

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

ING. CORNELIA ELENA IVAȘCU

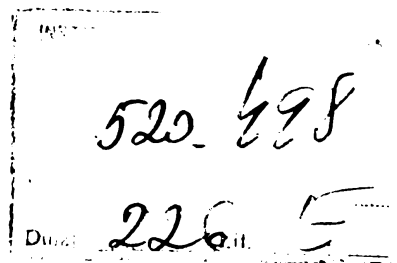
T E Z A D E D O C T O R A T

ESTIMAREA CARACTERISTICILOR STATICE ALE CONSUMATORILOR SI INFLUENTA LOR ASUPRA STABILITATII STATICE A SISTEMELOR ELECTROENERGETICE

CONDUCATOR STIINTIFIC:
PROF.DR.ING. IOAN NOVAC

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

- Timișoara 1987 -



CUPRINS

	pag.
INTRODUCERE	7
Lista abrevierilor și a principalilor indici utilizați	9
Capitolul 1. CONSIDERATII GENERALE. PROBLEMA STABILITATII STATICE SI A REPRE- ZENTARII CARACTERISTICILOR STA- TICE ALE CONSUMATORILOR DINTR-UN SEE	10
1.1. Noțiunea de stabilitate statică	10
1.2. Metode de analiză a stabilității statice prezentate în literatură	11
1.3. Reprezentarea sarcinii pentru studii de stabilitate statică a sistemelor electroenergetice	15
1.4. Deficiențele modului de conside- rare a sarcinii în calculele ac- tuale de stabilitate statică	26
1.5. Tema lucrării de doctorat	26
Capitolul 2. CARACTERISTICILE STATICE ALE CONSU- MATORILOR INDIVIDUALI, RESPECTIV ALE CONSUMATORULUI COMPLEX ECHIVA- LENT	29
2.1. Considerații generale privind sintematizarea caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune	29
2.2. Caracteristicile statice de putere funcție de tensiune ale consumato- rilor individuali . . .	30
2.2.1. Motoare asincrone	30
2.2.2. Motoare sincrone	41
2.2.3. Instalații de iluminat	42
2.2.4. Cuptoare electrice	42
2.2.5. Instalații de redresare	43
2.2.6. Consumatori casnici	43

	pag.
2.2.7. Pierderi de putere în liniile rețelelor electrice	44
2.3. Caracteristicile statice de putere funcție de tensiune ale consumatorului complex echivalent	51
2.4. Observații și concluzii privind stabilirea caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune pentru consumatorul complex echivalent	60
2.5. Reprezentarea în SEE a consumatorilor neliniari la tensiuni apropiate de cea nominală	60
2.6. Concluzii	65
Capitolul 3 MODELAREA MATEMATICĂ EXACTĂ A CONSUMATORILOR LA TENSIUNI APROPIATE DE CEA NOMINALĂ	67
3.1. Problema urmărită, metode de calcul	67
3.2. Reprezentarea tensorială a comportamentului incremental al elementelor neliniare ale rețelei electrice.	68
3.3. Reprezentarea matricială a consumatorilor în studiile de stabilitate statică	70
3.3.1. Introducere	70
3.3.2. Reprezentarea motorului asincron	70
3.3.3. Reprezentarea sarcinilor pasive	77
3.3.4. Reprezentarea consumatorului complex echivalent	77
3.4. Concluzii	79
Capitolul 4 STABILIREA ȘI INTERPRETAREA CARACTERISTICILOR STATICE ALE CONSUMATORULUI COMPLEX ECHIVALENT PE BAZA DE INCERCĂRI ÎN UNELE STATII S.E.F. NATIONAL	80
4.1. Metoda de măsurare folosită și rezultate obținute	80
4.2. Interpretarea rezultatelor obținute din măsurătorile efectuate în sistemul energetic național, etapa I	89
4.3. Prelucrarea statistică a rezultatelor	

	Pag.
măsurătorilor	92
4.3.1. Estimarea expresiei caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune ale consumatorilor complecși echivalenți, pe baza caracteristicilor determinate experimental	92
4.3.2. Efectul reglant al puterii funcție de tensiune al consumatorului complex echivalent determinat pe baza caracteristicilor statice experimentale, (măsurători etapa I)	98
4.4. Caracteristici statice medii de putere funcție de tensiune ale consumatorului complex echivalent dintr-un sistem electroenergetic	100
4.4.1. Caracteristici statice medii și efectul reglant al puterii, obținut din măsurători (etapa a II-a)	100
4.4.2. Analiza rezultatelor obținute	104
4.5. Concluzii	107
Capitolul 5. ANALIZA STABILITĂȚII STATICE A SISTEMELOR ELECTROENERGETICE CONSIDERIND CONSUMATORUL COMPLEX ECHIVALENT PRIN CARACTERISTICILE SALE STATICE ALE PUTERII FUNCȚIE DE TENSIUNE	110
5.1. Criteriul $\frac{dQ}{dU}$ de apreciere a stabilității statice într-un sistem electroenergetic simplificat, în cazul considerării caracteristicilor statice ale consumatorului complex echivalent	110
5.1.1. Relații de calcul	110
5.1.2. Aprecierea erorii introduse prin considerarea unor caracteristici	

	Pag.
simplificate în locul caracteristicilor statice reale în calculul derivatei $\frac{dQ}{dU}$	113
5.1.3. Calculul tensiunii critice și a rezervei de stabilitate statică având în vedere caracteristicile de putere funcție de tensiune ale consumatorilor	119
5.2. Calculul stabilității statice a zonei din Sud-Vest a S.E.N. ținând cont de influența sarcinii	122
5.2.1. Metodologia de cercetare	122
5.2.2. Sistemul electroenergetic considerat în calcule	124
5.2.3. Influența caracteristicilor consumatorului complex echivalent asupra stabilității statice a sistemului electroenergetic considerat. Rezultate obținute	135
5.2.3.1. Probleme generale	135
5.2.3.2. Toți consumatorii din SEE reprezentați prin același fel de caracteristici statice de putere funcție de tensiune măsurate sau simplificate	139
5.2.3.3. Influența modului de reprezentare a consumatorului de pe bara Mintia	146
5.2.3.4. Influența reprezentării consumatorului de pe bara Rovinari	148
5.2.3.5. Influența reprezentării consumatorului de pe bara Timișoara	150
5.2.3.6. Influența reprezentării consumatorului de pe bara Slatina	153
5.2.3.7. Influența considerării nodului de echilibrare	157

	pag.
5.2.4. Concluzii privind influența reprezentării consumatorului complex echivalent asupra calculelor de stabilitate statică într-un S.F.F.	157
5.3. Concluzii	159
Capitolul 6 CONCLUZII GENERALE	161
6.1. Conținutul lucrării	161
6.2. Concluzii în urma rezultatelor teoretice și experimentale	161
6.3. Contribuții teoretice și experimentale	164
6.4. Perspective de cercetare în viitor	165
ANEXE	166
Anexa A-1 Parametrii motoarelor electrice asincrone trifazate de uz general de la 0,06 la 132 kW	166
Anexa A-2 Aproximarea unei funcții printr-un polinom	167
Anexa A-3 Estimarea parametrilor	169
Anexa A-4 Programul de calcul CSPU (program pentru estimarea caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune)	173
Anexa A-5 Programul de calcul REZSTATIC (program pentru analiza rezervei de stabilitate statică în funcție de modul de reprezentare al consumatorilor).	174
BIBLIOGRAFIE	175

INTRODUCERE

Dezvoltarea sistemelor electrice interconectate, foarte rapidă în ultimul timp, a condus la mărirea siguranței în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor prin posibilitatea de utilizare a rezervelor de putere în timpul incidentelor, la optimizarea funcționării sistemelor electrice prin folosirea judicioasă a curbelor de sarcină, dar sub alt aspect, s-a creat posibilitatea apariției unor avarii de sistem, dintre care cele mai grave sînt pierderile de stabilitate.

Proiectarea și exploatarea corectă a actualelor sisteme electroenergetice mari și complexe impun tot mai pregnant urmărirea problemelor de stabilitate a sistemului, probleme care dacă nu sînt judicios soluționate pot duce la avarii grave și de durată, /47/ , /55/ , /99/ .

Din date statistice reiese că avariile datorită pierderii stabilității statice pot fi relativ destul de frecvente; astfel în /125/ se arată că într-o perioadă de șapte ani s-au constatat, la un sistem electric urmărit , 44 de avarii de pierdere a stabilității, dintre care 33 de cazuri au fost de pierdere a stabilității tranzitorii și 11 cazuri de pierdere a stabilității statice. În etapa 1962-1966 au avut loc o serie de avarii în sistemul energetic național al R.S.R., avarii a căror extindere s-a datorat epuizării rezervei de stabilitate statică, /164/.

Dezvoltarea sistemelor electroenergetice naționale, creșterea puterii unitare a grupurilor generatoare, extinderea liniilor de transport de tensiune foarte înaltă, etc. ridică probleme noi privind calitatea energiei livrate și fiabilitatea alimentării consumatorilor.

Datorită acestor modificări structurale esențiale, apar noi aspecte și în domeniul STS care se cer cercetate, iar metodele de calcul existente trebuie verificate și readaptate noilor condiții, /229/.

Studiul stabilității statice a sistemelor electroenergetice este important și actual pentru că:

a) Datorită necesității de a se funcționa în regimuri ca-

pacitive cu generatoarele racordate la liniile de foarte înaltă tensiune. situațiile de funcționare în apropierea limitei de stabilitate statică devin foarte frecvente.

b) Datorită creșterii valorilor relative ale reactanțelor sincrone la generatoarele cu puteri unitare mari, tipurile de rețele în care încărcarea limită rezultă din condiții de stabilitate statică sînt mult mai numeroase în ultimii ani.

c) După orice avarie, regimul dinamic ce însoțește eliminarea defectelor, trebuie în final să tindă spre un regim static stabil.

Problema stabilității statice are o importanță deosebită, pentru că în cazul în care un regim staționar prezintă într-o anumită zonă a sistemului o rezervă de stabilitate statică suficient de mare, asigurarea stabilității tranzitorii în zona respectivă a sistemului nu mai necesită, în general, condiții speciale, /151/. În această situație, este foarte probabil ca generatoarele apropiate de punctul din sistem în care a apărut defectul să fie reprinse în sincronism după reanclansare și regimul tranzitoriu să se stabilizeze fără a fi necesare debuclări în sistem sau adoptarea altor măsuri speciale.

Mentinerrea funcționării stabile a sistemului electroenergetic asigură continuitatea în alimentare cu energie electrică a consumatorilor, deziderat major în preocupările cercetătorilor, a cadrelor de specialitate, cît și a tuturor energeticienilor care se preocupă de exploatarea unui sistem electroenergetic.

În acest context, tema tezei de doctorat prezintă un deosebit interes atît din punct de vedere teoretic cît și aplicativ.

Rezultatele obținute în teza de doctorat elucidează unele aspecte legate de întocmirea modelelor matematice ale consumatorului complex echivalent dintr-un SBE și a influenței caracteristicilor statice ale acestuia asupra stabilității statice a sistemului electroenergetic, iar prin contribuțiile originale deschide noi perspective de dezvoltare a cercetătorilor în acest domeniu.

Teza a fost elaborată sub îndrumarea permanentă a tov. prof.dr.ing.Novac Ioan, cărui a autorul îi mulțumește călduros pentru indicațiile prețioase primite.

