.3.7.35) rezultă :

$$(A.3.7.36) \quad x_{1\sigma} = \frac{t'_{20} x_m - (t'_{20} - t'_2) x_2}{t'_{20} - t'_2}$$

Introducând mărimea $x_{2\sigma}$ dată de (A.3.7.27) și $x_{1\sigma}$ dată de (A.3.7.36) în relația (A.3.7.29), rezultă următoarea ecuație în care necunoscuta este x_m :

$$(A.3.7.37) \quad x_m^2 - \frac{2t'_{20} - t'_2}{t'_{20} - t'_2} (x_2 - x'_2) x_m + x_2 (x_2 - x'_2) = 0$$

Din cele două soluții ale ecuației (A.3.7.37) convine numai soluția :

$$(A.3.7.38) \quad x_m = \frac{(2t'_{20} - t'_2)(x_2 - x'_2) + \sqrt{(2t'_{20} - t'_2)^2 (x_2 - x'_2)^2 - 4(t'_{20} - t'_2) x_2 (x_2 - x'_2)}}{2(t'_{20} - t'_2)}$$

Din ecuația (A.3.7.30) rezultă :

$$(A.3.7.39) \quad r_1 = \frac{x_{1\sigma} + x_m}{t'_{20}}$$

în care dacă se introduce relația (A.3.7.36) rezultă :

$$(A.3.7.40) \quad r_1 = \frac{(2t'_{20} - t'_2)x_m - (t'_{20} - t'_2)x_2}{t'_2 (t'_{20} - t'_2)}$$

unde x_m este dată de relația (A.3.7.38).

Reactanțele $x_{1\sigma}$, $x_{2\sigma}$ sînt date de (A.3.7.36) și (A.3.7.27), în care x_m este dată de (A.3.7.38). Rezistența r_2 rezultă din (A.3.7.32) :

$$(A.3.7.41) \quad r_2 = \frac{x'_2}{t'_{20}}$$

A N E X A 3.8

Determinarea caracteristicilor de frecvență ale motoarelor asincrone din parametrii lor tranzitorii.

Atît pentru motoarele asincrone de categoria I, cît și pentru cele de categoria II, caracteristica de frecvență în u.r. :

$$(A.3.8.1) \quad g = f(\ell)$$

la aplicarea tensiunii unitate +j, se obține din relația :

$$(A.3.8.2) \quad \ell + jg = \frac{\dot{i}}{jx_\lambda(j\omega) + r_\lambda}$$

în care mărimea $x_\lambda(j\omega)$ caracterizează regimul staționar la alunecarea s și se obține făcînd $p = js$ în reactanța operațională a motorului, scrisă în u.r.

a) Motoare asincrone de categoria I

În u.r. reactanța operațională, $x(p)$, dată de relația (3.19), care se va scrie sub forma :

$$(A.3.8.3) \quad x_2(p) = x_2'' \frac{p^2 + p \frac{B_0}{B^2} + \frac{1}{B^2}}{p^2 + p \frac{C_0}{C^2} + \frac{1}{C^2}}$$

în care și operatorul p este exprimat în u.r.

Avînd în vedere relația (A.3.8.3) și relația (3.40), scrisă în u.r., relația (A.3.8.2) se va scrie sub forma :

$$(A.3.8.4) \quad b + jq = \frac{j}{j x_2'' \frac{B^2(j\lambda)^2 + B_0(j\lambda) + 1}{C^2(j\lambda)^2 + C_0(j\lambda) + 1} \frac{C^2}{B^2} + \frac{x_2''}{t_{2a}}}$$

După separarea părții reale și a celei imaginare în membrul drept al relației (A.3.8.4) rezultă :

$$(A.3.8.5) \quad b + jq = \frac{1}{x_2''} \frac{\Lambda(\lambda)}{[\Lambda(\lambda)]^2 + [\Gamma(\lambda)]^2} + j \frac{\Gamma(\lambda)}{x_2''} \frac{\Gamma(\lambda)}{[\Lambda(\lambda)]^2 + [\Gamma(\lambda)]^2}$$

unde $\Lambda(\lambda)$ și $\Gamma(\lambda)$ sînt funcții de alunecarea s și sînt date de relațiile :

$$(A.3.8.6) \quad \Lambda(\lambda) = \frac{C^2[(1-s^2B^2)(1-s^2C^2) + s^2B_0C_0]}{B^2[(1-s^2C^2)^2 + s^2C_0^2]} \quad \Gamma(\lambda) = \frac{C^2[sC_0(1-s^2B^2) - sB_0(1-s^2C^2)]}{B^2[(1-s^2C^2)^2 + s^2C_0^2]} + \frac{1}{t_{2a}}$$

Relația (A.3.8.5) conduce la relațiile (3.97) și (3.98).

b) Motoare asincrone de categoria II.

În u.r. reacțiunea operațională, dată de relația (3.107) se scrie sub forma :

$$(A.3.8.7) \quad x_2(p) = x_2' \frac{t_{2a}' \frac{p t_{2a}' + 1}{t_{2a}' p t_{2a}' + 1}}{t_{2a}'}$$

unde operatorul p este în u.f.:

Avînd în vedere relația (A.3.8.7) și ultima din relațiile (B.105) reflexă în u.r., relația (A.3.8.2) pentru motorul asincron de categoria II se va scrie sub forma :

$$(A.3.8.8) \quad b + jq = \frac{j}{j x_2' \frac{t_{2a}'(j\lambda t_{2a}' + 1)}{t_{2a}'(j\lambda t_{2a}' + 1)} + \frac{x_2'}{t_{2a}'}}$$

După separarea părții reale și a celei imaginare din membrul al doilea al relației (A.3.8.8) rezultă :

$$(A.3.8.9) \quad b + jq = \frac{1}{x_2'} \frac{\Lambda(\lambda)}{[\Lambda(\lambda)]^2 + [\Gamma(\lambda)]^2} + j \frac{\Gamma(\lambda)}{x_2'} \frac{\Gamma(\lambda)}{[\Lambda(\lambda)]^2 + [\Gamma(\lambda)]^2}$$

unde $\Lambda(\lambda)$ și $\Gamma(\lambda)$ sînt funcții de alunecarea s și au expresiile :

$$(A.3.8.10) \quad \Lambda(\lambda) = \frac{t_{2a}'(1 + s^2 t_{2a}'^2)}{t_{2a}'[1 + s^2(t_{2a}')^2]} ; \quad \Gamma(\lambda) = \frac{t_{2a}'(t_{2a}' - t_{2a}')}{t_{2a}'[1 + s^2(t_{2a}')^2]} + \frac{1}{t_{2a}'}$$

Relația (A.3.8.9) conduce la relațiile (3.148) și (3.149).

ANEXE REFERITOARE LA CAPITOLUL 4

ANEXA 4.1

PROGRAM: REZOLVAREA ECUAȚIEI TRANSCENDENTE 3.63. PENTRU DETERMINAREA TIMPULUI LA CARE APARE CURENTUL DE ȘOC MAXIM

```

JOB E5323001, AN: PE11, PN: GHEZU
CMPILF FORTRAN
REAL I1, I2, I3
READ(105, 10) I1, I2, I3, U1, A3, B0
10 FORMAT(6F16, 8)
WRITE(108, 50) I1, I2, I3, U1, A3, B0
50 FORMAT(6F16, 8)
READ(105, 11) B1, B2, W, T1, T2, T3
11 FORMAT(6F16, 8)
WRITE(108, 51) B1, B2, W, T1, T2, T3
51 FORMAT(6F16, 8)
READ(105, 12) C, D, E, P, R
12 FORMAT(5F10, 6)
WRITE(108, 52) C, D, E, P, R
52 FORMAT(5F10, 6)
S=0
13 V1=ATAN((A3+B1)/((1-S)*W))
V2=ATAN((A3+B2)/((1-S)*W))
U2=ATAN((S*(1-S)*W**2-B1*(A3-B1))/
-((1-2*S)*W*B1+S*W*A3))
U3=ATAN((S*(1-S)*W**2-B2*(A3-B2))/
-((1-2*S)*W*B2+S*W*A3))
A1=SQRT((A3+B1)**2+W**2*(1-S)**2)
A2=SQRT((A3+B2)**2+W**2*(1-S)**2)
A=I1**2+I2**2+I3**2+2*I1*I2*SIN(U1-U2)
+2*I1*I3*SIN(U1-U3)+2*I2*I3*COS(U2-U3)
U4=ATAN((I1*SIN(V1+U1-U2)+I2*COS(V1)
+I3*COS(V1+U3-U2))/(I1*COS(V2+
-U1-U2)-I2*SIN(V1)-I3*SIN(V1+U3-U2)))
U5=ATAN((I1*SIN(V2+U1-U3)+I3*COS(V2)
+I2*COS(V2+U2-U3))/(I1*COS(V2+
-U1-U3)-I3*SIN(V2)-I2*SIN(V2+U2-U3)))
WRITE(108, 16) S
16 FORMAT(1H, T12, 'S=', F6.3)
WRITE(108, 17)
17 FORMAT(1/1H, T10, 26(' ')/T10, ' ', T17,
- ' ', T35, ' ', /T10, ' ', T12, 'X=T', T17,
- ' ', T22, 'F(X)=F(T)', T35, ' ', /T10, ' ', T17, ' ', T35,
- ' ', /T10, 26(' '))
X=P
14 F=B1*I2**2*EXP((-2*X)/T1)+B2*I3**
-2*EXP((-2*X)/T2)+A3*A*EXP((-2*
-X)/T3)+B0*I2*I3*EXP(-X*(1/T1+1/T2))*
-COS(U2-U3)+A1*SQRT(A)*I2*EXP(-X*1/T3
+1/T1))*COS((1-S)*W*X+U4)+A2*
-SQRT(A)*I3*EXP(-X*1/T3+1/T2))*COS((1-S)*W*X+U5)
WRITE(108, 20) X, F
20 FORMAT(1H, T10, ' ', F9.7, ' ', G17.7, ' ')
IF(X, GT, E) GO TO 15
X=X+B
GO TO 14
15 IF(S, GE, R) GO TO 18
S=S+C
GO TO 13
18 STOP
END

```

ANEXA 4.1

(CONTINUARE)

PROGRAM: DETERMINAREA CURENTULUI DE ȘOC MAXIM, A UNGIULUI DE CŢNECTARE LA CARE APARE ACESTA ȘI A CŢEFICIENŢILŢR DE ȘOC ȘI NOMINALI

```

JOB E5323001,AN:PE11,PN:GHEJU
CŢMPILE FŢRTRAN
DIMENSIŢN TM(21)
REAL I1,I2,I3,IPO,IN,ISŢCM,KSŢC,KNM,M,N
READ(105,10) I1,I2,I3,IPO,IN,W,U1
10 FŢRMAT(7F12,8)
WRITE(108,11) I1,I2,I3,IPO,IN,W,U1
11 FŢRMAT(7F12,8)
READ(105,12) B1,B2,A3,T1,T2,T3,PAS
12 FŢRMAT(7F12,8)
WRITE(108,13) B1,B2,A3,T1,T2,T3,PAS
13 FŢRMAT(F12,8)
101 READ(105,14,END=100)I,TM(I)
14 FŢRMAT(15,F16.8)
WRITE(108,15) I,TM(I)
15 FŢRMAT(1H,T4,15,T14,F16.8)
GO TŢ 101
100 CŢNTINUE
WRITE(108,20)
20 FŢRMAT(1H,T3,118(' '),/T3,'*',T10,'*',T21,'*',T37,'*',
*'T53','*',T69,'*',T85,'*',T103,'*',T121,'*',/T3,'S',T6,
*' ',T10,'*',T15,'TM',T21,'*',T28,'EM',T37,'*',T42,
*'ISŢC',T53,'*',T58,'KSŢC',T69,'*',T75,'KNM',T85,'*',
*'T93','M',T103,'*',T111,'N',T121,'*',/T3,'*',T10,'*',T37,
*' ',T53,'*',T69,'*',T85,'*',T103,'*',T121,'*',/
*'T3,118(' '))
S=0
I=1
21 U2=ATAN((S*(1-S)*W**2-B1*(A3-B1))/
*((1-2*S)*W*B1+S*W*A3))
U3=ATAN((S*(1-S)*W**2-B2*(A3-B2))/
*((1-2*S)*W*B2+S*W*A3))
M=I2*EXP(-TM(I)/T1)*CŢS((1-S)*W*TM(I)-U2)+I3*
*EXP(-TM(I)/T2)*CŢS((1-S)*W*TM(I)-U3)-I1*EXP(-TM(I)/
*T3)*SIN(U1)-I2*EXP(-TM(I)/T3)*CŢS(U2)-I3*EXP(-TM(I)/
*T3)*CŢS(U3)
N=I2*EXP(-TM(I)/T1)*SIN((1-S)*W*TM(I)-U2)+I3*EXP
*(-TM(I)/T2)*SIN((1-S)*W*TM(I)-U3)-I1*EXP(-TM(I)/T3)*
*CŢS(U1)+I2*EXP(-TM(I)/T3)*SIN(U2)+I3*EXP(-TM(I)/T3)*
*SIN(U3)
EM=ATAN(-N/M)
ISŢC=1.41421*(I1*SIN(EM-U1)-I2*CŢS(EM-U2)-I3*CŢS(EM-
-U3))*EXP(-TM(I)/T3)+1.41421*I2*EXP(-TM(I)/T1)*
*CŢS((1-S)*W*TM(I)+EM-U2)+1.41421*I3*EXP(-TM(I)/T2)*
*CŢS((1-S)*W*TM(I)+EM-U3)
D=ABS(ISŢCM)
KSŢC=D/(1.41421*IPO)
KNM=D/(1.41421*IN)
WRITE(108,25) S,TM(I),EM,ISŢC,KSŢC,KNM,M,N
25 FŢRMAT(1H,T3,'*',F6.4,T10,'*',F10.7,T21,'*',G15.7,
*'T37','*',G15.7,T53,'*',G15.7,T69,'*',G15.7,T85,'*',
*'G17.7,T103,'*',G17.7,'*')
S=I*PAS
IF(I.GE.21) GO TŢ 30
I=I+1
GO TŢ 21
30 STŢP
END

```



ANEXA 4.2

ANEXA 4.2. Cokulul parametrilor schemei echivalente a modelului MA-2C-DCR din datele geometrice si constructive ale mbloacelor de satgecra T

Nr crt	Simbol	u.m.	Semnificatia simbolului	Valorile marimilor					
				MEC-2-400M-70-2 250 kW; 6 kV	MEC-2-400L-70-2 315 kW; 6 kV	MEC2-450M-75 400 kW; 6 kV	MEC2-450M-75-2 500 kW; 6 kV	MPS2-Ere-2-1-3 -450V-MD-6-1 400 kW; 6 kV	MAB2-400V-12-1 315 kW; 6 kV
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	a_3	-	Numarul de cai in paralel pentru o fază statorică	1	1	1	1	1	1
2	a_{21}	m	Dimensiune a inelului de scurtcircuitare al coliviei rotative superioare (fig. 1.A.4.5)	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$		
3	a_{22}	m	Dimensiune a inelului de scurtcircuitare al coliviei rotative inferioare (fig. 1.A.4.5)	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$		
4	A_n	A/m	Intensitatea de curent nominală	$405,22138 \cdot 10^2$	$395,38978 \cdot 10^2$	$419,94135 \cdot 10^2$	$505,24856 \cdot 10^2$		
5	b	m	Distanța de la partea frontală a rotorului la centrul beșunii, în kiluj (fig. 1.A.4.5)	$3,0 \cdot 10^2$	$3,0 \cdot 10^2$	-	-		
6	b_{23}	m	Lățimea creștăturii statorice	$4,45 \cdot 10^{-2}$	$4,45 \cdot 10^{-2}$	$4,95 \cdot 10^{-2}$	$4,95 \cdot 10^{-2}$	$1,08 \cdot 10^{-2}$	$1,05 \cdot 10^{-2}$
7	b_{24}	m	Lățimea istmului creștăturii statorice	$1,45 \cdot 10^{-2}$	$1,45 \cdot 10^{-2}$	$1,95 \cdot 10^{-2}$	$1,95 \cdot 10^{-2}$	$1,08 \cdot 10^{-2}$	$1,05 \cdot 10^{-2}$
8	b_{25}	m	Lățimea majorată a istmului creștăturii statorice din cauza saturației	$1,7461192 \cdot 10^{-2}$	$1,7544219 \cdot 10^{-2}$	$2,2428869 \cdot 10^{-2}$	$2,2950071 \cdot 10^{-2}$		
9	b_{26}	m	Lățimea dintelui în dreptul istmului creștăturii	$3,6204 \cdot 10^{-2}$	$3,6204 \cdot 10^{-2}$	$2,50109 \cdot 10^{-2}$	$2,50109 \cdot 10^{-2}$		
10	b_{27}	m	Lățimea medie a dintelui	$1,9970253 \cdot 10^{-2}$	$1,9970253 \cdot 10^{-2}$	$1,9813541 \cdot 10^{-2}$	$1,9613541 \cdot 10^{-2}$		
11	b_{28}	m	Lățimea istmului creștăturii rotative	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$
12	b_{29}	m	Lățimea majorată a istmului creștăturii rotative din cauza saturației	$7,368335 \cdot 10^{-5}$	$7,518855 \cdot 10^{-5}$	$5,697151 \cdot 10^{-5}$	$6,3550717 \cdot 10^{-5}$		
13	b_2	m	Lățimea istmului dintre creștătura coliviei inferioare și superioare	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$		
14	b_{21}	m	Dimensiune a inelului de scurtcircuitare al coliviei superioare (fig. 1.A.4.5)	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$		
15	b_{22}	m	Dimensiune a inelului de scurtcircuitare al coliviei rotative inferioare (fig. 1.A.4.5)	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$		
16	b_v	m	Lățimea unui canal radial de ventilație	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$
17	b'_v	m	Lățimea redusă a unui canal de ventilație, determinată de scăderea inducției în mieșter, din cauza existenței canalului radial	$6,6 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-3}$	$7,8 \cdot 10^{-3}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$
18	B_{cr}	T	Valoarea critică a inducției magnetice	2,04	2,04	2,04	2,04		
19	β	-	Pesul relativ al înfășurării	2/3	2/3	2/3	2/3	5/6	4/5
20	γ	-	Factorul de putere la mers în gol	0,095	0,084	0,111	0,106	0,074	0,078
21	D	m	Diametrul interior al statorului	$3,45 \cdot 10^1$	$3,45 \cdot 10^1$	$4,00 \cdot 10^1$	$4,00 \cdot 10^1$	$5,30 \cdot 10^1$	$4,00 \cdot 10^1$
22	δ	m	Intrefier	$2,25 \cdot 10^{-3}$	$2,25 \cdot 10^{-3}$	$2,25 \cdot 10^{-3}$	$2,25 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$1,50 \cdot 10^{-3}$
23	δ'	m	Intrefierul echivalent	$3,118607 \cdot 10^{-3}$	$3,118607 \cdot 10^{-3}$	$3,5237392 \cdot 10^{-3}$	$3,5237392 \cdot 10^{-3}$	$4,8667 \cdot 10^{-3}$	$2,1987234 \cdot 10^{-3}$
24	D_{21}	m	Diametrul mediu al inelului de scurtcircuitare al coliviei superioare	$3,21 \cdot 10^1$	$3,21 \cdot 10^1$	$3,735 \cdot 10^1$	$3,735 \cdot 10^1$		
25	D_{22}	m	Diametrul mediu al inelului de scurtcircuitare al coliviei inferioare	$2,76 \cdot 10^1$	$2,76 \cdot 10^1$	$3,135 \cdot 10^1$	$3,135 \cdot 10^1$		
26	D_{23}	m	Diametrul barei coliviei superioare	$9,50 \cdot 10^{-3}$	$9,50 \cdot 10^{-3}$	$8,50 \cdot 10^{-3}$	$8,50 \cdot 10^{-3}$		
27	D_{24}	m	Diametrul barei coliviei inferioare	$1,20 \cdot 10^{-2}$	$1,20 \cdot 10^{-2}$	$1,20 \cdot 10^{-2}$	$1,20 \cdot 10^{-2}$		
28	e	-	Scutirea posului înfășurării statorice	6	6	6	6	2	3
29	γ_s	-	Coefficient pentru calculul coeficientului lui Carter pentru stator	3,6289105	3,6289105	5,495935	5,495935	5,4728446	4,0833333
30	γ_r	-	Coefficient pentru calculul coeficientului lui Carter pentru rotor	0,1341719	0,1341719	0,1341719	0,1341719	0,7783784	0,57142857
31	h_1	m	Dimensiune referitoare la creștătura statorică (fig. 1.A.4.5)	$3,95 \cdot 10^{-3}$	$3,91 \cdot 10^{-3}$	$3,77 \cdot 10^{-3}$	$3,70 \cdot 10^{-3}$	$4,90 \cdot 10^{-3}$	$4,40 \cdot 10^{-3}$
32	h_2	m	Dimensiune referitoare la creștătura statorică (fig. 1.A.4.5)	$7,70 \cdot 10^{-3}$	$7,90 \cdot 10^{-3}$	$8,90 \cdot 10^{-3}$	$9,40 \cdot 10^{-3}$	$7,90 \cdot 10^{-3}$	$8,40 \cdot 10^{-3}$
33	h_3	m	Dimensiune referitoare la creștătura statorică (fig. 1.A.4.5)	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$8,00 \cdot 10^{-3}$	$7,00 \cdot 10^{-3}$	$5,00 \cdot 10^{-3}$	$6,00 \cdot 10^{-3}$
34	h_{23}	m	Înălțimea creștăturii statorice	$5,0 \cdot 10^{-1}$	$5,0 \cdot 10^{-1}$	$5,05 \cdot 10^{-1}$	$5,05 \cdot 10^{-1}$	$6,00 \cdot 10^{-1}$	$5,60 \cdot 10^{-1}$
35	h_{24}	m	Înălțimea istmului comun al creștăturilor celor două colivii rotative	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$4,00 \cdot 10^{-3}$	$4,00 \cdot 10^{-3}$		
36	H_{cr}	A/m	Valoarea critică a intensității cimpului magnetic	$0,3 \cdot 10^6$	$0,3 \cdot 10^6$	$0,30 \cdot 10^6$	$0,30 \cdot 10^6$	$0,30 \cdot 10^6$	$0,30 \cdot 10^6$
37	I_n	A	Curentul nominal	30,5	37,2	47,4	58,8	50,2	37,2
38	I_p	-	Curentul de pornire în unități relative	5,3	5,5	5,0	5,0	7,0	6,2
39	I_b	A	Curentul de mers în gol	25	9,6	11,8	13,9	21,4	15,0
40	I_m	A	Curentul de magnetizare	7,466	9,566	41,727081	13,824689	21,341	12,860
41	k_{b1}	-	Factor de înfășurare pentru stator	0,8280438	0,8280438	0,8280439	0,8280439	0,925	0,9098341
42	k_{p1}	-	Factor de repartiție pentru stator						
43	k_{y1}	-	Factor de scutire pentru stator						
44	k_{r1}	-	Factor de înfășurare pentru rotor						
45	k_c	-	Coefficientul lui Carter	1,5838492	1,5838492	1,5661035	1,5661035	1,5093	1,4658156
46	k_{cs}	-	Coefficientul lui Carter pentru stator	1,3721204	1,3721204	1,34860	1,36840	1,43166	1,4134323
47	k_{cr}	-	Coefficientul lui Carter pentru rotor	1,0079649	1,0079649	1,0113028	1,0113028	1,05426	1,0570614
48	k_2	-	Coefficientul de reducere al impedanțelor (inductivităților, reacțanțelor, rezistențelor) circuitei rotative la stator	$1,6825921 \cdot 10^4$	$1,0831446 \cdot 10^4$	$2,3432177 \cdot 10^3$	$1,793290 \cdot 10^3$	$6,87684 \cdot 10^3$	$1,2912682 \cdot 10^4$
49	k_{sat}	-	Coefficientul de saturație	1,1586673	1,1741926	1,3728844	1,3728844		

ANEXA 4.2

(CONTINUARE)

ANEXA 4.2 (CONTINUARE)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50	k_{01}	-	Coefficient pentru calculul permeanței specifice a scăpărilor diferențiale ale statorului	0,8975764	0,8975764	0,8402308	0,8402308	0,8642841	0,8644691
51	k_{02}	-	Coefficient pentru calculul permeanței specifice a scăpărilor diferențiale ale rotorului	1	1	1	1	1	1
52	k_f	-	Coefficient pentru calculul permeanței specifice a scăpărilor în părțile frontale pentru bobina în manta în două straturi	0,54	0,54	0,57	0,57	0,54	0,54
53	k_p	-	Coefficienți pentru calculul permeanței specifice a scăpărilor în creștătura	$k_p' = 0,75$ $k_p'' = 0,8125$	$k_p' = 0,75$ $k_p'' = 0,8125$	$k_p' = 0,75$ $k_p'' = 0,8125$	$k_p' = 0,75$ $k_p'' = 0,8125$	$k_p' = 0,875$ $k_p'' = 0,90625$	$k_p' = 0,875$ $k_p'' = 0,8875$
54	l_g	m	Lungimea geometrică	$3,5 \cdot 10^{-1}$	$4,4 \cdot 10^{-1}$	$3,2 \cdot 10^{-1}$	$4,0 \cdot 10^{-1}$	$4,8 \cdot 10^{-1}$	$4,8 \cdot 10^{-1}$
55	l_i	m	Lungimea ideală	$3,17 \cdot 10^{-1}$	$3,938 \cdot 10^{-1}$	$2,87 \cdot 10^{-1}$	$3,538 \cdot 10^{-1}$	$4,254 \cdot 10^{-1}$	$3,625 \cdot 10^{-1}$
56	l_{1b}	m	Lungimea barei coliviei superioare	$4,1 \cdot 10^{-1}$	$5,0 \cdot 10^{-1}$	$3,92 \cdot 10^{-1}$	$4,270 \cdot 10^{-1}$		
57	l_{2b}	m	Lungimea barei coliviei inferioare	$3,5 \cdot 10^{-1}$	$4,4 \cdot 10^{-1}$	$4,34 \cdot 10^{-1}$	$5,140 \cdot 10^{-1}$		
58	λ_{sr} ($\lambda_{sr}^{(1)}$)	-	Permeanța specifică a scăpărilor în creștătura statorică (valoare saturată)	1,1280172 (1,0604748)	1,1303161 (1,0594135)	0,85737179 (0,81267162)	0,8679487 (0,81359885)	1,9864969	2,0292063
59	λ_{sd} ($\lambda_{sd}^{(1)}$)	-	Permeanța specifică a scăpărilor diferențiale a statorului (valoare saturată)	0,6099264 (0,5277699)	0,6099264 (0,5194433)	0,5288359 (0,3854252)	0,5288359 (0,38353603)	0,5780207	0,4209819
60	λ_{s1}	-	Permeanța specifică a scăpărilor în părțile frontale ale înfășurării statorice	2,9235178	2,353204	3,7436398	3,0368136	1,0944563	1,7289633
61	λ_{1b}	-	Permeanța specifică a scăpărilor în creștătura coliviei superioare	0,66	0,66	0,66	0,66		
62	λ_{1i}	-	Permeanța specifică a scăpărilor frontale a coliviei superioare	2,2120232	1,7806281	4,6852784	3,8006639		
63	λ_{2b}	-	Permeanța specifică a scăpărilor în creștătura coliviei inferioare	5,980	5,980	6,430	6,680		
64	λ_{2i}	-	Permeanța specifică a scăpărilor frontale a coliviei inferioare	1,8638769	1,5003783	3,1933481	2,5904209		
65	λ_{12c} ($\lambda_{12c}^{(1)}$)	-	Permeanța specifică a scăpărilor din istmul comun celor două colivii (valoare saturată)	1,75 (0,4750055)	1,75 (0,4654964)	2,00 (0,70210532)	2,00 (0,62941855)	1,3333333	0,8333333
66	λ_{12d} ($\lambda_{12d}^{(1)}$)	-	Permeanța specifică a scăpărilor diferențiale ale rotorului (valoare saturată)	1,0109953 (0,8748162)	1,0109953 (0,86101323)	0,6312475 (0,46004463)	0,6312475 (0,45780962)	0,8251302	0,8985985
67	λ_{12m}	-	Permeanța specifică corespunzătoare inducției mutuale între barele celor două colivii	$\pi/6$	$\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/4$		
68	m_s	-	Numărul de fațe ale înfășurării statorice	3	3	3	3	3	3
69	m_r	-	Numărul de fațe ale înfășurării rotorice						
70	μ'	-	Valoarea echivalentă a permeabilității relative a dintelui	6,7639908	6,5600669	6,7649117	5,7429364		
71	n_v	-	Numărul canalelor radiale de ventilație	5	7	5	7	7	5
72	n_{cs}	-	Numărul de conductoare dintre creștătura statorică	40	32	36	30	20	26
73	q_s	-	Numărul de creștături pe pol și fază al înfășurării statorice	6	6	6	6	4	5
74	q_r	-	Numărul de creștături pe pol și fază al înfășurării rotorice	14/3	14/3	23/3	23/3	49/3	13/3
75	p	-	Numărul perechilor de poli	1	1	1	1	3	2
76	R_b	Ω	Rezistența lazei înfășurării statorice (medie) în jiga tehnică	2,44	1,64	1,42	1,00	1,174	2,200
77	R_1	Ω	Rezistența lazei coliviei superioare raportată la stator	1,8301746	1,280337	2,0239343	1,4682204		
78	R_{1b}	Ω	Rezistența barei coliviei superioare						
79	R_{1i}	Ω	Rezistența unui segment inelar al coliviei superioare						
80	R_2	Ω	Rezistența lazei coliviei inferioare raportată la stator	2,0088641	1,2040689	0,98231928	0,7842203		
81	R_{2b}	Ω	Rezistența barei coliviei inferioare						
82	R_{2i}	Ω	Rezistența unui segment inelar al coliviei inferioare						
83	R_{cu}	$\frac{\Omega}{m^2}$	Rezistivitatea cuprului	1/57	1/57	1/57	1/57	1/57	1/57
84	ρ_{d1}	-	Factor pentru calculul permeanței specifice a scăpărilor diferențiale ale statorului	0,608	0,608	0,55	0,55	0,728	0,728
85	ρ_{d2}	-	Factor pentru calculul permeanței specifice a scăpărilor diferențiale ale rotorului	1	1	1	1	1	1
86	ρ_{d3}	-	Factor pentru calculul permeanței specifice a scăpărilor diferențiale ale statorului	0,0052	0,0052	0,0052	0,0052	0,0062	0,0043
87	ρ_{d4}	-	Factor pentru calculul permeanței specifice a scăpărilor diferențiale ale rotorului	$4,2845300 \cdot 10^{-3}$	$4,215306 \cdot 10^{-3}$	$1,5567108 \cdot 10^{-3}$	$1,5567108 \cdot 10^{-3}$	$1,0083829 \cdot 10^{-3}$	$4,8727814 \cdot 10^{-3}$
88	τ	m	Pasul polar	$5,491925 \cdot 10^{-1}$	$5,49125 \cdot 10^{-1}$	$6,283185 \cdot 10^{-1}$	$6,283185 \cdot 10^{-1}$	$2,7227 \cdot 10^{-1}$	$3,1416 \cdot 10^{-1}$
89	τ_s	m	Pasul creștăturii statorice	$3,0107 \cdot 10^{-1}$	$3,0107 \cdot 10^{-1}$	$3,49066 \cdot 10^{-1}$	$3,49066 \cdot 10^{-1}$	$2,268928 \cdot 10^{-1}$	$2,094 \cdot 10^{-1}$
90	τ_r	m	Pasul creștăturii rotorice	$3,8204 \cdot 10^{-1}$	$3,8204 \cdot 10^{-1}$	$2,70109 \cdot 10^{-1}$	$2,70109 \cdot 10^{-1}$	$1,890498 \cdot 10^{-1}$	$2,3785 \cdot 10^{-1}$