Lista abrevierilor și a principalilor indici utilizați

a) abrevieri

AT - autotransformator
CHE- centrală hidroelectrică; CTE - centrală termoelectrică
CA - calculator analogic; CN - calculator numeric
GS - generator sincron; HG - hidrogenerator
LE - linie electrică ; LEA - linie electrică aeriană
LES- linie electrică subterană
MAS- motor asincron ; MS - motor sincron
MM - model matematic
RAT- regulator automat de tensiune
RAV- regulator automat de viteză
RE - rețea electrică
SEE- sistem electroenergetic
SEN- sistem electroenergetic național
SRAE- sistem de reglare automată a excitației
SRAV- sistem de reglare automată a vitezei (turației)
STS - stabilitate statică
TE - transformator electric; TG - turbogenerator
t.e.m. - tensiune electromotoare; tm.m. - tensiune magnetomotoare
V.P.- valori proprii
u.a.- unități absolute; u.r. - unități relative

b) principali indici

"s" - pentru sarcină (consumator)
"S" - pentru stator
"R" - pentru rotor
"n" - pentru mărime nominală
"b" - pentru mărime de bază
"G" - pentru dispersie
"f" - pentru mărime de fază
"N" - pentru mărimi în regim normal
"M.as" - pentru mărimi referitoare la motor asincron
"Ms" - pentru mărimi referitoare la motor sincron
"il" - pentru iluminat
"cas" - pentru consumator casnic
"Rd" - pentru redresoare
"CE" - pentru cuptoare electrice
" r " - pentru unități relative

Capitolul 1

CONSIDERATII GENERALE. PROBLEMA STABILITATII STATICE SI A REPREZENTARII CARACTERISTICILOR STATICE ALE CONSUMATORILOR DINTR-UN SEE

1.1. Noțiunea de stabilitate statică

Prin stabilitatea statică a sistemelor electroenergetice se înțelege menținerea în sincronism a generatoarelor racordate la sistem când acest sistem este supus uneia sau mai multor perturbații mici.

Conform definițiilor adoptate de CIGRE 1966, /41/, un sistem se spune că este în regim de stabilitate statică dacă, în urma unei "mici" perturbații oarecare, își găsește o stare de regim permanent de funcționare identic cu regimul inițial sau foarte apropiat de acesta. Se numește "mică" perturbație, o perturbație pentru care liniarizarea ecuațiilor este practic justificată.

Din această definiție rezultă că se poate folosi ca metodă generală de studiu a stabilității statice a sistemelor electroenergetice metoda oscilațiilor mici, /47/, /125/, /128/, /159/, /177/.

Studierea stabilității statice a sistemelor electroenergetice prezintă dificultăți din cauza numeroaselor categorii de

regimuri staționare posibile (normale, de vîrf de sarcină, de gol de sarcină, de după avarie, etc), a multiplelor posibilități de înrăutățire a regimurilor inițiale în vederea atingerii regimurilor critice și a complexității sistemului electroenergetic.

Pentru efectuarea unor studii mai complete a stabilității statice a sistemelor electroenergetice trebuie avute în vedere și influențele asupra sistemului, a caracteristicilor statice ale sarcinii alimentată din sistem /56/, /61/, /84/, /103/, /117/, /137/, /185/, /225/.

Conform /226/, caracteristica statică este caracteristică stabilității în ipoteza că pentru fiecare punct al caracteristicii mașina se găsește în regimul permanent sau staționar de funcționare.

Prin caracteristici statice a unui consumator se înțelege dependența între puterea activă respectiv puterea reactivă a consumatorului și tensiunea de alimentare, în regim de funcționare permanent sau staționar, în condițiile în care frecvența de alimentare a sistemului se consideră constantă. Ipoteza neglijării influenței frecvenței tensiunii de alimentare asupra puterii consumate este totdeauna valabilă în regim staționar, /78/, /86/, /126/.

Literatura de specialitate înregistrează în ultimii ani o intensificare a preocupărilor privind determinarea caracteristicilor de putere funcție de tensiune ale consumatorilor și a influenței acestora asupra limitei stabilității statice a SEE /9/, /16/, /40/, /77/, /93/, /119/, /123/, /173/, /175/, /206/. De astfel de probleme în țara noastră s-au ocupat colective de la ISPE /86/, DSE /160/, și ICEENERG /180/.

1.2. Metode de analiză a stabilității statice prezentate în literatură

Problema stabilității sistemelor electroenergetice a început să se pună în jurul anului 1925 /54/ când s-au constatat primele fenomene de instabilitate pe liniile de înaltă tensiune.

Stabilitatea statică determină o putere maximă în condițiile în care puterea este mărită lent, lăsînd excitația generatorului neschimbată sau reglînd-o pentru a menține constantă tensiunea la borne.

Fenomenul de pierdere a stabilității statice apare într-o rețea în momentul în care există un deficit de putere activă și reactivă și se poate recunoaște după nivelul scăzut al tensiunii.

Rezerva de stabilitate statică a sistemului electroenergetic reprezintă depărtarea față de situația limită de stabilitate statică ținând seama de condițiile de înrăutățire a regimului.

Rezerva de stabilitate, în funcție de putere, r_p , respectiv în funcție de tensiune, r_u se definesc /47/ prin relațiile (1.1) și (1.2) :

$$r_p = \frac{P_{\max} - P_{\text{norm}}}{P_{\text{norm}}} 100\% \quad (1.1)$$

$$r_u = \frac{U_{\text{norm}} - U_{\text{crit}}}{U_{\text{norm}}} 100\% \quad (1.2)$$

Se admite:

$$r_p = 15\% \text{ sau } r_u = 10\% \text{ pentru regimuri normale}$$

$$r_p = 8\% \text{ sau } r_u = 5\% \text{ pentru regimuri postavarie.}$$

În aceste relații s-au notat: r_p - coeficientul de rezervă a stabilității statice în funcție de putere; r_u - coeficientul de rezervă al stabilității statice în funcție de tensiune; P_{\max} - puterea activă maximă ce poate fi transportată pe linie, pe un element echivalent, pe grup, etc.; P_{norm} - puterea activă transportată în regim normal pe linie, pe un element echivalent, etc.; U_{norm} - tensiunea în regim normal; U_{cr} - tensiunea critică din punctul de vedere al stabilității statice.

Pentru studiul stabilității statice se pot considera fie mici perturbări aplicate sistemului, fie variații mici ale parametrilor regimului sistemului în starea lui inițială /55/ ambele căi conducând la aceleași rezultate.

Studierea stabilității statice a sistemelor complexe prin calcule cu metoda micilor oscilații necesită un mare volum de muncă, deși se admit unele simplificări, care evident conduc la îndepărtarea de situația reală /125/ ,/54/. Rezultatele vor fi afectate de erori și mai mari în cazul în care se adoptă pentru calcul metode aproximative, așa -

numitele criterii practice ($\frac{dP}{d\delta}$, $\frac{dP}{dU}$, $\frac{dQ}{dU}$, $\frac{dP}{dF}$, $\frac{dE}{dU}$, etc.), care însă sînt mult mai comod de aplicat, conducînd la calcule mai simple /128/, /184/.

Adoptarea căii de rezolvare a problemei studiului stabilității statice a unui SEE depinde de schema acestuia, de gradul de precizie învrs rezultatelor, de scopul studiului. Evident, costul studiului este direct proporțional cu timpul de calcul și este de dorit un cost cât mai mic, fără a prejudicia însă rezultatele obținute. In acest sens, se apelează la diverse metode, prezentate pe larg în literatură și redete succint în fig.1.1.

Pentru efectuarea unor studii mai complete a stabilității statice a sistemului electroenergetic trebuie avute în vedere influențele asupra sistemului a reguletoarelor de tensiune, /5/, /57/, /105/, /201/, /222/ și a caracteristicii statice de putere funcție de tensiune a sarcinii alimentată din sistem, /9/, /56/, /84/, /117/, /159/, /206/, /218/.

Existența calculatoarelor electronice au îmbunătățit în ultimii ani metodele clasice utilizate în studiile de stabilitate /17/, /63/, /80/, /105/, /112/, /225/, /230/, permițînd abordarea problemelor complexe, altfel mult simplificate prin ipotezele de calcul admise.

Folosirea calculatoarelor numerice la studiul stabilității statice permite pe de o parte considerarea unui număr destul de mare de generatoare din sistem (numărul lor fiind în funcție de capacitatea memoriei calculatorului), pe de altă parte permit introducerea prin ecuații suplimentare, în calculele de stabilitate, a efectului reguletoarelor automate ale turbogeneratoarelor (RAT) /130/, /225/. Consumatorul complex racordat la sistem se consideră în mod simplificat, de tip putere constantă, sau impedanță constantă, calculele fiind, evident, afectate de erori (v.cap.1.3).

In literatura de specialitate, începînd din anul 1960 au apărut diverse publicații care au prezentat metodele de calcul al stabilității sistemelor electroenergetice cu ajutorul calculatoarelor numerice /25/, /105/, /106/, /107/, /112/, /194/.

Aprecierea stabilității statice a SEE complexe este condiționată de localizarea valorilor proprii ale matricii de stare, corespunzătoare modelului matematic liniarizat ce descrie com-

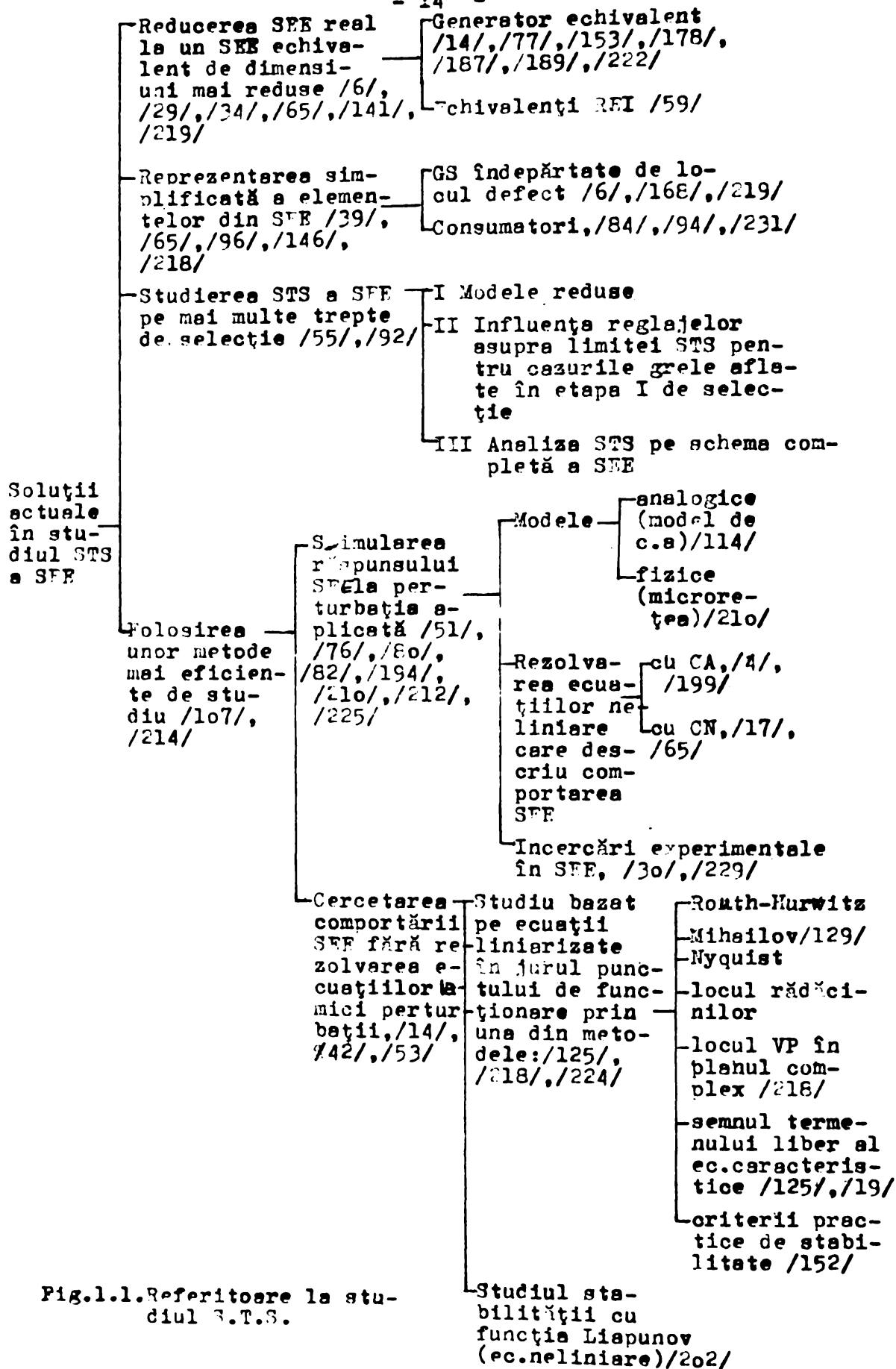


Fig.1.1.Referitoare la studiul S.T.S.