ANEXA 4.2
(CONTINUARE)

ANEXA 4.2. (CONTINUARE)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
91	Z_s	-	Numărul de creștături ale statorului	36	36	36	36	72	60
92	Z_r	-	Numărul de creștături ale rotorului	28	28	46	46	86	52
93	γ_r	-	Pasul diametral al înfășurării statorice	18	18	18	18	12	15
94	γ_s	-	Pasul principal al înfășurării statorice	12	12	12	12	10	12
95	w_s	-	Numărul de spire pe fază a înfășurării statorice	240	192	216	180	240	260
96	U_n	V	Tensiunea nominală între faze a înfășurării statorice	6000	6000	6000	6300	6000	6000
97	U_{nf}	V	Tensiunea nominală de fază a înfășurării statorice	$6000/\sqrt{3}$	$6000/\sqrt{3}$	$6000/\sqrt{3}$	$6000/\sqrt{3}$	$6000/\sqrt{3}$	$6000/\sqrt{3}$
98	X_m ($X_{(1)}$) ($X_{(2)}$)	Ω	Reactanța mutuală stator-rotor. (Valoare saturată)	523,26134 (452,77852)	416,02082 (354,30377)	392,90199 (286,35409)	336,35403 (243,93993)	242,04179	347,82417
99	X_w ($X_{(1)}$) ($X_{(2)}$)	Ω	Reactanța de dispersie a înfășurării statorice (Valoare saturată)	11,200146 (10,840447)	7,8199824 (7,5116766)	9,0392487 (8,7077805)	6,6880244 (6,3868525)	5,8991273	8,085978
100	$X_{1\sigma}$	Ω	Reactanța proprie de dispersie a coliviei superioare, raportată la stator	6,0835804	4,4098258	5,0544675	3,6107069		
101	$X_{2\sigma}$	Ω	Reactanța proprie de dispersie a coliviei inferioare, raportată la stator	4,615792	12,596369	9,099248	7,503989		
102	$X_{12\sigma}$ ($X_{12\sigma}$) ($X_{12\sigma}$)	Ω	Reactanța de dispersie corespunzătoare sașpărilor din istmul comun al creștăturii rotorice, raportată la stator. (Valoare saturată)	3,7068871 (4,0061667)	2,9468624 (0,7838593)	1,8910774 (0,66386775)	1,6189101 (0,50948602)	4,3398729	4,339937
103	$X_{2\sigma}$ ($X_{2\sigma}$) ($X_{2\sigma}$)	Ω	Reactanța de dispersie corespunzătoare sașpărilor diferențiale ale rotorului (Valoare saturată)	2,145117 (1,8530321)	1,7024366 (1,4498786)	0,5968689 (0,4350888)	0,5109665 (0,37057633)	0,95294673	1,6605421
104	$X_{12\sigma}$	Ω	Reactanța mutuală de dispersie între bara coliviei superioare și inferioare	1,6636471	4,325488	0,7426244	0,6357445		
105	$X_{1\sigma}$ ($X_{1\sigma}$) ($X_{1\sigma}$)	Ω		5,8483988 (2,8592188)	4,6492990 (2,2337378)	2,4879463 (1,0988766)	2,1298766 (0,6800623)	2,4928196	3,2004791
106	$X_{1\sigma}$ ($X_{1\sigma}$) ($X_{1\sigma}$)	Ω		530,77339 (457,30138)	421,99268 (357,86005)	396,13256 (288,19559)	339,12045 (245,45574)	244,53461	351,02464
107	$X_{2\sigma}$ ($X_{2\sigma}$) ($X_{2\sigma}$)	Ω		534,46149 (463,61896)	423,84081 (361,81345)	401,94124 (295,06187)	343,04285 (250,32678)	247,94092	355,91014
108	$X_{12\sigma}$ ($X_{12\sigma}$) ($X_{12\sigma}$)	Ω		535,19332 (464,72132)	424,77995 (360,64733)	400,44410 (292,50713)	342,09544 (248,43307)		
109	$X_{12\sigma}$ ($X_{12\sigma}$) ($X_{12\sigma}$)	Ω		545,72553 (472,25353)	433,26649 (369,13388)	404,48918 (296,55221)	345,9887 (252,32398)		

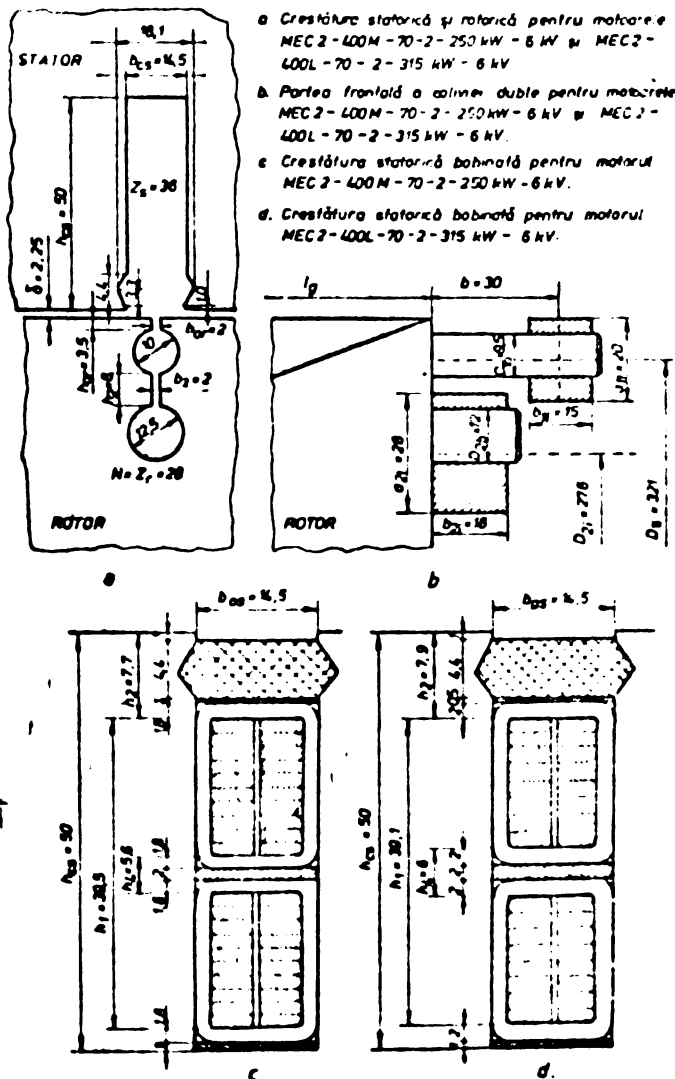


Fig 1A.4.2. Dimensiuni geometrice și constructive ale motoarelor sincron cu două borne rotorice MEC2-400M-70-2-250kW-6kV și MEC2-400L-70-2-315kW-6kV

A N E X A . 4.2 (CONTINUARE)

Nr. crt.	Symbol	u.m.	MEC2-400M-70-2 6 kV; 250 kW	MEC2-400L-70-2 6 kV; 315 kW	MEC2-450M-75-2 6 kV; 400 kW	MEC2-450M-75-2 6 kV; 500 kW	MAB2-Exe2-T3- -150Y-110-6; 6 kV; 400 kW	MAB2-400Y-100-4; 6 kV; 315 kW
110	\tilde{x}_n	Ω	113,577100	93,1210110	73,0823130	58,9132930	69,0060030	93,1210110
111	\tilde{x}_m	Ω	515,855610	410,133740	389,697770	333,611760	239,574380	344,652870
112	\tilde{x}_m	u.r.	4,54189310	4,40430660	5,33231300	5,66275370	3,47179020	3,70112890
113	$\tilde{x}_m^{(s)}$	Ω	448,300390	350,782830	284,524360	242,433480		
114	$\tilde{x}_m^{(s)}$	u.r.	3,94710190	3,76695680	3,89320410	4,11508960		
115	x_s	Ω	534,461490	423,840310	401,941240	343,042850	247,940920	355,910140
116	x_s	u.r.	4,70571520	4,55150570	5,49984290	5,32284290	3,59303380	3,82201760
117	$x_s^{(s)}$	Ω	463,618960	361,815450	295,061870	250,326780		
118	$x_s^{(s)}$	u.r.	4,03197470	3,88543300	4,03739100	4,24907130		
119	\tilde{x}_1	Ω	520,151320	412,842410	393,939290	335,538410		
120	\tilde{x}_1	u.r.	4,57972000	4,43339700	5,39035060	5,71243590		
121	$\tilde{x}_1^{(s)}$	Ω	452,633400	353,514990	288,780970	245,371820		
122	$\tilde{x}_1^{(s)}$	u.r.	3,98525230	3,79629670	3,95144810	4,16496530		
123	\tilde{x}_2	Ω	530,387510	421,090450	397,918660	340,368460		
124	\tilde{x}_2	u.r.	4,66984550	4,52197030	5,44480110	5,77744750		
125	$\tilde{x}_2^{(s)}$	Ω	462,958240	361,833700	292,774520	249,217170		
126	$\tilde{x}_2^{(s)}$	u.r.	4,07615830	3,88562900	4,00609270	4,23023660		
127	$\tilde{x}_{5\sigma}$	Ω	18,6058820	13,7073290	12,2434700	9,43109000	8,36653960	11,2572750
128	$\tilde{x}_{5\sigma}$	u.r.	0,16381711	0,14719910	0,16752990	0,16008420	0,12124364	0,12088867
129	$\tilde{x}_{5\sigma}^{(s)}$	Ω	15,3185670	11,0326190	10,5375100	7,89330000		
130	$\tilde{x}_{5\sigma}^{(s)}$	u.r.	0,13487380	0,11847620	0,14418690	0,13398160		
131	$\tilde{x}_{1\sigma}$	Ω	4,29574060	2,70893970	4,24152000	2,92665000		
132	$\tilde{x}_{1\sigma}$	u.r.	0,03782194	0,02909063	0,05803760	0,04967720		
133	$\tilde{x}_{1\sigma}^{(s)}$	Ω	4,33294300	2,73215730	4,25661000	2,93334000		
134	$\tilde{x}_{1\sigma}^{(s)}$	u.r.	0,03814970	0,02933986	0,05824410	0,04967720		
135	$\tilde{x}_{2\sigma}$	Ω	14,5318990	10,9569830	8,22039000	6,75670000		
136	$\tilde{x}_{2\sigma}$	u.r.	0,12794741	0,11766392	0,11248810	0,11468890		
137	$\tilde{x}_{2\sigma}^{(s)}$	Ω	14,6578990	11,0508730	8,25016000	6,78369000		
138	$\tilde{x}_{2\sigma}^{(s)}$	u.r.	0,12905624	0,11867200	0,11288860	0,11514700		
139	R_s	Ω	2,44000000	1,64000000	1,42000000	1,00000000	1,17400000	2,20000000
140	r_s	u.r.	0,02148320	0,01761149	0,01943010	0,01697410	0,01701301	0,02362517
141	$R_s^{(s)}$	Ω	2,44000000	1,64000000	1,42000000	1,00000000		
142	$r_s^{(s)}$	u.r.	0,02148320	0,01761149	0,01943010	0,01697410		
143	\tilde{R}_1	Ω	3,72252480	2,18709620	1,99105750	1,44437060		
144	\tilde{R}_1	u.r.	0,03277531	0,02348660	0,02724400	0,02451690		
145	$\tilde{R}_1^{(s)}$	Ω	3,75478590	2,20583320	1,99815200	1,45014250		
146	$\tilde{R}_1^{(s)}$	u.r.	0,03305935	0,02368781	0,02734110	0,02461490		
147	\tilde{R}_2	Ω	1,95240350	1,17110590	0,96655520	0,74196870		
148	\tilde{R}_2	u.r.	0,01719011	0,01257617	0,01322560	0,01259420		
149	$\tilde{R}_2^{(s)}$	Ω	1,96932400	1,18113880	0,96999920	0,74493370		
150	$\tilde{R}_2^{(s)}$	u.r.	0,01733909	0,01268391	0,01327270	0,01264460		

ANEXA 4.2

(CONTINUARE)

Nr. crt.	Parametrii	PARAMETRII SATURATI				PARAMETRII NESATURATI			
		MEC2-400M-70-2; 6KV: 250 kW; 2955 r/min	MEC2-400L-70-2 6KV: 315 kW; 2955 r/min	MEC2-450M-75-2; 6KV: 400 kW; 2961 r/min	MEC2-450M-75-2; 6KV: 500 kW; 2961 r/min	MEC2-400M-70-2 6KV: 250 kW; 2955 r/min	MEC2-400L-70-2 6KV: 315 kW; 2955 r/min	MEC2-450M-75-2 6KV: 400 kW; 2961 r/min	MEC2-450M-75-2 6KV: 500 kW; 2961 r/min
151	X_1'	19,145435000	13,423369000	14,417795000	10,582748000	22,253875000	15,972974000	16,111931000	12,098456000
152	X_2'	29,470275000	21,747079000	16,411345000	14,423099000	32,430065000	24,221014000	20,091301000	15,923506000
153	X_m'	14,812425000	10,696209000	10,161135000	7,644036000	17,958165000	13,264034000	11,870411000	9,1718062000
154	σ_6	0,0330412930	0,0304923960	0,0357128330	0,03915319840	0,0343123870	0,0323407740	0,0304605550	0,0274924550
155	σ_7	0,0095728906	0,0077285549	0,0147393260	0,0113750510	0,0082535776	0,0065516806	0,0107669380	0,0086963328
156	σ_2	0,0316612790	0,0305412960	0,0281792230	0,0272199950	0,0273936470	0,0260204980	0,0206597280	0,0198511340
157	σ_{12}	0,0409310800	0,0330338100	0,0425037940	0,03388690850	0,0354309510	0,0324114330	0,0312042210	0,0233748350
158	σ_{12}''	0,6111313300	0,6082260400	0,6110405200	0,61723034110	0,5539662800	0,5452495400	0,5647128400	0,5634794100
159	T_1	383,71745000	510,13520000	460,03426000	538,3297250000	444,77691000	600,35066000	629,78980000	741,66217000
160	T_2	748,29832000	975,12031000	960,75362000	1064,90400000	884,71668000	1144,5357000	1310,4419000	1460,2051000
161	T_1'	16,230436000	19,377633000	22,967855000	23,2293960000	19,029097000	23,247059000	25,758105000	26,662535000
162	T_2'	47,634009000	58,607085000	60,417711000	61,6523100000	52,970141000	65,833399000	66,165488000	68,334432000
163	$T_1 + T_2$	1132,0158000	1485,2555000	1429,7379000	1603,50130000	1309,4936000	1745,3364000	1940,2317000	2201,8672000
164	$G_2 T_1 T_2$	11752,751000	18719,660000	18785,809000	22253,533000	13626,957000	22289,182000	25752,936000	30729,346000
165	T_{30}'	1121,5366000	1472,4060000	1407,440400	1539,4756000	1299,0033000	1732,5212000	1926,8665000	2137,8216000
166	T_{30}''	10,479151000	12,349436000	13,347499000	14,0257170000	10,490318000	12,365172000	13,365190000	14,045637000
167	$T_1' + T_2'$	63,864445000	77,984718000	83,385567000	84,8865070000	71,999233000	89,030459000	91,923593000	94,996968000
168	$G_2' T_1' T_2'$	472,47334000	690,74200000	647,91973000	684,20490000	558,33357000	834,47636000	952,43374000	1026,6421000
169	T_3'	55,324293000	67,796214000	71,531326000	72,7719340000	63,153209000	78,442504000	79,474154000	82,552196000
170	T_3''	8,5401620000	10,189504000	11,053741000	12,1557730000	8,3410293000	10,637956000	12,049434000	12,434772000
171	X_3''	18,633132000	13,209599000	13,317967000	9,9235700000	21,900305000	15,867859000	15,021343000	11,460779000
172	T_{3a}	24,314416000	25,633695000	29,853307000	31,5953330000	23,570015000	30,798143000	33,672133000	36,480793000
173	α_3''	0,1641016000	0,1418541000	0,1822324000	0,1694913000	0,1923232500	0,1704003300	0,2055401300	0,1945363900

ANEXA 4.2

(CONTINUARE)

Nr. relații	Relația de calcul	Bibliografie	Nr. relații	Relația de calcul	Bibliografie	Nr. relații	Relația de calcul	Bibliografie
1	2	3	1	2	3	1	2	3
4.A.4.5.	$l_i = l_g - n_i b_i$	[7] p.28.	17.A.4.5	$X_n = \frac{U_n}{\sqrt{5} L_n}$		30.A.4.5	$X_{20} = 2\pi \mu_0 l_i (\lambda_{2b} + \lambda_{2i}) k_z$	[7] (1.164.a) p.159
2.A.4.5	$b_i^2 = f(b_i, \delta)$	[7]	18.A.4.5	$X_m = 2\pi f \mu_0 l_i \frac{m_s}{p} \frac{(w_s k_{bs})^2}{\delta} \frac{z}{\delta}$	[98] (4.6) p.79.	31.A.4.5	$\lambda_{2b} = 0.66 + \frac{b_s}{b_z} + 1.32$	[7] (1.104.a) p.9.108.
3.A.4.5.	$z = \frac{\pi \cdot D}{2p}$	[7] p.17. p.28	19.A.4.5	$X_{sf} = 4\pi f \mu_0 \frac{w_s^2}{p \cdot q_s} l_i (\lambda_{3c} + \lambda_{3s} + \lambda_{3f})$		32.A.4.5.	$\lambda_{2i} = \frac{2.3 D_{2i}}{Z_r l_i (2 \sin \frac{\pi p}{Z_r})^2} \log \frac{4.7 D_{2i}}{a_{2i} + 2 b_{2i}}$	[7]
4.A.4.5	$z_s = \frac{\pi \cdot D}{2p}$		20.A.4.5	$\lambda_{3c} = \frac{h_c - h_m}{3 b_{cs}} k_p + \frac{h_2}{b_{cs}} k_p + \frac{h_4}{4 b_{cs}}$	[7] (1.92) p.94	33.A.4.5	$X_{12c0} = 2\pi f \mu_0 l_i \lambda_{12c} k_z$	
5.A.4.5	$z_r = \frac{\pi(D-2\delta)}{Z_r}$		21.A.4.5	$\lambda_{3s} = 0.9 \frac{t_s (q_s k_{bs})^2}{\delta}$	[7] p.99	34.A.4.5	$\lambda_{12c} = \frac{h_{or}}{b_{or}}$	[7] (1.162) p.158
6.A.4.5.	$q_s = \frac{Z_s}{2 p m_s}$		22.A.4.5	$\lambda_{3f} = k_f \frac{z}{l_i} \frac{q_s}{l_i} \frac{3\beta_s - 1}{2}$	[99] (6.6) p.84	35.A.4.5.	$X_{12\delta f} = 2\pi f \mu_0 l_i \lambda_{12\delta} k_z$	[7] (1.96) p.99
7.A.4.5	$w_s = \frac{1}{\alpha_s} p q_s n_{cs}$	[7] p.19.	23.A.4.5	$k_p = \frac{1+3\beta_s}{4} ; k_p = \frac{1}{4} + \frac{3}{4} \beta_s$	[7] (3.84) p.94	36.A.4.5	$\lambda_{12\delta} = 0.9 \frac{t_r (q_r k_{br})^2}{\delta} \frac{p_{d2} k_{o2} \sigma_{o2}}{\delta}$	[7] (1.96) p.99
8.A.4.5	$\gamma_c = \frac{z_s}{2p}$	[7]	24.A.4.5	$k_{\alpha} = 1 - 0.033 \frac{k_{cs}^2}{\delta \cdot z_s}$	[7] (1.96.b); p.99.	37.A.4.5	$q_r = \frac{Z_r}{3 \cdot 2p}$	[7] (1.96.a) p.99
9.A.4.5.	$\beta_y = \frac{\gamma_c}{z_c}$	[7] p.19	25.A.4.5	$q_{d1} = \left\{ \frac{Z_r}{p}, q_s \right\}$	[7] tab.1.9. p.100	38.A.4.5	$\sigma_{d2} = \frac{9.15}{q_f^2} 10^{-2}$	[7] tab.1.12. p.100.
10.A.4.5	$\epsilon = \gamma_c - \gamma_s$	[7] (1.15) p.19	26.A.4.5	$\sigma_{d1} = \{ \epsilon, q_s \}$	[7] tab.1.10. p.101	39.A.4.5.	$\sigma_{d2} = 1 ; k_{o2} = 1 ; k_{br} \approx 1$	[7] p.99-100
11.A.4.5	$k_{\alpha c} = k_p k_{ys} = \frac{\sin(\frac{\pi}{2} m_s)}{q_s \sin(\frac{\pi}{2} m_s q_s)} \sin(\frac{\pi}{2} \beta_y)$	[7] (1.14) p.18	27.A.4.5	$X_{10} = 2\pi f \mu_0 l_i (\lambda_{1b} + \lambda_{1i}) k_z$		40.A.4.5	$X_{12m\delta} = 2\pi f \mu_0 l_i \lambda_{12m} k_z$	[7] (1.165) p.160
12.A.4.5	$k_2 = k_q = k_l = \frac{3}{Z_r} \left(\frac{w_s k_{bs}}{0.5} \right)^2$		28.A.4.5	$\lambda_{1b} = 0.66$ (pentru bară rotundă)	[7] (1.63) p.169	41.A.4.5.	$\lambda_{12m} = \pi/4$	[7] (1.165) p.160
13.A.4.5	$\delta^1 = k_c \delta$		29.A.4.5	$\lambda_{1i} = \frac{2.3 D_{1i}}{Z_r l_i (2 \sin \frac{\pi p}{Z_r})^2} \log \frac{4.7 D_{1i}}{2(a_i + b_i)}$	[7] (1.104.a) p.108.	42.A.4.5.	$R_1 = \left(R_{1b} + \frac{R_{1i}}{2 \sin^2 \frac{\pi p}{Z_r}} \right) k_z$	[7] (1.178) p.90
14.A.4.5	$k_c = k_{cs} k_{cr}$	[7] p.66				43.A.4.5	$R_{1b} = \rho_{sw} \frac{4 l_{1b}}{\pi D_{1b}^2}$	
15.A.4.5	$k_{cs} = \frac{t_s}{z_s - \gamma_s} \delta ; k_{cr} = \frac{t_r}{t_r - \gamma_r} \delta$	[7] (1.58) p.66				44.A.4.5.	$R_{1i} = \rho_{sw} \frac{\pi D_{1i}}{Z_r a_{1i} b_{1i}}$	
16.A.4.5	$\delta = \frac{(b_r)^2}{s + \frac{b_r}{\delta}} ; \gamma_r = \frac{(b_r)^2}{5 \cdot \frac{b_r}{\delta}}$	[7] (1.58.a) p.66				45.A.4.5	$R_2 = \left(R_{2b} + \frac{R_{2i}}{2 \sin^2 \frac{\pi p}{Z_r}} \right) k_z$	[7] (1.178) p.90