portarea SEE la mici perturbații / 184/. Rezolvarea acestei probleme întâmpină dificultăți serioase legate de calculul valorilor proprii cât și de dimensiunea foarte mare a matricii de stare. Atingerea regimului permanent este condiționată de localizarea tuturor valorilor proprii ale matricii de stare $[A]$ în semiplanul negativ al planului complex; se consideră forma generală a modelului matematic liniarizat al SEE complex sub forma (1.3), /149/, /184/, /218/

$$\dot{[X]} = [A][X] , \quad (1.3)$$

în care: $[X]$ este vectorul mărimilor de stare, de dimensiune N ,
 $\dot{[X]}$ este vectorul derivatelor mărimilor de stare,
 $[A]$ este matricea de stare, de dimensiune $N \times N$.

Un studiu de stabilitate statică a unui SEE presupune rezolvarea următoarelor probleme:

- precizează dacă SEE este stabil sau nu ;
- calculul rezervei de stabilitate;
- redarea variației în timp a mărimilor de stare la apariția unei perturbații;
- influențele produse asupra stabilității statice prin modificarea unor parametri din SEE.

1.3. Reprezentarea sarcinii pentru studii de stabilitate statică a sistemelor electroenergetice

Variațiile sarcinii active și reactive în funcție de variația tensiunii de alimentare (caracteristicile statice ale sarcinii), $P_s = f_1(U)$, $Q_s = f_2(U)$, influențează în mare măsură stabilitatea statică a SEE, / 54 / 99 /, /117/.

O formă generală a ecuațiilor caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune, este:

$$\begin{aligned} P_s &= K_1 U^2 + K_2 U + K_3 , \\ Q_s &= K_4 U^2 + K_5 U + K_6 . \end{aligned} \quad (1.4)$$

În funcție de tipul sarcinii, coeficienții $K_1 \dots K_6$ pot obține diferite valori / 54 / 99/. În relațiile de mai sus, P_s și Q_s reprezintă puterea activă și reactivă a consumatorului (sarcinii), U tensiunea de alimentare a acestuia, iar $K_1 \dots K_6$ sînt constante dependente de caracteristicile constructive ale consumatorilor.

Pe lângă forma analitică (1.4), aceste caracteristici

pot fi exprimate și grafic.

Consumatorii racordați la sistemul electroenergetic sînt formați dintr-un număr mare de sarcini (receptoare), care pot fi clasificați din diferite puncte de vedere / 56 / , / 99 / , / 116 / , / 117 / , / 118 / , / 125 / , / 128 / , / 188 / , dar pentru studiile de stabilitate statică interesează clasificarea după caracteristica lor statică de putere funcție de tensiune , / 99 / , / 118 / , vezi tabelul 1.1.

Din acest punct de vedere se deosebesc consumatori: motoare asincrone, motoare sincrone, iluminat, casnic, cuptoare cu rezistență, redresoare. Se poate vorbi și de un consumator complex echivalent, a cărui caracteristici se obțin din compunerea caracteristicilor sarcinilor componente ale consumatorului , / 182 / . Caracterul consumatorului complex echivalent este cunoscut numai cu aproximație și există variații ale caracteristicii consumatorului complex, care pot apare de la zi la zi sau de la oră la oră. Din acest motiv în / 10 / și / 99 / se susține că dacă nu se dispune de date exacte, metoda de a sintetiza caracteristicile totale putere-tensiune pe baza unei distribuții aproximative presupusă, nu ar fi mulțumitoare.

TABELUL nr. 1.1

Forme de exprimare a caracteristicilor statice de putere în funcție de tensiune pentru consumatori individuali			
Nr. crt.	Caracteristici statice	Consumatorul	Obs.
1.	$P_s = K_3$ $Q_s = K_4 U^2 + K_5 \frac{1}{U^2}$	Motor asincron	
2.	$P_s = K_3$ $Q_s = K_4 U^2 + K_5 U$	Motor sincron	
3.	$P_s = K_1 U^{1,6}$ $Q_s = 0$	Iluminat	
4.	$P_s = K_1 U^2$ $Q_s = 0$	Consumatori rezistivi (cuptoare electrice, casnici) redresoari cu Hg, etc)	

Tabelul nr.1.1 (continuare)

5.	$P_s = K_3$ $Q_s = K_4 U^2$	Pierderi de putere	Expresia acestor caracteristici depinde de configurația rețelei și a consumatorului complex alimentat.
----	-----------------------------	--------------------	--

Componența consumatorului complex alimentat din sistemul electroenergetic, indicată de diverși autori, se poate vedea din datele prezentate în tabelul 1.2 (pag. 18).

Determinarea expresiilor caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune ale consumatorului complex echivalent se poate realiza fie prin sintetizarea caracteristicilor statice ale componentelor consumatorului, fie prin identificarea expresiei pe baza prelucrării rezultatelor experimentale /46/, /119/, /120/. Prima posibilitate, deși mai accesibilă, în general nu conduce la rezultate satisfăcătoare decât în situațiile în care se cunoaște exact structura consumatorului complex echivalent și, evident, dacă nu se fac multe ipoteze simplificatoare în reprezentarea caracteristicii statice a consumatorilor individuali. Din această cauză și atunci când nu sînt rezultate experimentale s-au propus și diferite modele matematice pentru consumatorul complex echivalent ca de exemplu în /94/ se propune reprezentarea acestuia prin trei elemente echivalente: motor asincron, motor sincron și rezistență, precizîndu-se că acest model conduce la rezultate apropiate de cele reale.

Determinarea experimentală a caracteristicilor statice de putere, mai dificil de realizat, oferă rezultate mult mai precise și deci de încredere. Expresiile caracteristicilor se obțin în acest caz prin identificarea coeficienților statistic, cu metoda celor mai mici pătrate.

Cu privire la determinările experimentale se conturează două metode:

- metoda măsurătorilor "directe" în SEE, prin modificarea prizei la transformatoarele din stațiile de transformare /21/, /22/, /72/, /160/, /172/, /213/, /229/, metodă folosită și în prezenta lucrare;

- metoda măsurătorilor "pasive" în SEE, care conduc la stabilirea caracteristicilor statice de putere funcție de ten-

520.498
226 E

TABELUL nr. 1.2.

Date privind structurile admise pentru consumatorul complex echivalent										
Nr. crt.	Bi-bliograf.	Tipul consu-mat.	Motor asincr.	Motor sincr.	Ilum. + casn.	Cupt. el.	Re-dre-soare	Pier-deri de put. pe transf. și linii	Total	Obs.
1.	/20/A7/	I	30	10	6,47+ 8,53	15	20	10	100	
2.		II	50	10	8,62+ 11,38	5	5	10	100	
3.		III	50	10	4,31+ 5,69	10	10	10	100	
4.		IV	70	10	4,31+ 5,69	3	2	5	100	
5.	/99/	I	60	20	20	-	-	-	100	
6.		II	60	15	25	-	-	-	100	
7.		III	50	25	25	-	-	-	100	
8.	/125/		50	9	21		11	9	100	
9.	/128/		55	10	4		31	-	100	
10.	/130/		60	10	30	-	-	-	100	
11.	/176/	I	60	-	20	15	5	-	100	
12.		II	20	-	30	10	40	-	100	
13.	/184/	I	51		30	3	8	8	100	cu sarcină urbană
14.		II	53		18	8	13	8	100	cu sarcină industr.
15.	/210/		50	10	23		10	7	100	

siune, respectiv a efectului reglant al sarcinii funcție de tensiune, fără intervenția în regimul de alimentare cu energie electrică a consumatorilor, bazată pe înregistrarea fluctuațiilor de tensiune și putere, inerente în funcționarea SEE și prelucrarea acestor înregistrări. Evident această cale presupune existența unor aparate de măsură înregistratoare, este de durată mai mare și implică calcule mai multe față de metoda măsurătorilor directe. În literatură /93/, se precizează că prin această metodă se obțin rezultate comparabile cu cele mai precise rezultate cunoscute.

Măsurătorile în sistem în vederea stabilirii caracteristicii statice de putere funcție de tensiune pentru un consumator complex echivalent prezintă mult interes pentru că în practică, în cazul sarcinilor complexe, este destul de complicată problema de terminării caracteristicilor statice de sarcină, întrucît răspunsurile sarcinilor la variația de tensiune nu se corelează după așteptări cu compoziția cunoscută a sarcinilor / 9 /, /137 /, /192 /.

Incercări experimentale pentru obținerea "pe viu" în instalațiile electroenergetice în funcțiune, a caracteristicilor statice de putere pentru consumatorii complecși echivalenți sînt relativ puține și cu atît mai puține sînt cele indicate în literatură. Dintre acestea se pot aminti rezultatele din / 9 /, /21 /, /72 /, /73 /, / 74 /, /104 /, /137 /, /158 /, /173 /, /192 /, iar pentru cîteva platforme industriale din țara noastră în /86 /, /120 /, /122 /, /160 /.

Se poate aprecia că rezultatele sînt incomplete, referindu-se numai la anumite zone din SE, nu totdeauna cele mai reprezentative. De altfel, alegerea zonei este discutabilă, iar aprecieri cît mai apropiate de realitate se pot face numai pe baza unui bogat material experimental care să permită generalizări.

De fapt, aceste caracteristici statice putere-tensiune nu pot fi determinate pentru întreg sistemul electroenergetic, în ansamblu, pentru că este foarte dificilă o scădere simultană și identică a tensiunii în toate nodurile rețelei. Din această cauză, de obicei, caracteristicile statice de putere se determină pentru diferite noduri importante ale sistemului, în care tensiunea poate fi reglată relativ ușor (de ex. barele de la tensiunea generatoarelor în centralele electrice de putere mare, sau barele pe care sînt legate transformatoare reglabile sub sarcină, etc).

Din cauza complexității introduse în calcule prin considerarea caracteristicilor statice de putere, cît și datorită cunoașterii lor incomplete, în majoritatea lucrărilor și mai ales în cele clasice ele se aproximează, cu toate că în anumite situații prin aceasta se pot introduce erori destul de mari.

Atunci cînd nu se dispune de caracteristici exacte, teoretice sau ridicate experimental, se reprezintă sarcinile considerîndu-se pentru acestea legi de variație apropiate de variația din situația reală, /54 /, /99 /, /130 /, ca de exemplu $P_s = K_p U^\alpha$,

$Q_s = K_q U^\alpha$, în funcție de valoarea adoptată pentru " α " rezultând metodele de reprezentare indicate în tabelul 1.3.

TABELUL nr. 1.3.

Forme de exprimare simplificată a caracteristicilor de sarcină pentru consumatorul complex echivalent			
Compo- nența	P_s	Q_s	Comentarii
Ipoteza Impedanța constantă ($\alpha=2$)	$P_s = K_p U^2$	$Q_s = K_q U^2$	-metoda simplă -permite includerea consumatorului în matricea de sistem rezultând simplificarea calculelor de regimuri -dezavantaj: introduce erori în rezultatul calculelor -în calcule de stabilitate statică conduce la rezultate prea optimiste/99/
Curent activ și reactiv constant ($\alpha = 1$)	$P_s = K_p U$	$Q_s = K_q U$	-în general acceptată în studii de stabilitate statică -la o scădere a tensiunii cu maximum 10%, ipoteza curentului constant este aproape exactă în ceea ce privește puterea activă și ușor pesimistă în privința puterii reactive /99/
Putere constantă ($\alpha = 0$)	$P_s = K_p$	$Q_s = K_q$	-folosită în studii de stabilitate statică -rezultatele obținute sînt acoperitoare, ușor pesimiste/56/
Caracteristici "normale" (teoretice)	$P_s = K_p$	$Q_s = K_q U^2$	-forma cea mai folosită pentru reprezentarea sarcinii în studiile de stabilitate statică -conduce la rezultate ușor pesimiste

Dacă se urmărește un calcul exact al stabilității statice a sistemului electroenergetic ar trebui să se considere sarcinile racordate la acesta, prin caracteristicile lor statice de putere

obținute prin măsurători.

Trebuie menționat însă că apar o serie de dificultăți în utilizarea caracteristicilor statice reale ale consumatorului complex echivalent, pe de o parte pentru că calculele de stabilitate se complică, iar pe de altă parte aceste caracteristici, care în general nu se cunosc, depind de o serie de factori printre care numărul și tipul consumatorilor individuali care-l compun și care se modifică în diferite perioade, uneori chiar în intervalul unei zile.

Pretențiile care se ridică în ultimul timp referitor la calcule de stabilitate statică impun însă considerarea consumatorului printr-o reprezentare care să fie cât mai apropiată de cea reală. Dintre preocupările mai semnificative indicate în literatura din acest domeniu, care au propus diferite moduri de exprimare a caracteristicilor statice pentru consumatorul complex echivalent, s-au redat concentrat în tabelul 1.4, câteva forme pentru exprimarea caracteristicilor statice putere funcție de tensiune ale consumatorului complex echivalent cu scopul de a servi ca bază de comparație pentru rezultatele din prezenta lucrare.

Se observă că există o mare diversitate de reprezentare a caracteristicilor statice de putere în funcție de tensiune pentru consumatorul complex.

TABELUL nr.1.4

Forme de exprimare a caracteristicilor consumatorului complex					
Nr. crt.	Compo- nenta Tara (anul)	P	Q	Obs. (apre- cieri)	Biblio- grafie
1	2	3	4	5	6
1.	SUA (1972)	$P = P_0 \left(\frac{U}{U_0}\right)^p U$	$Q = Q_0 \left(\frac{U}{U_0}\right)^q U$		/21/
2.	SUA (1972)	$P = K_p U^a$ $a = 0, 5, 1, 2$	$Q = K_q U^b$ $b = 1 \dots 4$		/50/
3.	SUA (1977)	$P = \frac{dP}{dU} \Big _{\omega=ct} \cdot \Delta U +$ $+ \frac{dP}{d\omega} \Big _{U=ct} \cdot \Delta \omega$	$Q = \frac{dQ}{dU} \Big _{\omega=ct} \cdot \Delta U +$ $+ \frac{dQ}{d\omega} \Big _{U=ct} \cdot \Delta \omega$		/176/

1	2	3	4	5	6
4.	RFG (1969)	$P = P_N \left(\frac{U}{U_n} \right)^p \text{ sau}$ $P = A_0 + A_1 \left(\frac{U_2}{U_n} \right)^{a_1} +$ $+ A_2 \left(\frac{U_2}{U_n} \right)^{a_2}$	$Q = Q_N \left(\frac{U}{U_n} \right)^q$ $Q = B_0 + B_1 \left(\frac{U_2}{U_n} \right)^{b_1} +$ $+ B_2 \left(\frac{U_2}{U_n} \right)^{b_2}$	$p = \frac{\Delta P}{\Delta U}$ $q = \frac{\Delta Q}{\Delta U}$	/78/
5.	URSS (1968)	$P_r = K_1 + K_2 U_r +$ $+ K_3 U_r^2$	$Q_r = K_4 + K_5 U_r +$ $+ K_6 U_r^2$	Coeficien- ții se de- termină statistic cu metoda celor mai mici pătra- te	/133/
6.	URSS (1973)	$P = P_{2n} \left(\frac{1 - \frac{S_n}{\alpha}}{k_i} \right)^{\beta+1}$ $+ P_{on} k_i^2 + \Delta P_m \cdot \frac{1}{k_i \alpha}$ $+ \Delta P_{on} k_i^{\alpha 2} + P_{3n} k_i^{\alpha} +$ $+ P_{sn}$	$Q = Q_{on} k_i^4 +$ $+ \Delta Q_{ln} \frac{1}{k_i^{\alpha 1}} +$ $+ \Delta Q_{on} k_i^{\alpha 2} -$ $- Q_{1sn} \left(\frac{k_i^4 - b^2}{1 - b^2} \right)^{0,5} +$ $+ Q_{2sn} k_i^3$	Pentru deter- minarea coefi- cientilor co- respunzător u- nui nod de sar- cină se elabo- reză algorit- mul și progra- mul de calcul bazat pe meto- da celor mai mici pătrate	/94/
7.	RSR (1967) și (1977)	$P_r = K_2 U_r$ $P_r = 0,83 +$ $+ 0,17 U_r$	$Q = K_3 + K_4 U_r^2$ $Q = -0,41 +$ $+ 0,44 \frac{1}{U_r^2} +$ $+ 1,03 U_r^2$	(1967) Pentru consu- mator de pe barele de 35- 220 kV	/184/
		$P_r = 0,83 + 0,17 U_r$	$Q = -0,61 +$ $+ 0,32 \frac{1}{U_r^2} +$ $+ 1,29 U_r^2$	Pentru consu- matorul de pe barele de 6- 10 kV	
8.	RSR (1978)	$P = P_0 + K_p U^z p$ $K_p = \frac{\frac{dP}{P}}{\frac{dU}{U_n}} \%$	$Q = Q_0 + K_q U^z q$ $K_q = \frac{\frac{dQ}{Q}}{\frac{dU}{U_n}} \%$	K_p, K_q - indica- tori sintetici ai caracteris- ticilor stati- ce Z_p, Z_q - coeficienți specifci fiecă- rui tip de consu- mator	/2 /

Trebuie precizat că efectul reglant al sarcinii se judecă pe baza rapoartelor $\frac{\Delta P}{\Delta U}$, $\frac{\Delta Q}{\Delta U}$. În acest sens, se prezintă în tabelul nr. 1.5 valorile efectului reglant indicate în literatura de specialitate.

TABELUL nr. 1.5.

Efectul reglant al sarcinii în diferite sisteme energetice*)							
Nr. crt.	Tara (executan-tul)	Data măsu-rării	U _n kV	ΔU%	Răspunsul sarcinii		Biblio-grafie
					$\frac{\Delta P}{\Delta U} \%$	$\frac{\Delta Q}{\Delta U} \%$	
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	SUA	1941	27	-10	1,3	1,9	/78/
2.	RFG	1953	6	15	1,5	3,3	/78/
3.	Elveția			-5	1	3...4	/78/
4.	Polonia	1958 VD VS GN	10		0,6...0,7 0,8...1,1 0,8...1	1,8...2,6 1,5...2,2 1,7...2,3	/78/
5.	Polonia	1958 VD VS GN	6		0,6...0,7 0,8...1,1 0,8...1	2,2...2,9 1,8...2,5 2 ...2,6	/78/
6.	URSS (Bielorusă)	1963 VD GN			0,75 0,65	2,5 3,75	/172/
7.	URSS				0,5...0,75	1,5...2,5	/72/
8.	URSS (reioa- nele sudice)	in-1964- dustr.1971 cas- sudice)nic			1 1,5	2,5 3,5	/16/
9.	URSS				0,6	1,6	/125/
10.	URSS (nodul Mos- cova cu consum de 7,1 MW)				1,23	2,78	/94/
11.	RSR(ISPE)	1973 VD VS	5-10 kV		0,6...1,75 0,865...1,81	2,14...11,44 3,35...10,35	/86/
12.	RSR(ISPE)	1973 VD VS	15-35 kV		2,215 0,7...1,7	3,35...6,75 1,8...5,8	/86/

TABELUL nr.1,5(continuare 1)

1	2	3	4	5	6	7	8
13.	RSR (DEN)	VD		1	1...3,5	2,5...11	/86/
14.	Anglia			1	1		/86/
15.	Anglia (Chesington)	martie 1971			0,3...0,9	1,2	/137/
16.	Anglia (New port South)	1968 VD VS GN (industr.)		1	1,46 1,56 1,65	5 5,3 5,7	/192/
17.	Anglia (Cardiff West)	1968 (casnic edilitar) VD VS GN		1	1,3 1,6 1,76	8,9 27 -17,5	/192/
18.	Anglia (Hirwaun)	1968 (mixt) VD VS		1	1 1,03	4,8 7,5	/192/
19.	Anglia (Dowlais)	1968 (mixt) VD VS GN		1	1,78 2,14 1,66	6,7 40 40	/192/
20.	Anglia (Briton- Ferry)	1968 (industr.) VD VS GN		1	1,2 1,48 1,72	4,6 5,1 4,4	/192/
21.	Norvegia (OCTE din SE)	mai 1971			1,1...2,4	1,6...3,9	/21/
22.	SUA			1	1		/86/
23.	SUA	I II III IV consumator edilitar			1,2 0,67 1,02 1,44 0,42 0,63	2,5 1,14 0,9 3,3 3,63 4,59	/176/ ziua noapte
24.	SUA				0,5...1,3 1,3 0,5...0,75	1...1,9 1,75 1,5...1,75	/39/

TABELUL nr.1.5 (continuare 2)

1	2	3	4	5	6	7	8	
25.	RDG	orase	VS			1,5...1,7	2,2...2,6	/128/
		mari	GN			1,5...1,6	2,4...3,0	
		uzine	VS			0,6...0,75	1,8...2,3	
		chi-	GN			0,6...0,7	1,8...2,7	
		mice						
		uzine	VS			0,6...0,65	1,8...2,3	
		constr.	GN			0,6...0,65	1,8...2,7	
de ma-								
șini								
		nod de	VS			0,8...1,1	1,5...2,2	
		60 kV	GN			0,8...1	1,7...2,3	
26.	Suedia			1		0,7...1,2	1,2...2	786/

Urmărind datele din tabelul 1.5 se poate constata efectul reglant mai puternic al puterii reactive în funcție de tensiune în comparație cu cel al puterii active.