Nr. relatii	Relatia de calcul	Bibliografie	Nr. relatii	Relatia de calcul	Bibliografie	Nr. relatii	Relatia de calcul	Bibliografie
46.A.4.5	$R_{2b} = \rho_{\omega} \frac{4 \cdot b_p}{\pi D_{2b}^2}$		62.A.4.5	$\lambda_{12c} = \frac{h_{or}}{b_{or}}$	[7] (2141.6) p. 228	79.A.4.5	$\tilde{X}_2 = X_2 \left[\frac{\tilde{X}_m}{X_m} \right]^2$; $\tilde{X}_2^{(s)} = X_2^{(s)} \left[\frac{\tilde{X}_m^{(s)}}{X_m^{(s)}} \right]^2$	3
47.A.4.5	$R_{2i} = \rho_{\omega} \frac{\pi D_{2i}}{4 a_{2i} b_{2i}}$		63.A.4.5	$b_{or} = b_{or} + \frac{b_{d0}}{\mu'}$	[7] (1121) p. 125	80.A.4.5	$\tilde{R}_1 = R_1 \left[\frac{\tilde{X}_m}{X_m} \right]^2$; $\tilde{R}_1^{(s)} = R_1^{(s)} \left[\frac{\tilde{X}_m^{(s)}}{X_m^{(s)}} \right]^2$	
48.A.4.5	$X_m^{(s)} = \frac{U_{n1} - I_{\mu} X_{50}}{I_{\mu}}$	[7] (1105) p. 109	64.A.4.5	$b_{d0} = t_r - b_{or}$		81.A.4.5	$\tilde{R}_2 = R_2 \left[\frac{\tilde{X}_m}{X_m} \right]^2$; $\tilde{R}_2^{(s)} = R_2^{(s)} \left[\frac{\tilde{X}_m^{(s)}}{X_m^{(s)}} \right]^2$	
49.A.4.5	$I_{\mu} = I_0 \sin \varphi_0$		65.A.4.5	$X_{12d0} = X_{12d} \frac{\lambda_{12d}^{(s)}}{\lambda_{12d}}$		82.A.4.5	$\tilde{X}_{50} = X_5 - \tilde{X}_m$; $\tilde{X}_{50}^{(s)} = X_5^{(s)} - \tilde{X}_m^{(s)}$	
50.A.4.5	$\rho_{\omega} = \frac{X_{50}}{X_m^{(s)}}$		66.A.4.5	$\lambda_{12d} = \frac{\lambda_{12d}}{f^{(s)}}$		83.A.4.5	$\tilde{X}_{1r} = \tilde{X}_1 - \tilde{X}_m$; $\tilde{X}_{1r}^{(s)} = \tilde{X}_1^{(s)} - \tilde{X}_m^{(s)}$	
51.A.4.5	$X_{50} = \frac{\sum \lambda^{(s)} X_{50}}{\sum \lambda}$	[7] (249)p. 208	67.A.4.5	$X_{120} = X_{120c} + X_{120r}$		84.A.4.5	$\tilde{X}_{2r} = \tilde{X}_2 - \tilde{X}_m$; $\tilde{X}_{2r}^{(s)} = \tilde{X}_2^{(s)} - \tilde{X}_m^{(s)}$	
52.A.4.5	$\sum \lambda = \lambda_{5c} + \lambda_{5d} + \lambda_{5f}$		68.A.4.5	$X_{12} = X_m + X_{120} + X_{120r}$		85.A.4.5	$X_1' = \tilde{X}_1 - \frac{\tilde{X}_m^2}{X_5}$; $X_2' = \tilde{X}_2 - \frac{\tilde{X}_m^2}{X_5}$; $X_m' = \tilde{X}_m - \frac{\tilde{X}_m^2}{X_5}$	
53.A.4.5	$\sum \lambda^{(s)} = \lambda_{5c}^{(s)} + \lambda_{5d}^{(s)} + \lambda_{5f}^{(s)}$		69.A.4.5	$X_5 = X_m + X_{50}$		86.A.4.5	$\sigma_5 = 1 - \frac{\tilde{X}_m}{X_5}$; $\sigma_1 = 1 - \frac{\tilde{X}_m}{X_1}$; $\sigma_2 = 1 - \frac{\tilde{X}_m}{X_2}$	
54.A.4.5	$\lambda_{5c}^{(s)} = \frac{h_1 - h_0}{3 b_{5s}} k_p + \frac{h_0}{b_{5s}} k_p' + \frac{h_0}{4 b_{5s}}$		70.A.4.5	$X_1 = X_m + X_{120} + X_{10}$		87.A.4.5	$\sigma_{12} = 1 - \frac{\tilde{X}_m^2}{X_1 X_2}$; $\sigma_{12}^{(s)} = 1 - \frac{(X_m^{(s)})^2}{X_1^{(s)} X_2^{(s)}}$	
55.A.4.5	$b_{5s} = b_{5s} + \frac{b_{dmed}}{\mu'}$		71.A.4.5	$X_2 = X_m + X_{120} + X_{20}$		88.A.4.5	$T_1 = \frac{\tilde{X}_1}{\omega R_1}$; $T_2 = \frac{\tilde{X}_2}{\omega R_2}$; $T_1' = \frac{X_1'}{\omega R_1}$; $T_2' = \frac{X_2'}{\omega R_2}$	
56.A.4.5	$b_{dmed} = \frac{\pi(D+h_{c1})}{Z_5} - b_{5s}$		72.A.4.5	$X_{120} = X_{120c} + X_{120r}$		89.A.4.5	$T_1 + T_2 = T_{50}' + T_{50}''$; $\sigma_{12} T_1 T_2 = T_{50}' T_{50}''$	
57.A.4.5	$\rho_{\omega} = \frac{B_{5c}}{A_0 (4 b_{5c} + \sum p A_n)}$	[7] (294d)p. 208	73.A.4.5	$X_{12} = X_m^{(s)} + X_{120}^{(s)} + X_{120r}^{(s)}$		90.A.4.5	$T_1' + T_2' = T_3' + T_3''$; $\sigma_{12}' T_1' T_2' = T_3' T_3''$	
58.A.4.5	$\tilde{I}_p = \frac{I_p}{I_n}$	[7] (294d)p. 208	74.A.4.5	$X_5^{(s)} = X_m^{(s)} + X_{50}^{(s)}$		91.A.4.5	$T_{50} = \frac{X_5''}{\omega R_5}$	
59.A.4.5	$A_n = \frac{I_{5s} I_n}{\sigma_5 b_{5s}}$	[7] (2200)p. 251	75.A.4.5	$X_1^{(s)} = X_m^{(s)} + X_{120}^{(s)} + X_{10}^{(s)}$		92.A.4.5	$X_5'' = X_5 \frac{\sigma_{12}' T_1' T_2'}{\sigma_{12} T_1 T_2} = X_5 \frac{T_3' T_3''}{T_{50}' T_{50}''}$	
60.A.4.5	$\lambda_{5d} = \frac{\lambda_{5d}}{f^{(s)}}$		76.A.4.5	$X_2^{(s)} = X_m^{(s)} + X_{120}^{(s)} + X_{20}^{(s)}$				
61.A.4.5	$X_{120c} = \frac{\lambda_{120}^{(s)}}{\lambda_{120}} X_{120}$		77.A.4.5	$X_m^2 = \frac{X_m^2}{X_{12}^2}$; $\tilde{X}_m = X_1 \left[\frac{\tilde{X}_m^{(s)}}{X_m^{(s)}} \right]^2$				
			78.A.4.5	$\tilde{X}_1 = X_1 \left[\frac{\tilde{X}_m}{X_m} \right]^2$; $\tilde{X}_1^{(s)} = X_1^{(s)} \left[\frac{\tilde{X}_m^{(s)}}{X_m^{(s)}} \right]^2$				

ANEXE REFERITOARE LA CAPITOLUL 5

A N E X A 5.:

Deducerea expresiilor (2.5) și (2.6) a tensiunii \bar{u}_{Bs} la bornele motorului asincron în funcție de tensiunea electromotoare \bar{E}''_{Bs} , respectiv \bar{E}'_{Bs} .

a) Motoare asincrone de categoria I.

Dacă matricile care intervin în relațiile (2.30), ..., (2.34) ale modelului matematic MA-2C-DCR al motorului asincron de categoria I se divid în submatrici după cum urmează :

$$(A.5.1.1) \quad \begin{bmatrix} \bar{\Psi}_{Bs} \\ \bar{\Psi}_{Br} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\Psi}_{B1} \\ \bar{\Psi}_{B2} \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \bar{E}_{Bs} \\ \bar{E}_{Br} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{E}_{B1} \\ \bar{E}_{B2} \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \bar{X}_{Bs} \\ \bar{X}_{Br} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{X}_m \\ \bar{X}_m \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \bar{X}_{\lambda s} \\ \bar{X}_{\lambda r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{X}_m & \bar{X}_m \\ \bar{X}_m & \bar{X}_m \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \bar{R}_s \\ \bar{R}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{R}_1 & \\ & \bar{R}_2 \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \bar{X}_s \\ \bar{X}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{X}_1 & \bar{X}_m \\ \bar{X}_m & \bar{X}_2 \end{bmatrix}.$$

atunci ecuațiile (2.30) și (2.31) se pot scrie sub forma :

$$(A.5.1.2) \quad \begin{bmatrix} \bar{u}_{Bs} \\ [0] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s \\ [\bar{R}_r] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{Bs} \\ \bar{I}_{Br} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \partial + j\omega(1-\sigma_s) \\ \partial + j\omega(1-\sigma_r) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{\Psi}_{Bs} \\ \bar{\Psi}_{Br} \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \bar{\Psi}_{Bs} \\ \bar{\Psi}_{Br} \end{bmatrix} = \frac{1}{\omega} \begin{bmatrix} X_s & [\bar{X}_{\lambda s}] \\ [\bar{X}_{\lambda r}] & X_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{Bs} \\ \bar{I}_{Br} \end{bmatrix}$$

Din relațiile (A.5.1.2) rezultă :

$$(A.5.1.3) \quad \bar{u}_{Bs} = R_s \bar{I}_{Bs} + \partial \bar{\Psi}_{Bs} - j\omega \sigma_s \bar{\Psi}_{Bs} + j\omega \bar{\Psi}_{Br}; \quad (A.5.1.4) \quad \bar{\Psi}_{Bs} = \frac{1}{\omega} \left\{ X_s \bar{I}_{Bs} + [\bar{X}_{\lambda s}] [\bar{I}_{Br}] \right\}$$

$$(A.5.1.5) \quad \begin{bmatrix} \bar{\Psi}_{Bs} \\ \bar{\Psi}_{Br} \end{bmatrix} = \frac{1}{\omega} \left\{ [\bar{X}_{\lambda s}] \bar{I}_{Bs} + [\bar{X}_{\lambda r}] \bar{I}_{Br} \right\}$$

Dacă din relația (A.5.1.5) se află matricoa $[\bar{I}_{Br}]$ și apoi se introduce în relația (A.5.1.4), aceasta din urmă se va putea scrie sub forma :

$$(A.5.1.6) \quad \bar{\Psi}_{Bs} = \frac{1}{\omega} X_s \bar{I}_{Bs} + [\bar{X}_{\lambda r}] [\bar{X}_r]^{-1} [\bar{E}_{Br}] - \frac{1}{\omega} [\bar{X}_{\lambda s}] [\bar{X}_s]^{-1} [\bar{E}_{Bs}] \bar{I}_{Bs}$$

Înlocuind fluxul $\bar{\Psi}_{Bs}$ dat de relația (A.5.1.6) în ultimul termen al relației (A.5.1.3), aceasta din urmă devine :

$$(A.5.1.7) \quad \bar{u}_{Bs} = \left\{ R_s + j \left(X_s - [\bar{X}_{\lambda r}] [\bar{X}_r]^{-1} [\bar{X}_{\lambda s}] \right) \right\} \bar{I}_{Bs} + \partial \bar{\Psi}_{Bs} + j\omega \left\{ [\bar{X}_{\lambda r}] [\bar{X}_r]^{-1} [\bar{\Psi}_{Br}] - \sigma_s \bar{\Psi}_{Bs} \right\}.$$

Efectuând calculele rezultă :

$$(A.5.1.8) \quad X_s - [\bar{X}_{\lambda r}] [\bar{X}_r]^{-1} [\bar{X}_{\lambda s}] = \frac{X_s \bar{X}_1 \bar{X}_2 - \bar{X}_m^2 (X_s + \bar{X}_1 + \bar{X}_2) + 2\bar{X}_m^3}{\bar{X}_1 \bar{X}_2 - \bar{X}_m^2}$$

Introducând relațiile (3.7) și (3.8) în relația (3.17), efectuând calculele și ținând seama și de relația (2.35) rezultă :

$$(A.5.1.9) \quad X_s'' = \frac{X_s \bar{X}_1 \bar{X}_2 - \bar{X}_m^2 (X_s + \bar{X}_1 + \bar{X}_2) + 2\bar{X}_m^3}{\bar{X}_1 \bar{X}_2 - \bar{X}_m^2} = \bar{X}_{1s}'' + \frac{\bar{X}_m \bar{X}_{1r} \bar{X}_{2r}}{\bar{X}_{1r} \bar{X}_{2r} + \bar{X}_m X_{1r} + \bar{X}_m \bar{X}_{2r}}$$

Comparând relația (A.5.1.8) cu relația (A.5.1.9) rezultă :

$$(A.5.1.10) \quad X_s - [\bar{X}_{\lambda r}] [\bar{X}_r]^{-1} [\bar{X}_{\lambda s}] = X_s''.$$

Dacă se notează :

$$(A.5.1.11) \quad \bar{E}''_{Bs} = -\partial \bar{\Psi}_{Bs} - j\omega \left\{ [\bar{X}_{\lambda r}] [\bar{X}_r]^{-1} [\bar{\Psi}_{Br}] - \sigma_s \bar{\Psi}_{Bs} \right\}$$

și dacă se are în vedere și relația (A.5.1.10), atunci tensiunea \bar{u}_{Bs} data de relația (A.5.1.7) se poate scrie sub forma :

$$(A.5.1.12) \quad \bar{u}_{Bs} = \left\{ R_s + j X_s'' \right\} \bar{I}_{Bs} - \bar{E}''_{Bs}$$

Având în vedere relațiile (A.5.1.1), (2.35) și (A.5.1.9), după efectuarea

calculelor rezultă :

$$(A.5.1.13) \quad \begin{bmatrix} \tilde{X}_{2s} \\ \tilde{X}_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{X}_{1\sigma} \\ \tilde{X}_{2\sigma} \end{bmatrix} = \frac{X_2'' - \tilde{X}_{1\sigma}}{\tilde{X}_{1\sigma}} \tilde{Y}_{B1} + \frac{X_1'' - \tilde{X}_{2\sigma}}{\tilde{X}_{2\sigma}} \tilde{Y}_{B2}$$

și ca urmare \tilde{E}_{Bs}'' dată de (A.5.1.11) se poate scrie sub forma :

$$(A.5.1.14) \quad \tilde{E}_{Bs}'' = -\partial \tilde{Y}_{Bs} - j\omega (a_1'' \tilde{Y}_{B1} + a_2'' \tilde{Y}_{B2} - s_0 \tilde{Y}_{Bs}) \quad \text{unde: } a_1'' = \frac{X_2'' - \tilde{X}_{1\sigma}}{\tilde{X}_{1\sigma}} ; a_2'' = \frac{X_1'' - \tilde{X}_{2\sigma}}{\tilde{X}_{2\sigma}}$$

b) Motoare asincrone de categoria II.