Diferențele care intervin în privința limitelor atinse de răspunsurile sarcinii la variații ale tensiunii, obținute prin măsurători făcute de diverși autori se explică prin componența diferită a consumatorului complex echivalent.

Se observă că în cazul unui efect reglant pozitiv, la scăderea tensiunii vor scădea și puterile active și reactive absorbite, indicând o comportare naturală de autoreglare din partea consumatorilor față de modificarea mărimilor electrice la bornele lor. Un efect reglant negativ însă, conduce în cazul scăderii tensiunii la o creștere a puterilor absorbite ceea ce face și mai dificilă revenirea la un regim normal. Se preferă un efect reglant pozitiv și de valoare cât mai mare.

Deși modul de considerare a caracteristicii sarcinii reprezintă una din trăsăturile specifice diferitelor moduri de calcul a stabilității statice, există până în prezent puține verificări experimentale ale acestor caracteristici; chiar studiile existente sînt neconcludente pentru că se referă la cazuri particulare și nu au fost obținute în condițiile reale ale micilor oscilații din sistem.

Avînd în vedere multiplele utilizări ale caracteristicilor statice de sarcină în funcție de tensiune (studii de stabilitate statică, repartiții de sarcini, etc) și posibilitatea trasării lor fără perturbarea consumatorilor, se consideră util ridicarea perio-

dică a caracteristicilor statice de sarcină în funcție de tensiune.

1.4. Deficiențele modului de considerare a sarcinii în calculele actuale de stabilitate statică

Deși în ultimul timp în calculele de stabilitate statică a sistemelor electroenergetice se utilizează cu succes calculatoarele electronice (numerice sau analogice), metodele actuale prezintă unele deficiențe în considerarea sarcinilor (consumatorului complex) racordat la sistem, a căror componență nefiind cunoscută, se face aproximații care conduc la erori în rezultatele calculelor obținute după cum a reieșit din cele prezentate în paragraful 1.2.

În legătură cu modul de considerare a sarcinii în calculele de stabilitate statică a sistemelor electroenergetice, se conturează pentru viitor rezolvarea următoarelor probleme:

- determinarea, pentru consumatorul complex echivalent prin măsurători direct în S.F.E., a caracteristicilor statice de putere în funcție de tensiune, în nodurile semnificative și repetarea acestor determinări la anumite intervale de timp;

- utilizarea metodelor statistice de analiză a caracteristicilor statice ale consumatorului complex echivalent;

- stabilirea unor modele de calcul care să reproducă cât mai fidel caracteristicile statice ale consumatorului complex echivalent;

- stabilirea erorilor introduse în calculele de STS a SEE considerând consumatorii prin caracteristici simplificate în vederea limitării aplicabilității acestor ipoteze.

În ultimii ani în țările cu SEE dezvoltate se acordă un interes deosebit pentru reconsiderarea modului de reprezentare a sarcinilor în calcule de stabilitate statică.

1.5. Tema lucrării de doctorat

În contextul celor de mai sus, a tendințelor actuale în rezolvarea acestor probleme, autorul consideră oportună abordarea problemelor legate de influența reprezentării sarcinii în studiile de stabilitate statică.

În situația actuală a exploatării SEE, când fortuit se func-

ționează în apropierea limitei de stabilitate statică, este indicat a se cunoaște cu exactitate această limită, pentru că simplificările introduse în calcul pot conduce la rezultate eronate.

Tema tezei de doctorat prezintă interes atât sub aspect teoretic cât și al aplicabilității practice. Structurată în această idee, lucrarea constituită din șase capitole extinse pe 191 pagini, avînd 59 figuri, 56 tabele și cuprinzînd 233 titluri bibliografice din care 11 contribuții ale autorului (personale sau în colaborare) poate fi delimitată în două părți distincte dar ~~interdepen-~~ *interdependente*: o parte teoretică (cap.1,2,3 și 5) și o parte experimentală (cap.4).

În lucrarea de doctorat se urmărește rezolvarea unor probleme legate de stabilirea caracteristicilor statice ale sarcinii (prin măsurători direct în SEN sau prin calcule) și se analizează stabilitatea statică a zonei de SV din SEN introducînd în calcule sarcinile prin diferite caracteristici statice putere funcție de tensiune măsurate sau simplificate.

O sinteză a materialului bibliografic referitor la considerarea caracteristicilor statice ale consumatorilor în studiile de stabilitate statică se prezintă în capitolul 1.

În cadrul capitolului 2 se prezintă posibilitatea obținerii unor caracteristici statice de putere funcție de tensiune pentru consumatorul complex echivalent cunoscînd componența acestuia, caracteristici utile în calcule în situația în care nu se dispune de date experimentale. Trebuie menționată considerarea saturației și a încărcării motoarelor în expresia caracteristicii statice putere funcție de tensiune a acestora și expresia propusă pentru caracteristica statică corespunzătoare pierderilor de putere. Se propune o expresie liniară pentru exprimarea caracteristicilor statice putere funcție de tensiune pentru consumatorul complex echivalent din SEF, comodă pentru calcule.

În capitolul 3 se indică modelul matematic exact al consumatorilor neliniari și a consumatorului complex echivalent din SEF funcționînd la tensiuni apropiate de cea nominală.

Capitolul 4 este dedicat prezentării metodei de măsurare și a rezultatelor obținute prin prelucrarea statistică a unui mare număr de măsurători efectuate, de către autoarea prezentei lu-

crări, în diferite stații din orașul Timișoara și Reșița. Se prezintă și programul de calcul CSPU pentru estimarea caracteristicii statice de putere funcție de tensiune pe baza măsurărilor efectuate în sistem. Capitolul este în întregime original, atât prin rezultatele obținute din experimentări cât și prin prelucrarea și interpretarea rezultatelor obținute prin măsurători.

În cadrul capitolului 5, se studiază detaliat calculul stabilității statice pentru un SEN simplu, folosind criteriul de apreciere a stabilității $\frac{dQ}{dU}$ criteriu care permite introducerea în calcule a caracteristicilor statice ale sarcinii. Pe baza relațiilor de calcul, s-a întocmit și un program de calcul "REZ STA-TIC" pentru calculul tensiunii critice din punct de vedere al stabilității statice și a rezervei de stabilitate. Pentru a studia influența modului de reprezentare a sarcinii asupra calculelor de stabilitate statică într-un sistem complex, s-a considerat zona de S-V din SEN, reprezentând succesiv sarcina atât prin caracteristici măsurate cât și prin caracteristici estimate sau simplificate. A fost luat în considerare regimul de funcționare static stabil, determinându-se printr-o analiză detaliată a celor 37 cazuri considerate, influența modului de reprezentare a caracteristicilor statice putere funcție de tensiune a consumatorului complex echivalent asupra stabilității statice a SEN. Pe baza acestui studiu se pot face precizări privind limitările în aplicabilitatea reprezentării simplificate a caracteristicilor statice a consumatorului complex echivalent.

Capitolul 6 sintetizează concluziile prezentate la finele fiecărui capitol, subliniind elementele originale ale tezei.

Lucrarea este însoțită de câteva anexe de calcul, introduse în scopul de a menține continuitatea în prezentare a capitolelor anterioare, descărcate astfel de detalii de calcul.

La sfârșitul lucrării se prezintă bibliografia în ordine alfabetică. Bibliografia nu este exhaustivă ci se limitează la principalele lucrări din domeniu, consultate.

Rezultatele experimentale obținute de autor și-au găsit aplicabilitate la întocmirea unor studii în cadrul ISPĂ[66] și pot fi utile în calcule de stabilitate statică a sistemului electroenergetic, reprezentarea consumatorului complex echivalent prin caracteristicile indicate, apropiind mai mult rezultatele calculelor de situația reală din sistem.

Capitolul 2

CARACTERISTICILE STATICE ALE CONSUMATORILOR INDIVIDUALI, RESPECTIV ALE CONSUMATORULUI COMPLEX ECHIVALENT

2.1. Considerații generale privind sintetizarea caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune

În condițiile exploataării intensive a sistemelor electrodinamice, când se impune cunoașterea cât mai precisă posibil a limitelor de stabilitate, s-a accentuat tendința unei modelări mai fidele a consumatorilor.

În lipsa datelor experimentale, cunoscând componența sarcinii și caracteristicile statice de putere în funcție de tensiune ale consumatorilor individuali, se pot obține (sintetiza) caracteristicile statice ale consumatorului complex echivalent.

Pentru un nod în care sînt concentrați consumatori diferiți, caracteristicile statice pot fi determinate cu o relație de tipul (2.1) [3], [119]:

$$y = \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i \cdot 10^{-2} \quad (2.1)$$

În care: y reprezintă puterea totală (activă respectiv reactivă) din nod; i este numărul de ordine al receptorului; α_i este cota (pondera) lui de participare la sarcina totală a nodului, la tensiunea nominală, în %; y_i este puterea consumatorului i , exprimată în unități relative. Explicitînd relația (2.1) pentru puteri active și reactive, se obține:

$$\begin{aligned} P &= \sum_{i=1}^n p_i P_i \cdot 10^{-2}, \\ Q &= \sum_{i=1}^n q_i Q_i \cdot 10^{-2}. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Dacă în expresiile (2.2) se înlocuiesc puterile P_i respectiv Q_i prin caracteristicile lor statice putere funcție de tensiune, se obțin caracteristicile statice corespunzătoare consumatorului complex echivalent.

După o scurtă prezentare a exprimării caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune pentru consumatori indivi-

duali, se va estima caracteristica statică pentru diferite componente ale consumatorului complex echivalent.

În dezvoltările ulterioare s-au admis anumite ipoteze simplificatoare în vederea obținerii pentru caracteristicile statice a unor expresii relativ simple, comod de aplicat în calcule, dar care să fie în același timp mult mai apropiate de situația reală față de considerarea consumatorului prin caracteristici de tip putere, curent sau impedanță constantă.

Rezultatele obținute pe această cale vor fi comparate cu rezultatele experimentale (v. capitolul 4) în vederea delimitării aplicabilității lor.

Se vor lua în considerare următorii consumatori individuali (componente ale consumatorului complex echivalent): motoare asincrone, motoare sincrone, cuptoare electrice, instalații de redresare, instalații de iluminat, consumatori casnici și pierderi de putere pe rețea.

Se va determina expresia caracteristicilor statice de putere activă și reactivă absorbită de fiecare tip de consumator, în regim permanent, în funcție de valoarea tensiunii. Frecvența s-a considerat constantă, fiind vorba de regimuri de funcționare apropiate de regimul nominal.

2.2. Caracteristicile statice de putere funcție de tensiune ale consumatorilor individuali

2.2.1. Motoare asincrone

Ecuațiile motorului asincron în regim permanent simetric sînt ,/184/:

$$m_s k_{bs} N_s \underline{I}_s + m_R k_{bR} N_R \underline{I}_R = m_s k_{bS} N_s \underline{I}_{S0} \quad (2.3)$$

$$\underline{U}_S + (R_S + j\omega L_{SG}) \underline{I}_S = -j\omega N_S \underline{\psi} = -N_S \underline{U}_{eB} \quad (2.4)$$

$$\left(\frac{R_R}{s} + j\omega L_{RG} \right) \underline{I}_S = j\omega N_R \underline{\psi} = N_R \underline{U}_{eB} \quad (2.5)$$

în care m_s și N_s respectiv m_R , N_R reprezintă numărul de faze și numărul de spire active al înfășurării statorice, respectiv rotorice, I_{S0} este curentul de mers în gol, din stator:

$$\underline{I}_S = \underline{I}_d + j\underline{I}_q \quad (2.6)$$

$$\underline{I}_R = I_D + jI_Q, \quad (2.7)$$

$$a = 1 - \frac{\omega_R}{\omega} \quad (2.8)$$

a este alunecarea; ω este pulsația curenților statorici; ω_R - viteza unghiulară a rotorului; indicele S se referă la mărimi din stator, indicele R la mărimi din rotor; L_{SG} este inductivitatea de dispersie a unei faze statorice, iar L_{RG} inductivitatea de dispersie a unei faze rotorice.

Pe baza ecuațiilor (2.3) ... (2.5) se construiește schema echivalentă a motorului asincron, (fig.2.1)

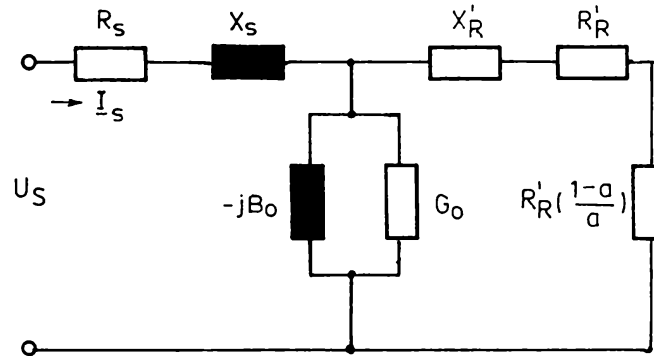


Fig. 2.1. Schema echivalentă a motorului asincron

În figură: $X_S = j \omega L_{SG}$, $X_R = j \omega L_{RG}$. Curentul de mers în gol fiind inductiv, admitanța laturii transversale este $Y_0 = G_0 - jB_0$, unde $B_0 = \frac{1}{\omega L}$. În schema din figura 2.1 parametrii din rotor sînt repotați la stator.

Pentru calcule calitative se pot face următoarele ipoteze simplificatoare: se neglijează G_0 față de jB_0 , se neglijează R'_R față de R'_R/a și se neglijează $(R_S + R'_R)$ față de jX :

$$X = X_{SG} + X'_{RG} = \omega L_{SG} + \omega L'_{RG}, \quad (2.9)$$

În care caz se obține schema echivalentă din fig.2.2.

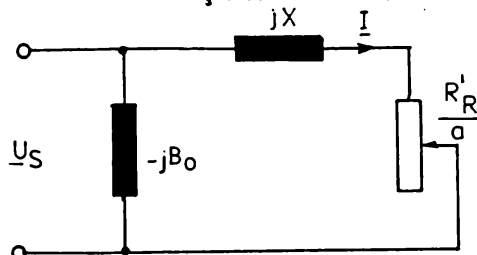


Fig.2.2. Schema echivalentă simplificată a motorului asincron.

De precizat că din punct de vedere cantitativ, lucrînd cu schema din figura 2.2 vor interveni unele abateri.

În continuare se va folosi totuși această schemă pentru că, cu ajutorul ei se pot urmări problemele studiate mai simplu, cu rezultate calitative corecte.

Puterea electromagnetică primită de circuitele rotorice rezultă din schema 2.2 :

$$P_e \approx 3I^2 \frac{R'_R}{a} = \frac{R'_R}{a} \frac{3U_S^2}{\left(\frac{R'_R}{a}\right)^2 + X^2} \quad (2.10)$$

Notînd alunecarea critică :

$$a_k \approx \frac{R'_R}{X} \quad (2.11)$$

rezultă pentru puterea electromagnetică expresia:

$$P_e = \frac{3U_S^2}{X} \frac{1}{\frac{a_k}{a} + \frac{a}{a_k}} \quad (2.12)$$

respectiv pentru puterile active și reactive la bornele motorului asincron:

$$P = G_0 U_S^2 + \frac{3U_S^2}{X} \frac{a_k a}{a_k^2 + a^2} \quad (2.13)$$

$$Q = B_0 U_S^2 + \frac{3U_S^2}{X} \frac{a^2}{a_k^2 + a^2} \quad (2.14)$$

În regim normal de funcționare, $a \in (0, 0.1 \dots 0, 03)$, $a_k \approx 0,1$, deci $a^2 \ll a_k^2$ și se poate neglija a^2 față de a_k^2 , ca urmare relațiile (2.10), (2.12)...(2.14) devin:

$$P \approx G_0 U_S^2 + P_e \quad (2.15)$$

$$Q \approx B_0 U_S^2 + \frac{X P_e^2}{U_S^2} \quad (2.16)$$

$$P_e \approx \frac{3U_S^2}{X} \frac{a}{a_k} \quad (2.17)$$

Termenul $G_0 U_S^2 \ll P_e$, se neglijează, deci :

$$P = P_e \quad (2.18)$$

Parametrii X , R , B_0 , care intervin în schema echivalentă simplificată a motorului asincron se calculează în funcție de caracteristicile indicate în tabele: $\cos \varphi_n$, a_n și $b_n = \frac{M_{\max}}{M_n}$.

Alegând ca mărimi de bază puterea și tensiunea nominală a motorului asincron, se pot exprima parametrii în unități relative, X_r , R_r și B_{or} , /184/ :

$$X_r = \frac{1}{2 \cdot b_n \cos \varphi_n} \quad (2.19)$$

$$R_r = a_n \frac{b_n + \sqrt{b_n^2 - 1}}{2b_n \cos \varphi_n} \quad (2.20)$$

$$B_r = \sin \varphi_n - (b_n - \sqrt{b_n^2 - 1}) \cos \varphi_n \quad (2.21)$$

Cu ipotezele simplificatoare admise, în literatură se consideră pentru motoare asincrone puterea activă constantă în funcție de tensiune, în cazul variațiilor mici ale acesteia în jurul valorii de lucru, adică în regimul staționar, puterea electromagnetică fiind echilibrată de puterea la arbore, determinată de caracteristicile mecanismului antrenat de motor. Deci, caracteristicile statice ale puterii active funcție de tensiune se aproximează de forma unor drepte. O astfel de caracteristică prezintă efectul reglant. $R_p = \frac{dP}{dU} = 0$ în domeniul tensiunilor nominale.

Pentru puterea reactivă s-a considerat conform relației (2.16) o caracteristică statică în funcție de tensiune, avînd efectul de reglaj $\frac{dQ}{dU} \approx 2$ în domeniul tensiunilor nominale.

Referitor la puterea reactivă absorbită de motorul asincron, puterea care constă din puterea reactivă pentru magnetizarea fierului și puterea de dispersie se poate preciza că rezultă o variație rapidă a puterii reactive absorbite la variația tensiunii, dacă coeficientul de încărcare k_1 este scăzut.

Puterea reactivă absorbită pentru magnetizarea miezului:

$$Q_m \approx \frac{3U^2}{X_m} \quad (2.22)$$

crește mai rapid decît cu pătratul tensiunii la creșterea tensiunii, pentru că reactanța de magnetizare scade datorită saturației.

Puterea reactivă absorbită pentru acoperirea pierderilor din reactanța de dispersie a mașinii este:

$$Q_G = X_G \frac{P^2}{U^2} \quad (2.23)$$

În domeniul tensiunilor nominale predomină Q_m .

De menționat că ,/157/:

- puterea reactivă de magnetizare a motoarelor asincrone și a transformatoarelor care reprezintă la tensiunea nominală (70...80)% din întreaga sarcină reactivă a sistemului se reduce mult la scăderea tensiunii, ceea ce determină scăderea sensibilă a puterii reactive la tensiuni chiar apropiate de cele nominale de (2...3)% față de o scădere a tensiunii de numai 1%;

- scăderea tensiunii duce la creșterea puterii reactive pierdute pe reactanțele longitudinale ale motoarelor asincrone cu aproape 2% la o scădere a tensiunii de numai 1%. La tensiunea nominală această componentă a puterii reactive reprezintă numai (20...30)% din întreaga sarcină reactivă. Pe măsură ce tensiunea scade, contribuția ei la sarcina reactivă crește.

O mare importanță prezintă factorul de încărcare al motoarelor asincrone k_1 și anume cu cât acesta este mai mare, cu atât crește procentul sarcinii reactive Q_G și respectiv scade procentul sarcinii reactive Q_m .

Tinând seama de precizările făcute se poate admite pentru caracteristicile statice de putere funcție de tensiune ale motorului asincron, expresiile , /46/:

$$P_r \approx 1 \quad (2.24)$$

$$Q_r \approx 0,7 \cdot U_r^2 + 0,3 \frac{1}{U_r} \quad (2.25)$$

exprimate în unități relative față de mărimile nominale P_n , Q_n , U_n .

În relațiile redată mai sus pe baza datelor din literatură, parametrii motorului s-au presupus constanți, ceea ce corespunde unei mașini nesaturate. În realitate, în circuitul feromagnetic al mașinii, la solicitările magnetice corespunzătoare regimului nominal, se manifestă fenomenul de saturație, așa cum rezultă din caracteristica în gol a motorului (vezi fig.2.3) care după cum se știe, prin intermediul scării de reprezentare, este similară cu caracteristica de magnetizare. Saturația influențează asupra inductivităților, implicit asupra reactanțelor motorului, micșorându-le față de cazul nesa-

turației, cu atât mai mult, cu cât saturația este mai pronunțată; asupra reactanței de magnetizare ($X_m = \frac{l}{B_0} \approx \frac{l}{\psi_0}$, v. figura 2.2) influența saturației este mai pronunțată, dar asupra reactanței de dispersie această influență poate fi neglijată. De precizat

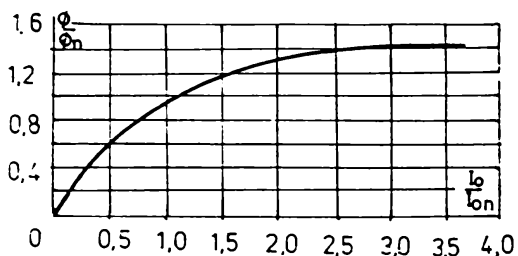


Fig.2.3. Caracteristica de mers în gol a unui motor asincron [196].

că reactanța de magnetizare poate varia în limite destul de largi, depinzând de condițiile de funcționare, datorită saturației [99]. Tratarea simplificată a caracteristicilor statice putere funcție de tensiune ale motorului asincron în studiile de stabilitate statică, neglijând saturația, poate avea consecințe nefa-

vorabile asupra preciziei rezultatelor obținute pe cale teoretică față de cele experimentale. Modificarea reactanței este determinată de existența dependenței neliniare dintre B și H. În literatură curba de variație reală $B=f(H)$ este aproximată prin curbe continue sau prin porțiuni de drepte. În [66] se indică modul de considerare a influenței saturației asupra reactanței prin introducerea coeficientului de saturație $1/K_s$ definit în modul următor: se consideră caracteristica de magnetizare a motorului asincron

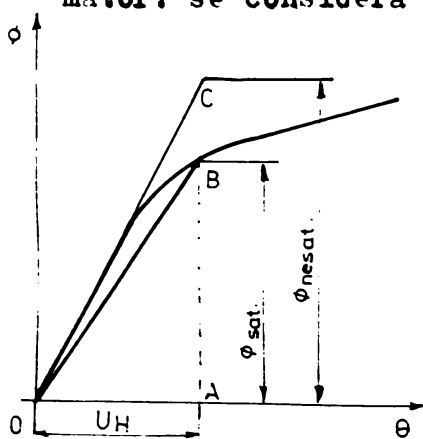


Fig.2.4. Caracteristica de magnetizare a motorului

(figura 2.4). Dacă mașina este nesaturată, atunci unei t.m.m. $U_H=OA$ îi corespunde un flux polar $\phi_{nesat} = AC$; mașinii saturate îi corespunde numai fluxul $\phi_{sat}=AB$. Deci:

$$\frac{X_{sat}}{X_{nesat}} = \frac{L_{sat}}{L_{nesat}} = \frac{\phi_{sat}}{\phi_{nesat}} = \frac{AB}{AC} = \frac{1}{k_s} \quad (2.26)$$

în care k_s este definit de (2.27):

$$k_s = 1 + \frac{U_{HFe}}{U_{H\delta}} \quad (2.27)$$

și se numește factor de saturație.