Având în vedere relațiile (2.47), ecuațiile (2.30) și (2.31) ale modelului matematic MA-1C-DCR al motorului asincron de categoria II se pot scrie sub forma :

$$(A.5.1.15) \quad \begin{bmatrix} \bar{u}_{Bs} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial + j\omega(1-s_0) & \\ & \partial + j\omega(s-s_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{\Psi}_{B1} \\ \bar{\Psi}_{B2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_s & \\ & R_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{J}_{B1} \\ \bar{J}_{B2} \end{bmatrix} ; \quad \omega \begin{bmatrix} \bar{\Psi}_{B1} \\ \bar{\Psi}_{B2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_s & X_m \\ X_m & X_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{J}_{B1} \\ \bar{J}_{B2} \end{bmatrix}$$

Din (A.5.1.15) rezultă :

$$(A.5.1.16) \quad \bar{u}_{Bs} = R_s \bar{J}_{B1} + \partial \bar{\Psi}_{Bs} - j\omega \partial \bar{\Psi}_{Bs} + j\omega \bar{\Psi}_{Bs} ; (A.5.1.17) \quad \bar{\Psi}_{Bs} = \frac{1}{\omega} (X_s \bar{J}_{B1} + X_m \bar{J}_{B2})$$

$$(A.5.1.18) \quad \bar{\Psi}_{B1} = \frac{1}{\omega} (X_m \bar{J}_{B1} + X_1 \bar{J}_{B2})$$

Dacă se află \bar{J}_{B1} din relația (A.5.1.18) și apoi se introduce în relația (A.5.1.17), aceasta din urmă devine :

$$(A.5.1.19) \quad \bar{\Psi}_{Bs} = \frac{1}{\omega} X_s \bar{J}_{B2} + \frac{X_m}{X_1} \bar{\Psi}_{B1} - \frac{1}{\omega} \frac{X_m^2}{X_1} \bar{J}_{Bs}$$

Înlocuind fluxul $\bar{\Psi}_{Bs}$ dat de relația (A.5.1.19) în ultimul termen al relației (A.5.1.16), aceasta din urmă devine :

$$(A.5.1.20) \quad \bar{u}_{Bs} = \left[R_s + j \left(X_s - \frac{X_m^2}{X_1} \right) \right] \bar{J}_{B2} + \partial \bar{\Psi}_{Bs} + j\omega \left(\frac{X_m}{X_1} \bar{\Psi}_{B1} - s_0 \bar{\Psi}_{Bs} \right)$$

Tinând seama de relațiile (3.105), (3.106) și (2.49) se poate arăta că :

$$(A.5.1.21) \quad X_s' = X_s - \frac{X_m^2}{X_1} = X_{1\sigma} + \frac{X_{1\sigma} X_m}{X_1}$$

Dacă se notează :

$$(A.5.1.22) \quad \bar{E}_{Bs}' = -\partial \bar{\Psi}_{Bs} - j\omega \left(\frac{X_m}{X_1} \bar{\Psi}_{B1} - s_0 \bar{\Psi}_{Bs} \right)$$

și dacă se are în vedere relația (A.5.1.21), atunci relația (A.5.1.20) devine :

$$(A.5.1.23) \quad \bar{u}_{Bs} = (R_s + jX_s') \bar{J}_{B2} - \bar{E}_{Bs}'$$

Dacă se exprimă raportul X_m/X_1 din relația (A.5.1.21) rezultă :

$$(A.5.1.24) \quad \frac{X_m}{X_1} = \frac{X_s' - X_{1\sigma}}{X_{1\sigma}} = a_1'$$

și ca urmare \bar{E}_{Bs}' dată de relația (A.5.1.22) se poate scrie sub forma :

$$(A.5.1.25) \quad \bar{E}_{Bs}' = -\partial \bar{\Psi}_{Bs} - j\omega (a_1' \bar{\Psi}_{B1} - s_0 \bar{\Psi}_{Bs})$$

c) Găsirea condiției ca E_0'' , respectiv E_0' să aibă valoare maximă.

Din relația (5.16) rezultă :

$$(A.5.1.26) \quad (E_0'')^2 = U^2 + [R_s^2 + (X_s'')^2] I^2 - 2UI (R_s \cos\varphi + X_s'' \sin\varphi)$$

Valoarea unghiului φ pentru care $(E_0'')^2$ este maximă, deci și E_0'' este maximă, se află prin rezolvarea ecuației ce rezultă anulând derivata în raport cu unghiul φ a lui $(E_0'')^2$ dat de (A.5.1.26). Astfel rezultă relația (5.17).

Plecând de la relația (5.17) și procedând în mod similar ca mai sus, se poate arăta că E_0' devine maximă pentru un factor de putere dat de relația (5.19).

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

- /1/. ABDEL, M.M.; BERG, G.J.: " Dynamic single-unit representation of induction motor groups", I.E.E.E. TRANS. ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS, vol. PAS-95, 1976, Nr.1 (Jan/Febr), p.155-165.
- /2/. AKHTAR, M.Y.: " Frequency-dependent dynamic representation of induction-motor loads ", PROC. I.E.E.E., vol.115, 1968, Nr.6 (June), p.802-812.
- /3/. ANTONIU, I.S.: " Bazele electrotehnicii ", vol.2, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1974.
- /4/. BALAŠOV, K.K.; PLOTNICKIJ, A.Ě.: " K voprosu o celesoobraznyh značenijah tokov korotkovo zamykanija v raspredelitelnyh setjah ", ELEKTRIČESTVO, 1967, Nr.12, p.81.
- /5/. BRERETON, D.S.; LEWIS, D.G.; YOUNG, C.C.: " Representation of induction-motor loads during power-system stability studies ", TRANS. OF THE A.I.E.E., Part. III-POWER APPARATUS AND SYSTEMS, vol.76, 1957, Dec., p.451-461.
- /6/. CATENACCI, G.; FORMICA, A.: " Calculation of short-circuit currents and selection of circuit breaker ratings ", C.I.G.R.E., paper 103, vol.2, 1958
- /7/. CIOC, I.; BICHIR, N.; CRISTEA, N.: " Mașini electrice. Indrumar de proiectare " Ed. Scrisul românesc, Craiova, 1981.
- /8/. CIMPEANU, A.: " Mașini electrice ", Ed. Scrisul românesc, Craiova, 1977
- /9/. CONSTANTINESCU, V.; CĂNESCU, S.; CRĂCIUN, M.: " Probleme privind regimurile tranzitorii ale mașinilor asincrone trifazate ", ELECTROTEHNICA, 21, 1973, Nr.8, p.310-315.
- /10/. COOPER, C.B.; McLEAN, D.M.; WILLIAMS, K.S.: " Application of test results to calculation of short-circuit levels in large industrial systems with concentrated induction-motor loads ", PROC. I.E.E.E., vol.116, 1969, Nr.11, p.1900-1906.
- /11/. * : " Correspondence : Calculation of system-fault currents due to induction motors ", PROC. I.E.E.E., vol.119, 1972, Nr.1, p.75-76.
- /12/. * : " Calculation of system-fault currents due to induction motors ", PROC. I.E.E.E., vol.119, 1972, Nr.11, p.1652.
- /13/. * : " Correspondence : Short-circuit contribution of large induction-motors ", PROC. I.E.E.E., vol.117, 1970, Nr.2, p.447-448.
- /14/. COVAR, E.: " Calculul tensiunilor pe bare la autopornirea simultană a motoarelor electrice racordate la stații alimentate în cascadă ", ENERGETICA, 23, 1976, Nr.9, p.335-339
- /15/. COVAR, E.: " Influența bobinelor de reactanță asupra condițiilor de alimentare cu energie electrică și de autopornire a motoarelor electrice ", ENERGETICA, 24, 1976, Nr.8, p.294-297.
- /16/. COVAR, E.: " Metodă de calcul a tensiunii pe bare în regim de autopornire a motoarelor electrice după goluri de tensiune ", ENERGETICA, 24, 1976, Nr.7, p.252-258.
- /17/. DANILEVICI, I. B.; DOMBROVSKI, V. V.; KAZOVSKI, E. I. a.: " Parametrii mașinilor de curent alternativ ", Ed. Tehnică, București, 1968

- /18/. DELINSKY, W.: "Bemessung von Starkstromanlagen auf Kurzschluss festigkeit zur Definition des thermisch wirksamen Mittelwertes des Kurzschlussstromes", ELEKTRIE, 32, 1978, Nr.7, p.374-375.
- /19/. * : " Discussion on : Application of test results to the calculation of short-circuit levels in large industrial systems with concentrated induction-motor loads ", PROC.I.E.E., vol.117, 1970, Nr.9, p.1846-1850.
- /20/. DORDEA, T.: "Maşini electrice", Ed.Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1970.
- /21/. DORDEA, T.: "Curs de maşini electrice", vol.I, II, Institutul politehnic Timişoara, 1971.
- /22/. DORDEA, T.: "Asupra ecuaţiilor maşinilor electrice de curent alternativ", STUDII SI CERCETARI DE ENERGETICA SI ELECTROTEHNICA, Tom.16, 1966, Nr.1, p.17.
- /23/. DORDEA, T.: "Proiectarea şi construcţia maşinilor electrice", Partea I, II Institutul politehnic "Traian Vuia" Timişoara, 1979.
- /24/. ENSLIN, N.C.; KAPLAN, W.M.; DAVIES, J.L.: "Influence of transient switching currents and fluxes on the torque developed by a squirrel-cage induction motor", PROC.I.E.E., vol.113, 1966, Nr.6 (June), p.1035-1043.
- /25/. BERLIKI, M.S.; URI, J.B.; WALACH, Y.: "Switching drive in induction motors", PROC.I.E.E., vol.110, 1963, Nr.7, (Aug.)
- /26/. FLYNN, F.P.; SLATER, R.D.; WOOD, W.S.: "Transient negativ torques in induction motors due to rapid reconection of the supply", PROC.I.E.E., vol.118, 1969, Nr.12, (Dec.), p.2009-2014.
- /27/. GABARD, J.L.; HOWN, J.E.: "Digital computation of induction motor transient stability", TRANS. OF THE A.I.E.E., Part III-POWER APPARATUS AND SYSTEMS, vol.16, 1957, Dec, p.970-977.
- /28/. GHEJU, P.: "Modificări funcţionale şi în comportarea consumatorilor maşini electrice la scurtcircuite", Referat, Catedra de utilizări şi maşini electrice, Institutul politehnic "Traian Vuia" Timişoara, 1975.
- /29/. GHEJU, P.: "Influenţa comportării la scurtcircuit a consumatorilor maşini electrice rotative asupra curentilor de scurtcircuit", Referat, Catedra de utilizările energiei electrice şi maşini electrice, Institutul politehnic "Traian Vuia", Timişoara, 1975.
- /30/. GHEJU, P.; RARINCA, O.; DUSA, V.; DINU, GH.: "Studiul comportării la scurtcircuit a maşinilor asincrone cu bare înalte în rotor", BUL.ST.SI TEHNIC AL I.P.T.V.T., ELECTROTEHNICA, Tom.24(38), Fasc.1, IANUARIE-IUNIE, 1968, p.28-31.
- /31/. GHEJU, P.; BESOIU, I.: "Asupra unei metode experimentale de determinare a parametrilor tranzitorii ai maşinilor cu bare înalte în rotor", BUL. ST. SI TEHNIC AL I.P.T.V.TIMISOARA, ELECTROTEHNICA, Tom.24(38), Fasc.1, IANUARIE-IUNIE, 1968, p.52-55.
- /32/. GHEJU, P.: "Consideraţii privind tensiunea reziduală la bornele maşinii asincrone după întreruperea tensiunii de alimentare", BUL. ST. SI TEHNIC AL I.P.T.V.TIMISOARA, ELECTROTEHNICA, Tom.24(38), Fasc.1, IANUARIE-IUNIE, 1968, p.48-51.
- /33/. GHEJU, P.: "Consideraţii asupra echivalării motorului asincron cu colivie rotorică cu bare înalte printr-un motor cu două colivii rotorice", BUL. ST. SI TEHNIC AL I.P.T.V.TIMISOARA, ELECTROTEHNICA, Tom.25(39), Fasc.2, IULIE-DECEMBRIE, 1980, p.69-75.

- /34/.GHEJU,P.: " Asupra comportării motoarelor asincrone cu bare înalte în rotor la scurtcircuite la borne "-Comunicare la sesiunea de comunicări științifice a cadrelor didactice , Fac. de Electrotehnică, I.P.T.V. Timișoara, mai, 1977.
- /35/.GHEJU,P.: " Considerații privind contribuția motoarelor asincrone cu două colivii rotorice la valorile curenților de scurtcircuit și determinarea parametrilor lor ",Comunicare la Conferința națională de electrotehnică și energetică, Timișoara, 17-18 sept.1982,vol.4, Motoare electrice rotative și liniare,p.95-106.
- /36/.GHEJU,P.;SORA,C.;TOADER,D.;TITIHAZAN,M.;OPRIS,V.;BUJOR,G.: " Studierea și stabilirea caracteristicilor elementelor de rețea și ale consumatorilor pentru prelucrarea rezultatelor experimentale din rețeaua de 20 kV Pitești, precum și a celor care trebuiesc modelate în vederea studierii repartitiei curenților de scurtcircuit ", PROTOCOL LA CONTRACTUL DE CERCETARE ȘTIINȚIFICĂ, Nr.37/09.03.1977, Institutul politehnic Timișoara.
- /37/.GHEJU,P.;SORA,C.;TOADER,D.;PETRESCU,C.;FLUXA,M.: " Studierea caracteristicilor consumatorilor cu motoare asincrone și sincrone în vederea modelizării acestora pentru analiza repartitiei curenților de scurtcircuit în rețelele de medie tensiune ", PROTOCOL LA CONTRACTUL DE CERCETARE ȘTIINȚIFICĂ , Nr.26/03.02.1978 Institutul politehnic Timișoara.
- /38/.GHEORGHIU,I.S.;FRANSUA,A.S.: " Tratat de mașini electrice.Vol.III,Mașini asincrone ", Ed.Academiei R.S.R.,1971.
- /39/.GHEORGHIU,I.S.;FRANSUA,A.S.: " Tratat de mașini electrice.Vol.IV,Mașini sincrone ",Ed.Academiei R.S.R.,1972.
- /40/.GOLY,G.;SCHULTZ,W.;WEBB,A.: " Netzversuche zum Ermitteln der Ausgleichsvorgänge in Industrienetzen mit einer Vielzahl von Asynchronmotoren". SIEMENS-ZEITSCHRIFT,44,1970,Nr.6,p.353-363.
- /41/.GREJSUH,M.V.: " K voprosu o celebroobraznyh značenijah tokov korotkogo zamykanija v raspredelitelnyh setjah ", ELEKTRICESTVO, 1967,Nr.10,p.80
- /42/.HORTOPAN,G.: " Aparate electrice ", Ed. Didactică și Pedagogică,București, 1970,p.372-375.
- /43/.HUEHNING,W.C.JUN.: "Time variation of industrial system short-circuit currents and induction-motor contribution ", TRANS.AMER.ELECTR.ENGRS., 74,Part.II,1955,p.90-101.
- /44/.HUGHES,F.M.;ALDRED,A.S.: " Transient characteristics and simulation of induction motors ", PROC.I.E.E.,vol.111,1964,Nr.12,Dec.,p.2041-2050.
- /45/.HUMPAGE,W.D.;DURRANI,K.F.: " Dynamic-response analysis of interconnected synchronous-asynchronous-machine groups ",PROC.I.E.E.,vol.116, 1969, Nr.12(Dec),p.2015-2027.
- /46/.HUMPAGE,W.D.: "Structure of multimode-power system dynamic analysis methods ", PROC.I.E.E.,vol.120,1973,Nr.8(Aug),p.353-359.
- /47/.IACOBEȘCU,CH.;IORDANESCU,I.;TUDOSE,M.;Ș.A.: "Actele electrice.Probleme", Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1977.
- /48/.ILICETO,F.;CEYHAN,A.;RUCHSTUHL,G.: " Behaviour of loads during voltage dips encountered in stability studies. Field and laboratory tests ", I.E.E.E. TRANS. ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS,vol.PAS-91,1972,Nr.6 , (Nov/Dec),p.2470-2479.