Dacă mașina este nesaturată, k_s are valoarea 1. Deci reactanța depinde de valoarea momentană a t.m.m. U_H și variază cu poziția

punctului B pe caracteristica de magnetizare a mașinii.

La motoarele asincrone cu rotorul în colivie $1/k_s$ variază între 0,71 și 0,88, iar pentru cele cu rotor cu inele de contact, în medie este de 0,8 [66]. Revvenind la relația (2.25) se observă că valoarea puterii reactive în unități relative absorbită pentru acoperirea pierderilor din reactanța de dispersie a mașinii este influențată de valoarea încărcării mașinii, relația menționată fiind corectă la funcționarea la încărcare nominală, ($P=P_n$). De cele mai multe ori însă, deși nu este de dorit, motoarele funcționează cu un coeficient de încărcare $K_1 = \frac{P}{P_n}$ mai mult sau mai puțin diferit de 1. Din curbele care redauⁿ variația puterii reactive specifice absorbite de către motoare asincrone de diferite puteri în funcție de tensiunea de alimentare pentru diferiți K_1 , [3], rezultă că variația puterii reactive absorbite este foarte rapidă în cazul unui K_1 foarte scăzut al motorului respectiv. În cazurile reale din practică, valorile abaterii ΔU și ale coeficientului K_1 variază în timp.

Dacă se dispune de date statistice suficiente, se pot calcula valori medii ale acestora.

Avînd în vedere cele de mai sus, se apreciază ca necesară o corecție a relației (2.25) astfel încît să se țină cont atît de gradul de saturație a fierului cît și de gradul de încărcare a motorului. De influența acestor elemente se poate ține seama exprimînd puterea $Q_r = f(U_r)$ printr-o relație rezultată din (2.25) introducînd doi factori de corecție și anume:

$$Q_r = k_s \frac{U_r^2}{X_{mr\text{ nesat}}} - \frac{k_s^2}{2X_{mr\text{ nesat}}^2} \frac{\Delta X_{mr\text{ sat}}}{\Delta U_r} U_r^3 + \frac{k_1^3 P^2}{\cos^2 \varphi} \frac{X_{Gr}}{U_r^2} \quad (2.28)$$

sau, într-o formă restrînsă, (2.29) :

$$Q_r = C_s \frac{U_r^2}{X_{mr\text{ nesat}}} + C_1 \frac{X_{Gr}}{U_r^2} \quad (2.29)$$

unde valoarea coeficientului de corecție C_s , care ține seama de influența saturației:

$$C_s = k_s - \frac{k_s^2}{2X_{mr\text{ nesat}}^2} U_r \frac{\Delta X_{mr\text{ sat}}}{\Delta U_r} \quad (2.30)$$

s-a stabilit pornind de la expresiile puterii reactive absorbite,

pentru magnetizarea fierului în regim nesaturat, respectiv în regim saturat și a efectelor reglante $R_Q = dQ_r/dU_r$ în aceste regiuni:

$$Q_{mr \text{ nesat}} = \frac{U_r^2}{X_{mr \text{ nesat}}} \quad (2.31)$$

$$Q_{mr \text{ sat}} = \frac{U_r^2}{X_{mr \text{ sat}}} = \frac{C_s U_r^2}{X_{mr \text{ nesat}}} \quad (2.32)$$

$$\left(\frac{dQ_{mr}}{dU_r}\right)_{\text{nesat}} = \frac{2U_r}{X_{mr \text{ nesat}}} \quad (2.33)$$

$$\left(\frac{dQ_{mr}}{dU_r}\right)_{\text{sat}} = \frac{2C_s U_r}{X_{mr \text{ nesat}}} \quad (2.34)$$

$$\left(\frac{dQ_{mr}}{dU_r}\right)_{\text{sat}} = \frac{2U_r}{X_{mr \text{ sat}}} - \frac{U_r^2}{X_{mr \text{ sat}}^2} \frac{dX_{mr \text{ sat}}}{dU_r} \quad (2.35)$$

$$\frac{2C_s U_r}{X_{mr \text{ nesat}}} = \frac{2U_r}{X_{mr \text{ sat}}} - \frac{U_r^2}{X_{mr \text{ sat}}^2} \frac{dX_{mr \text{ sat}}}{dU_r} \quad (2.36)$$

Rezolvînd ecuația (2.36) în raport cu C_s și avînd în vedere relația (2.26), se obține expresia (2.30).

În regim nesaturat, $k_s=1$, $\frac{dX_{m \text{ sat}}}{dU_r} = 0$, deci $C_s = 1$.

Se observă că prin considerarea saturației se complică calculul, modelul matematic al motorului esincron se prezintă prin relații mai complexe, dar acuratețea rezultatelor crește.

Includerea saturației prin coeficientul C_s propus, păstrează forma ecuației (2.25) utilizată în prezent.

C_1 este un coeficient ce ține cont de gradul de încărcare a mașinii:

$$C_1 = \frac{K_1^2 \cdot P_r^2}{\cos^2 \varphi} \quad (2.37)$$

În relațiile de mai sus s-au notat:

$X_{mr \text{ nesat}}$ - reactanța de magnetizare în regim nesaturat, iar

$X_{mr \text{ sat}}$ - reactanța de magnetizare în regim saturat;

X_{Gr} - reactanța de dispersie;

K_1 - coeficient de încărcare a motorului.

Pe baza datelor de catalog (STAS 1764-70): P_n , $\cos \varphi_n$, b_n , s-au calculat valorile reactanțelor de dispersie X_{Gr} și de magnetizare X_m (vezi anexa A.1) pentru motoarele electrice esincrone trifazate de uz general. Au rezultat $X_{G \min} = 0,263$; $X_{G \max} = 0,375$;

$X_{m \min} = 2,25$, $X_{m \max} = 3,70$ exprimate în u.r. față de mărimile nominale. Din caracteristica de mers în gol, figura 2.3. /66/, /196/, pentru variații mici ale tensiunii în jurul valorii nominale rezultă $\frac{\Delta X_{mr}}{\Delta U} = -1$. Cu aceste valori, presupunând $K_s = \frac{1}{0,8}$; $K_f = 0,25$; $P_r = 0,8$ și $\cos \varphi = 0,8$ (valoare medie), s-au stabilit valorile de calcul pentru coeficienții C_s , C_1 și puterea reactivă Q_r , în situația necunoașterii în detaliu a motoarelor racordate la sistem.

Au rezultat:

- pentru $X_{G \min}$, $X_{m \min}$:

$$C_{s \min} = 1,25 + 0,35 U_r \quad (2.38)$$

- pentru $X_{G \max}$, $X_{m \max}$:

$$C_{s \max} = 1,25 + 0,21 U_r \quad (2.39)$$

iar pentru $C_1 = 0,0625$.

Deci corespunzător, expresia caracteristicii statice de putere reactivă funcție de tensiune este:

$$Q_r \min = 0,56 \cdot U_r^2 + 0,157 U_r^3 + \frac{0,0164}{U_r^2} \quad (2.40)$$

$$Q_r \max = 0,34 \cdot U_r^2 + 0,057 U_r^3 + \frac{0,0234}{U_r} \quad (2.41)$$

Impunând condiția la $U_r=1$, $Q_r=1$, expresia caracteristicii statice devine:

$$Q_r \min = 0,764 U_r^2 + 0,214 U_r^3 + \frac{0,0224}{U_r^2} \quad (2.42)$$

$$\text{respectiv } Q_r \max = 0,809 U_r^2 + 0,1356 U_r^3 + \frac{0,0357}{U_r^2} \quad (2.43)$$

Pentru a se aprecia cantitativ efectul saturației și al gradului de încărcare asupra caracteristicii statice și a efectului reglant al sarcinii, se prezintă în tabelul 2.1 rezultatele obținute prin calcule cu relația aproximativă (2.25) respectiv cu relația (2.28) neglijând și respectiv considerând saturația fierului. Se poate observa marea influență a încărcării motoarelor cât și a considerării saturației asupra valorii efectului de reglaj.

În figura 2.5 se prezintă variația coeficientului C_s funcție de factorul de saturație, stabilite la diferite valori ale reactanței X_m , pentru $U_r = 1$.

In figură 2.6 se prezintă variația coeficientului C_1 funcție de coeficientul de încărcare K_1 pentru $P_r=1$ și $P_r=0,8$, la $\cos \varphi = 0,8$

TABELUL nr.2.1

Cazul considerat (rel. de calcul)		Mărimi		Caracteristici statice a puterii reactive funcție de tensiune		Efectul de reglaj la $U_r=1$	
		Nr.		$X_m, X_{\sigma \max}$	X_m, X_{\min}	$\frac{X_m \cdot X_{\sigma \max}}{X_{\max}}$	$\frac{X_m \cdot X_{\min}}{X_{\min}}$
1		2		3	4	5	6
Neglijarea saturației și a încărcării motorului, rel. (2.19)				$Q_r = 0,7U_r^2 + \frac{0,3}{U_r}$	$Q_r = 0,7U_r^2 + \frac{0,3}{U_r}$	0,8	0,8
Neglijarea saturației (în (2.28')): $C_s=1$	$P_r=1$	$K_1=0,5$	1	$Q_r = 0,65U_r^2 + \frac{0,35}{U_r}$	$Q_r = 0,814U_r^2 + \frac{0,186}{U_r}$	0,6	1,256
		$K_1=1$	2	$Q_r = 0,32U_r^2 + \frac{0,68}{U_r}$	$Q_r = 0,523U_r^2 + \frac{0,477}{U_r}$	-0,72	0,092
	$P_r=0,8$	$K_1=0,5$	3	$Q_r = 0,74U_r^2 + \frac{0,26}{U_r}$	$Q_r = 0,872U_r^2 + \frac{0,128}{U_r}$	0,96	1,488
		$K_1=1$	4	$Q_r = 0,42U_r^2 + \frac{0,58}{U_r}$	$Q_r = 0,63U_r^2 + \frac{0,37}{U_r}$	-0,32	0,52
Considerarea saturației $-1/K_s = 0,8$ rel. (2.22) respectiv (2.40) și (2.41)	$P_r=1$	$K_1=0,55$	5	$Q_r = 0,62U_r^2 + 0,1053U_r^3 + \frac{0,2705}{U_r}$	$Q_r = 0,683U_r^2 + 0,191U_r^3 + \frac{0,125}{U_r}$	1,023	1,69
		$K_1=1$	6	$Q_r = 0,345U_r^2 + 0,0581U_r^2 + \frac{0,597}{U_r}$	$Q_r = 0,497U_r^2 + 0,139U_r^2 + \frac{0,364}{U_r}$	-0,33	0,683
	$P_r=0,8$	$K_1=0,5$	7	$Q_r = 0,69U_r^2 + 0,12U_r^3 + \frac{0,19}{U_r}$	$Q_r = 0,72U_r^2 + 0,20U_r^3 + \frac{0,08}{U_r}$	1,36	1,88