- /49/.ILICETO,F.; CAPASSO,A.: " Dynamic equivalents asynchronous motor loads in system stability studies ", I.E.E.E.TRANS. ON APPARATUS POWER AND SYSTEMS,vol.PAS-93,1974,Nr.5(Sept/Oct),p.1650-1659.
- /50/.IONESCU,S.; UNGUREANU,B.: " Studiul regimurilor dinamice ale motoarelor asincrone ", ENERGETICA, 17, 1969, Nr.10.
- /51/.IONESCU,S.; STAADECKER,M.; IOSUB,I.: "Algoritma pentru calculul regimurilor dinamice din sistemele electroenergetice ", ENERGETICA,17,1969,Nr.4.
- /52/.JANISCH,O.: " Industrienetze IV: Einfluss der Motoren auf die Kurzschlussbeanspruchung von Industrienetzen ", ETZ-B,23,1971,Nr.9,p.214-215.
- /53/.JANISCHEWSKI,W.;KUNDUR,P.: "Simulation of the non-linear dynamic response of interconnected synchronous machines. Part I.Machine modeling and machine-network interconnection equation ", I.E.E.E.TRANS. ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS,vol. PAS-91,1972,Nr.5 (Sept/Oct),p.2064-2069.
- /54/.JANISCHEWSKI,W.; KUNDUR,P.: "Simulation of the non-linear dynamic response of interconnected synchronous machines.Part II.Network solution procedures and comparisons of particular computational methods",I.E.E.E. TRANS. ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS, vol.PAS-91,1972,Nr.5(Sept/Oct) p.2069-2077.
- /55/.JORDAN,E.H.: " Analysis of induction machines in dynamic systems",I.E.E.E. TRANS. ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS, vol.PAS-84,1965,Nr.11(Nov),p.1080-1088.
- /56/.JORDAN,E.H.: " Digital computer analysis of induction machines in dynamic systems ",I.E.E.E. TRANS. ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS, vol.PAS-36, 1967,Nr.6.
- /57/.JUKOV,V.V.; NEKLEPAEV,B.N.; SOKOLIK,Ě.V.; TAUDERS,I.R.: " Ěksperimentalnoe issledovanie vlijanija kompleksnoj nagruzki na toki korotkogo замыkanija v ěnergosisteme ", ĚLEKTRICESTVO,1974,Nr.1,p.26-34.
- /58/.JUKOV,V.V.; NEKLEPAEV,B.N.: " Toki korotkogo замыkanija uzlov dvigatelnoj nagruzki ", IZV.VUZ.ĚLEKTROMECHANIKA,Nr.9,1973,p.954-960.
- /59/.KALSI,S.S.; STEPHEN,D.D.; ADKINS,B.: " Calculation of system-fault currents due to induction motors ",PROC.I.E.E.,vol.118,1971,Nr.1(Jan),p.201-215
- /60/.KALSI,S.S.; ADKINS,B.: "Transient stability of power system containing both synchronous and asynchronous machines ",PROC.I.E.E.,vol.118,1971,Nr.10. (Oct),p.1467-1474.
- /61/.KAMŠA,M.M.; KLIMOV,A.K.: " Model složnoj ělektriĉeskoj sistemy dlja issledovanija ělektromagnitnyj perehodnyh processov ", ĚLEKTRICESTVO, 1970, Nr.1,p21-25.
- /62/.KLAMT,I.: " Berechnung und Bemessung elektrischer Maschinen ",Springer Verlag,Berlin,1962.
- /63/.KLIMOV,A.K.: " Modelirovanie složnoj ělektriĉeskoj sistemy v perehodnyh režimach statiĉeskihi sbežni zameščeniya ",IZVESTIJA VYSSIH UĈEBNIH ZAVEDENIJA-ĚNERGETIKA,1960,Nr.5.
- /64/.KLINGSHIRE,E.A.; JORDAN,E.H.: " Simulation of polyphase induction machines with deep rotor bars",I.E.E.E. TRANS. ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS, vol.PAS-83, 1970,Nr.6(July),p.1038-1043.
- /65/.KLOPPPEL,F.W.: " Die Verminderung der Kurzschlussströme durch die Betriebsbelastung in grossen Industrienetzen ",ELEKTRIE,14,1960,Nr.10,p.352.

- /66/.KLOEPEL,F.W.; FIEDLER,H.: " Zur genauern Bestimmung von Kurzschlussströmen unter Berücksichtigung zusätzlicher Einflussgrößen ",ELEKTRIE,15,1961, Nr.9,p.284-287.
- /67/.KOVÁCS,K.; RÁCZ,I.: " Transiente Vorgänge in Wechselstrommaschinen ",Verlag der Ungarischen Akademie der Wissenschaften,Budapest,1959.
- /68/.KOVÁCS,K.P.: " Analiza regimurilor tranzitorii ale mașinilor electrice ",Ed tehnică, București,1980.
- /69/.KRAUSE,P.C.; THOMAS,C.H.: " Simulation of symmetrical induction machinery ", I.E.E.E. TRANS. ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS,vol.PAS-84,Nr.11 (Nov). p.1038-1053.
- /70/.KRAUSE,P.C.: " Method of multiple reference applied to the analysis of symmetrical induction machinery ",I.E.E.E. TRANS. ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS,vol.PAS-87,1968,Nr.1(Jan),p.218-227.
- /71/.KRON,G.: " Classification of the reference frames of a synchronous machine" TRANS. OF THE A.I.E.E.,Part II,vol.69,1950,p.720-727.
- /72/.KRON,G.: " A new theory of hunting ", TRANS. OF THE A.I.E.E.,Part II,vol.71, 1952,p.859-863
- /73/.LINDORF,L.S.; NAJAKOVA,E.F.;HORENJEAN,A.H.: " Vlijanje sinhronnyh elektrodvigatelj na toku korotkogo zanykanija ", ELEKTRICESKIE STANCIJ,1967, Nr.7,p.44-51.
- /74/.LOEPER,B.: " Digitales Rechenprogramm zur Ermittlung der Parameter und des zeitlichen Verlaufs der Ströme beim dreipoligen Kurzschluss von Asynchronmaschinen ",ELEKTRIE,26,1972,Nr.10,p.289-292.
- /75/.LOEPER,B.: " Auswertung der Kurzschlussoszillogramme von Asynchronmaschinen? ELEKTRIE,26,1972,Nr.10,p.292-295.
- /76/.LOEPER,B.; VOLAND,H.: " Einfluss von Asynchronmotoren auf den Kurzschlussstrom in Drehstromanlagen bis 1000 V ",ELEKTRIE,21,1967,Nr.9,p.321-324
- /77/.LOEPER,B.: " Ergebnisse digitaler Berechnungen der Ströme beim dreipoligen Kurzschluss von Asynchronmaschinen ",ENERGIETECHNIK,24,1974,Nr.4,p.167
- /78/.LOEPER,B.: " Berücksichtigung von Asynchronmotoren bei der Kurzschlussstrom berechnung ", XIX INTERN. WISS. KOLL. TH. ILMENAU,1974, Vortragsreihe: Elektrische mechanische und termische Beanspruchung elektrotechnischer Geräte und Anlagen,p.95-100.
- /79/.LOEPER,B.: " Neue Erkenntnisse über den Beitrag von Asynchronmotoren zum Kurzschlussstrom ",ELEKTRIE,29,1975,Nr.7,p.376-378.
- /80/.LYON,W.V.: " Transient analysis of alternating current machinery an application of the method of symmetrical components ",G.E.I.,Moscow, 1953, Traducere din limba rusă.
- /81/.MATHS,B.; CURELIANU,I.; GHEZEBANU,ST.: " Aparate electrice de înaltă tensiune ",Ed. tehnică, București,1973.
- /82/.MAURIN,J.: " Apport des charges tournantes au courant de court-circuit des réseaux moyenne tension ", R.G.E.,vol.79,1970,Nr.9,p.703-714.
- /83/. " * " Memoratorul inginerului electrician "-Siemens,Ed. tehnică,București, 1972.
- /84/.MIHAILEANU,C.;POTLOG,D.M.: " Coluri de tensiune în sisteme electroenergetice" , Ed. tehnică ,București,1979.

- /85/.MIHAILEANU,C.: " Efecte de instabilitate dinamică ale golurilor de tensiune din nodurile de sarcină rezistivă sincronă și asincronă ale sistemului electroenergetic ", Teză de doctorat, Institutul politehnic București,1972.
- /86/.MIKLJAEV,M.S.: " Metod opredelenija perehodnoj provodimosti mašin peremennogo toka ", ĖLEKTRICESTVO,Nr.4,1969,p.32-36.
- /87/.NEDELICU,V.N.: " Teoria conversiei electromagnetice ", Ed.tehnică,București,1978.
- /88/.NEDELICU,V.N.: " Regimuri de funcționare ale mașinilor de curent alternativ ", Ed. tehnică, București,1968;
- /89/.NEKLEBERG, W.: " Probleme der Koordination der Kurzschlussströme in Elektroenergiesystemen ", ELEKTRIE,32,1978,Nr.6,p.305-306.
- /90/.NITU,V.; CONSTANTINESCU,E.: " Instalații electrice ale centralelor și stațiilor " Ed. tehnică,1972.
- /91/.NOVAC,I.; ș.a.; " Mașini și acționări electrice ", Ed. Didactică și Pedagogică, București,1982.
- /92/.NURNBERG,W.: " Die Asynchronmaschine ",Springer-Verlag,Berlin/Cöttingen / Heidelberg,1963.
- /93/.OKOLOVIČ,M.N.; POLEVAJA,I.V.: " Učot vlijanija asinhronnyh dvigatelej pri rasčete tokov korotkogo замыkanija v sisteme sobstvennyh nužd elektro-stancij ", ĖLEKTRICESKIE STANCIJ,1963,Nr.4,p.54-60.
- /94/.OTT,G.; WEBS,A.: " Beitrag von Hochspannungs-Asynchronmotoren zum Kurzschlussstrom bei dreipoligen Kurzschluss ", ETZ-A,vol.92,1971, Nr.10, p.601.
- /95/.PĂTRĂȘESCU,D.: " Calculul efectului termic al curenților de scurtcircuit în cazul participării importante a motoarelor asincrone ",ENERGETICA,23,1975,Nr.7-8,p.226-231.
- /96/.PĂTRĂȘESCU,D.: " Unele aspecte ale corelării nivelurilor de scurtcircuit din rețele de distribuție cu curenții de pornire, respectiv de autopornire ai motoarelor ", ENERGETICA,24,1976,Nr.5,p.172-175.
- /97/.PĂTRĂȘESCU,D.: " Probleme specifice ale serviciilor proprii ale centralelor termoelectrice de mare putere ",ENERGETICA,16,Nr.11,1968.
- /98/.PIETRAREANU,E.: " Agenda electricianului " Ed.tehnică,1979.
- /99/.POSTNIKOV,I.M.: " Proiectarea mașinilor electrice ", Ed. energetică,București,1954,Traducere din limba rusă.
- /100/POTLOG,D.M.: " Cercetări privind comportarea acționărilor electrice cu motoare asincrone la goluri de tensiune",Teză de doctorat,Institutul politehnic Timișoara,1973.
- /101/POTOLEA,E.: " Calculul regimurilor de funcționare ale sistemelor electroenergetice ", Ed.tehnică, București,1977.
- /102/PBHASHANKAR,K.; JANISCHEWSKI,W.: " Digital simulation of multimachine power systems for stability studies ", I.E.E.E. TRANS. ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS,vol.PAS-87,1968,Nr.1(Jan),p.73-80.
- /103/RADTKE,U.: " Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung von Kurzschlussstromgrößen ",ELEKTRIE,32,1978,Nr.6,p.307-308.

- /104/.RADU,L.: " Calculul scurtcircuitelor în sistemele electroenergetice. Determinarea schemelor NEI și imaginile nodale ", *ENERGETICA*, 22, 1974, Nr.3, p.100-106.
- /105/.RAMSDEN,V.S.; ZORBAS,N.; BOOTH,R.R.: " Prediction of induction-motor dynamic performance in power systems ", *PROC. I.E.E.*, vol.115, 1968, Nr.4, (April), p.511-518.
- /106/.REZNIČENKO,V.Ju.: " Algoritmi rešenija diferencialnyh uravnenij asinhronogo dvigatelja ", *ELECTRICESTVO*, 1972, Nr.10, p.82-83.
- /107/.RICHTER,R.: " Mașini electrice ", vol.IV, Ed. tehnică, București, 1960.
- /108/.ROGERS,G.J.: " Linearised analysis of induction motor transients ", *PROC. I.E.E.*, vol.112, 1965, Nr.10(Oct), p.1917-1926.
- /109/.SARKAR,A.K.; BERG,J.G.: " Digital simulation of three-phase induction-motors ", *I.E.E.E. TRANS. ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS*, vol.PAS-89, 1970, Nr.6(July), p.1031-1037.
- /110/.SCHULTZ,W.: " Ein neues Rechenprogramm zur dreipoligen Kurzschlussstromberechnung für große Elektroenergieversorgungsnetze ", *ELEKTRIE*, 32, 1978 Nr.1, p.37-40.
- /111/.SELISCHI,AL.: " Influența perturbățiilor din instalațiile electroenergetice asupra funcționării motoarelor electrice din serviciile interne ale centralelor termoelectrice ", *ENERGETICA*, 25, 1977, Nr.1, p.23-29.
- /112/.SELISCHI,AL.: " Alegerea reactanțelor pentru transformatoarele de alimentare ale serviciilor interne ", *ENERGETICA*, 25, 1977, Nr.1, p.252-256.
- /113/.SERGHEEV,P.S.; VINOGRADOV,H.V.; GORJAINOV,F.A.: " Proiektirovanie električeskih mašin ", *Energija*, Moskva, 1969.
- /114/.SIEGMUND,D.; OSWALD,B.: " Zur digitaler Berechnung des Kurzschlussstromverlaufs in Elektroenergieübertragungsnetzen ", *ELEKTRIE*, 32, 1968, Nr.5, p.306-307.
- /115/.SIVOKOBYLENKO,V.F.; SOVPEL,V.B.; PAVLJUKOV,V.A.: " Metod opredelenija ekvivalentnyh parametrov mašin peremennogo toka " *IZVESTIJA AKADEMII NAUK SSSR, ENERGETIKA I TRANSPORT*, Nr.2, 1975, p.95-97.
- /116/.SIVOKOBYLENKO,V.F.; PAVLJUKOV,V.A.: " Metod ekvivalentirovanija i rasčeta korotkogo zamykanija v sisteme asinhronnyh mašin ", *ELECTRICESTVO*, Nr.1, 1975, p.45-50.
- /117/.SLATER,R.D.; WOOD,W.S.: " Constant-speed solution applied to the evaluation of induction-motor transient torque peaks ", *PROC. I.E.E.*, vol.114, 1967, Nr.10(Oct), p.1429-1435.
- /118/.SLATER,R.D.; WOODS,W.S.; FLYNN,F.P.; SIMPSON,R.: " Digital computation of induction-motor transient torque patterns ", *PROC. I.E.E.*, vol.113, 1966, Nr.5(May), p.819-822.
- /119/.SNIDER,L.A.; SMITH,I.R.: " Prediction of performance of induction-motor/synchronous-generator combination ", *PROC. I.E.E.*, vol.120, 1973, Nr.1, (Jan), p.79-86.
-: " Induction-motor reswitching transients ", *PROC. I.E.E.*, vol.114, 1967, Nr.4(April), p.503-509.
- /121/.SMITH,I.R.; SHRIHARAN,S.: " Transients in induction machines with terminal capacitors ", *PROC. I.E.E.*, vol.115, 1968, Nr.4(April), p.519-527.
- /122/.SMITH,I.R.; SHRIHARAN,S.: " Transient performance of induction motor ", *PROC. I.E.E.*, vol.113, 1966, Nr.7(July), p.1173-1181.

- /123/.SOVPEL,V.B.; KADANCEVA,T.A. : " Utočnennoe grafoanalitičeskoe issledovanie perehodnyh elektromechaničeskich procesov asinhronnoj mašiny ", IZV.VUZ. ELEKTROMECHANIKA, Nr.11, 1978, p.1178-1183.
- /124/.STIEBLER,M.: " Die Berechnung von Übergangsvorgängen bei Induktionsmaschinen mit Stromverdrängungsläufern ", ARCHIV FÜR ELEKTROTECHNIK, 51 Band, 1969, Heft 1.
- /125/.STIEBLER,M.: " Die Nachbildung von Induktionsmaschinen mit Stromverdrängungsläufern am Analogrechner unter Verwendung der Doppelkäfigdrehung ARCHIV FÜR ELEKTROTECHNIK, 49, 1965, Nr. 5, p.331-342.
- /126/.STRAHOV,S.V.: " Perehodnye processy v električeskich setijah, soderžaših mašiny peremennogo toka ", G.E.I., Moskva, 1960.
- /127/.TIMOTIN,A.; HORTOPAN,V.; IFRIM,A.; PREDĂ,M.: " Lectii de bazele electrotehnicii ", Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1970.
- /128/.TUZIK,S.K. : " K ekvivalentirovaniju asinhronnoj nagruzki ", I.V.U.Z.ĚLEKTROMECHANIKA, 1968, Nr.10, p.1085-1088.
- /129/.ULIANOV,S.A.: " Regimuri tranzitorii ale sistemelor electrice ", Ed. tehnică, București, 1967, Traducere din limba rusă.
- /130/.VASILIEVSEIJ,S.P.; ŠULAKOV,N.V.: " Modelirovanie na A.V.M. elektromašinyh sistem s glubokopaznymi dvigateljami ", ELEKTRICESTVO, 1971, Nr.9, p.38.
- /131/.VERETENNIKOV,L.P.; JALOLEV,V.P.: " Voprosy algoritimizacii perehodnyh procesov electroenergetičeskich sistemah ", ĚLEKTRICESTVO, 1967, Nr.12, p.22.
- /132/.WAGNER,W.P.: " Short circuit contribution of large induction motors, "PROC I.E.E., vol.116, 1969, Nr.6, p.985-990.

-.-.-

C U P R I N S

Capitolul 1. ANALIZA STADIULUI ACTUAL DE ABORDARE A PROBLEMEI COMPORTĂRII LA SCURTCIRCUITE A CONSUMATORILOR FORMAȚI DIN MOTOARE ELECTRICE ȘI A INFLUENȚEI LOR ASUPRA CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT.....1

1.1. Necesitatea considerării influenței consumatorilor formați din motoare electrice asupra curenților de scurtcircuit.....1

1.2. Clasificarea consumatorilor formați din motoare electrice din punct de vedere a poziției lor față de locul de scurtcircuit și față de sursele de alimentare.....4

1.3. Moduri și posibilități de abordare a problemei comportării în timpul scurtcircuitelor a consumatorilor formați din motoare electrice și a stabilirii influenței lor asupra curenților de scurtcircuit.....6

1.3.1. Incercări experimentale în sistemele reale de alimentare ale consumatorilor și recomandări practice de calcul.....7

1.3.1.1. Metoda sarcinii generalizate. Critica metodei.....7

1.3.1.2. Metoda motorului echivalent. Critica metodei.....8

1.3.2. Incercări experimentale pe motoare model special construite sau pe motoare de putere mică.....9

1.3.3. Tratarea teoretică și modelarea pe calculatoare cifrice și analogice.....10

Capitolul 2. MODELE MATEMATICE ALE MOTOARELOR ASINCRONE PENTRU STUDII DE COMPORTĂRII ACESTORA ÎN REGIMURILE TRANZITORII DIN REȚEAUA LOR DE ALIMENTARE.....12

2.1. Clasificarea motoarelor asincrone din punct de vedere al comportării lor în timpul scurtcircuitelor.....12

2.2. Modele matematice ale motoarelor asincrone de categoria I.....13

2.2.1. Modele matematice ale motoarelor asincrone cu două colivii rotative.....13

2.2.1.1. Modele matematice cu ecuațiile în sistemul natural de coordonate.....15

2.2.1.2. Modelul matematic cu ecuațiile în sistemul de coordonate $D, Q, 0$20

2.2.1.2.1. Modele matematice cu ecuațiile în sistemul de coordonate $D, Q, 0$ și cu mărimi rotorice reduse la stator.....21

2.2.1.2.2. Modele matematice cu ecuațiile în sistemul de coordonate $D, Q, 0$ și cu mărimile rotorice reduse la stator și raportate la axele de coordonate $D, Q, 0$25

2.2.1.2.3. Modele matematice cu ecuațiile în sistemul de coordonate $D, Q, 0$ și cu mărimile în unități relative (U.R. sau "per-unit").....26

2.2.2. Modele matematice ale motoarelor asincrone cu rotor cu o colivie cu bare înalte.....28

2.3. Modele matematice ale motoarelor asincrone de categoria II.....29

2.3.1. Modele matematice cu ecuațiile în sistemul de coordonate D , Q , θ și cu mărimile rotorice reduse la stator și raportate la axele D , Q	30
2.3.2. Modele matematice cu ecuațiile în sistemul de coordonate D , Q , 0 și cu mărimile în unități relative.....	31
Capitolul 3. STUDIUL ANALITIC AL COMPORTĂRII MOTORULUI ASINCRON ÎN TIMPUL UNUI SCURTCIRCUIT LA BORNELE SALE.....	32
3.1. Comportarea motoarelor asincrone de categoria I.....	32
3.1.1. Forma operațională a ecuațiilor modelului MA-2C-PCR și parametrilor operaționali a unui motor asincron de categoria I.....	33
3.1.2. Expresia analitică a curentului debitat de un motor asincron de categoria I în timpul scurtcircuitului trifazat produs la bornele sale (scurtcircuit direct).....	36
3.1.3. Expresia analitică a tensiunii reziduale de la bornele unui motor asincron de categoria I.....	40
3.1.4. Scurtcircuitul la borne după deconectarea unui motor asincron de categoria I (scurtcircuitul indirect), ca metodă de determinare a parametrilor săi tranzitorii.....	43
3.1.5. Determinarea parametrilor din schema echivalentă, corespunzătoare modelului MA-2C-DCR-UR (fig.2.6) a unui motor asincron de categoria I, în funcție de parametrul său tranzitoriu.....	45
3.1.6. Determinarea caracteristicii de frecvență a motoarelor asincrone de categoria I în funcție de parametrul lor tranzitoriu.....	47
3.2. Comportarea motoarelor asincrone de categoria II.....	48
3.2.1. Forma operațională a ecuațiilor modelului MA-1C-PCR și parametrilor operaționali ai unui motor asincron de categoria II.....	48
3.2.2. Expresia analitică a curentului de scurtcircuit direct debitat de un motor asincron de categoria II în timpul scurtcircuitului trifazat la bornele sale.....	49
3.2.3. Expresia analitică a tensiunii reziduale de la bornele unui motor asincron de categoria II.....	51
3.2.4. Expresia analitică a curentului de scurtcircuit indirect al unui motor asincron de categoria II.....	52
3.2.5. Determinarea parametrilor din schema echivalentă corespunzătoare modelului MA-1C-DCR-UR (fig.2.8) a unui motor asincron de categoria II, în funcție de parametrul său tranzitoriu.....	53
3.2.6. Determinarea caracteristicilor de frecvență ale motoarelor asincrone de categoria II în funcție de parametrul lor tranzitoriu.....	53
Capitolul 4. ÎNCERCĂRI EXPERIMENTALE.....	54
4.1. Încercări experimentale cu motoare asincrone de categoria I.....	54
4.1.1. Metoda propusă pentru prelucrarea oscilogramelor curentilor de scurtcircuit și ale tensiunilor reziduale ale motoarelor asincrone de categoria I.....	54

4.1.2. Incercări experimentale cu motoare asincrone cu două colivii rotorice.....	59
4.1.2.1. Incercări de scurtcircuit direct și de deconectare și rezultatele experimentale obținute în urma acestora.....	59
4.1.2.2. Determinarea din rezultatele experimentale obținute a curenților de șoc maximi, a coeficienților $k_{\text{șoc.M}}$, $k_{\text{n.M}}$ și a reactanțelor X_s'' , X_s' , X_s	66
4.1.2.3. Incercări de scurtcircuit indirect și rezultatele experimentale obținute în urma acestora.....	70
4.1.2.4. Calculul din rezultatele experimentale obținute a parametrilor din schema echivalentă a modelului MA-2C-DCR-UR și a caracteristicilor de frecvență.....	73
4.1.3. Incercări experimentale cu motoare asincrone cu colivie rotorică cu bare înalte.....	75
4.1.3.1. Incercări de scurtcircuit direct și de deconectare și rezultatele experimentale obținute în urma acestora.....	75
4.1.3.2. Determinarea din rezultatele experimentale obținute a curenților de șoc maximi, a coeficienților $k_{\text{șoc.M}}$, $k_{\text{n.M}}$ și a reactanțelor X_s'' , X_s' , X_s	80
4.1.3.3. Incercări de scurtcircuit indirect și rezultatele experimentale obținute în urma acestora.....	83
4.1.3.4. Determinarea din rezultatele experimentale obținute a parametrilor din schema corespunzătoare modelului MA-2C-DCR-UR al motoarelor cu două colivii rotorice, echivalente motoarelor reale cu o colivie rotorică cu bare înalte. Calculul caracteristicilor de frecvență ale motoarelor reale cu o colivie rotorică cu bare înalte.....	85
4.2. Incercări experimentale cu motoare asincrone de categoria II.....	87
4.2.1. Incercări de scurtcircuit și de deconectare și rezultatele obținute în urma acestora.....	87
4.2.2. Determinarea din rezultatele experimentale obținute a reactanțelor X_s' , X_s	91
4.2.3. Calculul din rezultatele experimentale a caracteristicilor de frecvență și a parametrilor din schema echivalentă a modelului MA-1C-DCR.....	92
4.2.4. Determinarea din rezultatele experimentale a curenților de șoc maximi și a coeficienților $k_{\text{șoc.M}}$, $k_{\text{n.M}}$	93
4.3. Tabele cu datele rezultate din prelucrarea oscilogramelor obținute în urma încercărilor cu motoare asincrone de categoria I și II.....	95
Capitolul 5. ANALIZA FACTORILOR CARE INFLUENȚEAZĂ ASUPRA CONTRIBUȚIEI MOTOARELOR ASINCRONE LA VALORILE CURENȚILOR DE SCURT-CIRCUIT DIN REȚEAUA LOR DE ALIMENTARE.....	107
5.1. Factorii care influențează contribuția la valorile curenților de scurtcircuit a consumatorului complet separat... ..	107
5.1.1. Interacțiunea dintre motoarele asincrone racordate la bară comună.....	107

5.1.2. Tipul motoarelor care alcătuiesc consumatorul complet separat, parametrii lor tranzitorii, puterea nominală și numărul perechilor de poli ai motoarelor.....	112
5.1.3. Impedanța elementului de legătură dintre motor și locul scurtcircuitului.....	118
5.1.4. Tipul scurtcircuitului.....	120
5.2. Factorii care influențează contribuția la valorile curenților de scurtcircuit a consumatorului permanent conectat.....	128
5.3. Tabele cu datele rezultate din calculele referitoare la factorii care influențează asupra contribuției motoarelor asincrone la curenții de scurtcircuit și cu cele rezultate din prelucrarea oscilogramelor referitoare la acești factori.....	131
Capitolul 6. CONCLUZII.....	142
Capitolul 7. ANEXE.....	147
BIBLIOGRAFIE.....	189
CUPRINS.....	197