TABELUL nr.2.1 (continuare)

1	2	3	4	5	6
$K_1=0,5$	8	$Q_r=0,44U_r^2 +$ $+0,074U_r^3 +$ $+ \frac{0,487}{U_r^2}$	$Q_r=0,572U_r^2 +$ $+0,16U_r^3 +$ $+ \frac{0,268}{U_r^2}$	0,128	1,088

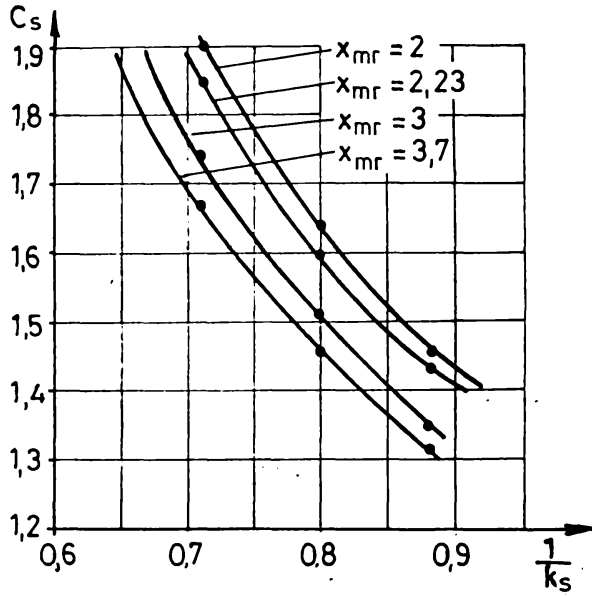


Fig.2.5. Dependenta coeficientului C_s de parametrii motorului

Curbele de variație a valorii coeficienților de corecție C_s și C_1 funcție de parametrii motorului și de gradul de saturare, respectiv de gradul de încărcare a motorului permit un calcul comod și rapid în vederea estimării caracteristicilor statice de putere reactivă funcție de tensiune, în absența unor date experimentale.

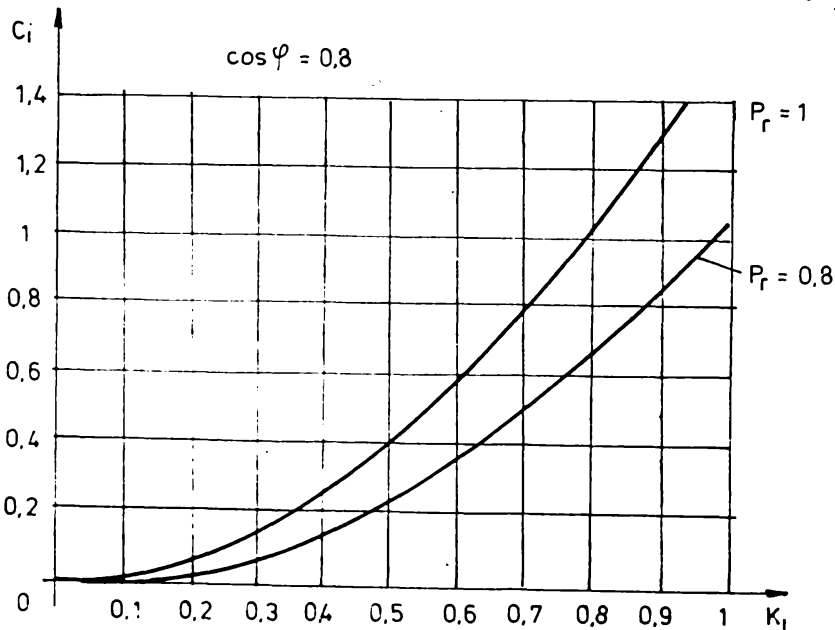


Fig.2.6. Dependenta coeficientului C_1 de gradul de încărcare a mașinii.

Se consideră că prin relațiile (2.42) respectiv (2.43) se obțin caracteristici statice $Q_r = f(U_r)$ pentru motorul asincron, mai apropiate de cele reale decât prin relația recomandată în literatură (2.25).

2.2.2. Motoare sincrone

Aceste motoare avînd turația constantă, dată de frecvența tensiunii la care sînt racordate bornele înfășurării statorice, au puterea absorbită dependentă riguros de caracteristicile mașinii de lucru.

Puterile consumate de motorul sincron cu poli plini au expresiile , /66/ :

$$P = - \frac{3 U \cdot U_{eE}}{X} \sin \delta , \quad (2.44)$$

$$Q = \frac{3(U^2 - U U_{eE} \cos \delta)}{X} , \quad (2.45)$$

în care s-au considerat tensiuni de fază.

În aceste relații s-au notat: δ - unghiul electric, U_{eE} - tensiunea electromotoare, X - reactanța sincronă a mașinii.

Dacă motorul sincron are poli aparenți în rotor, intervin două reactanțe: una după axa longitudinală (X_d) și una după axa transversală (X_q), expresiile puterilor devin, /66/, /184/:

$$P = - \frac{3 U U_{eE}}{X_d} \sin \delta - 3 U^2 \frac{X_d - X_q}{2 X_d X_q} \sin 2\delta , \quad (2.46)$$

$$Q = 3 U^2 \left(\frac{\cos^2 \delta}{X_d} + \frac{\sin^2 \delta}{X_q} \right) - \frac{3 U U_{eE}}{X_d} \cos \delta . \quad (2.47)$$

Deoarece turația motorului sincron rămîne riguros constantă (la frecvență constantă) și cuplul mașinii antrenate se păstrează constant, ca urmare puterea activă absorbită P , rel. (2.44) este constantă în raport cu tensiunea.

Puterea reactivă are un minim în domeniul negativ și acesta depinde de valoarea tensiunii electromotoare. Admițînd că $U_{eE} \cos \delta = 1$, puterea reactivă absorbită de motorul sincron se va exprima sub forma, /46/ :

$$Q = \frac{3(U^2 - U)}{X} . \quad (2.45')$$

La tensiunea nominală, puterea reactivă se împarte aproximativ egal între cele două componente din expresia sa.

Deci, pentru caracteristicile statice de putere funcție de tensiune ale motorului sincron cu poli plini se pot folosi relațiile (2.48) și (2.49) :

$$P = P_n = \text{const.}, \quad (2.48)$$

$$Q = Q_n \left[0,5 \left(\frac{U}{U_n} \right)^2 - 0,5 \left(\frac{U}{U_n} \right) \right], \quad (2.49)$$

sau în u.r. față de mărimile nominale:

$$P_r = 1, \quad (2.50)$$

$$Q_r = 0,5 \cdot U_r^2 - 0,5 U_r. \quad (2.51)$$

2.2.3. Instalații de iluminat

Acest tip de consumator are o pondere mai redusă în consumul total de energie, nu absoarbe putere reactivă, iar puterea activă absorbită este proporțională cu pătratul tensiunii.

$$P = \frac{U^2}{R} \quad ; \quad Q = 0. \quad (2.52)$$

La consumatorii cu iluminat cu lămpi cu incandescență, deoarece rezistența crește cu temperatura, puterea activă se modifică mai lent decât proporțional cu pătratul tensiunii și se poate exprima prin relația (2.53), /47/, /128/ :

$$P = P_n \left(\frac{U}{U_n} \right)^{1,6}. \quad (2.53)$$

În calculele ulterioare se vor considera pentru instalațiile de iluminat caracteristicile statice din relațiile (2.54) exprimate în u.r. față de mărimile nominale:

$$\begin{aligned} P_r &= U_r^{1,6}, \\ Q_r &= 0. \end{aligned} \quad (2.54)$$

2.2.4. Cuptoare electrice

Caracteristicile statice de putere funcție de tensiune teoretice ale cuptoarelor electrice pot fi considerate de forma (2.55), /2/ :

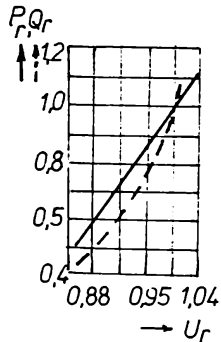
$$P = \frac{3U^2}{Z^2} R \quad ; \quad Q = \frac{3U^2}{Z^2} X, \quad (2.55)$$

unde R, X, Z reprezintă respectiv, rezistența, reactanța și impedanța pe fază a cuptorului și rețelei de alimentare. În u.r. față de mărimile nominale, relația (2.55) sînt:

$$P_r = U_r^2 \quad ; \quad Q_r = U_r^2. \quad (2.56)$$

2.2.5. Instalații de redresare

Variația puterilor activă și reactivă absorbite de instalație este aproximativ direct proporțională cu tensiunea la bare /2/. În figura 2.7 se prezintă caracteristicile statice



$P=f(U)$ și $Q=f(U)$ pentru o instalație de electroliză cu redresoare cu mercur, fără reglaj de curent continuu. În cazul existenței reglajului, caracteristica $P=f(U)$ devine aproape orizontală (puterea activă absorbită depinde într-o măsură neînsemnată de tensiune).

Folosind metoda aproximării unei funcții printr-un polinom (anexa A-2) din caracteristicile prezentate în fi-

Fig. 2.7. Caracteristicile gura 2.7 rezultă următoarele expresii statice ale unei instalații de electroliză cu redresoare cu mercur /2, p.107/

$$P_r = 3U_r - 2, \quad (2.57)$$

$$Q_r = 90,625U_r^2 - 172,375U_r + 82,75, \quad (2.58)$$

care prezintă efectul reglant la tensiunea nominală:

$$R_P = \frac{dP_r}{dU_r} = 3, \quad (2.59)$$

$$R_Q = \frac{dQ_r}{dU_r} = 8,875. \quad (2.60)$$

2.2.6. Consumatori casnici

Consumatorii casnici cuprind, de obicei, pe lângă instalații de iluminat, instalații de încălzit și motoare asincrone obișnuit de puteri mici pentru antrenarea aparatelor electrocasnice. De fapt, consumatorii casnici reprezintă un consumator complex echivalent, format din totalitatea abonaților casnici alimentați din stația respectivă, fiecare din acești abonați, la rândul lor, reprezentînd un consumator complex echivalent care cuprinde consum pentru încălzirea spațiilor, pentru prepararea apei calde, pentru pregătirea și conservarea hranei, pentru mecanizarea activităților de curățenie, pentru iluminat și pentru activități culturale - distractive.

Pe baza datelor din /20/ în care se indică sarcina pentru iluminat și sarcina aparatelor electrocasnice corespunzătoare

unor apartamente avînd diferite numere de camere și din /110/ care indică necesarul de energie electrică ținînd seama de cota parte de participare a aparatelor electrocasnice, s-a apreciat următoarea distribuție a puterilor din aceste instalații:

$$P_{\text{casnic}} = 0,2 \cdot P_{\text{iluminat}} + 0,35 \cdot P_{\text{motor asincron}} + 0,45 \cdot P_{\text{încălz.}} \quad (2.61)$$

Avînd în vedere relații (2.24), (2.42), (2.52), (2.56) și (2.61) rezultă expresiile caracteristice statice de putere funcție de tensiune, exprimate în u.r. față de mărimile nominale, pentru consumatorii casnici:

$$P_{\text{r casnic}} = 0,45U_{\text{r}}^2 + 0,2U_{\text{r}}^{1,6} + 0,35 \quad (2.62)$$

$$Q_{\text{r casnic}} = 0,897U_{\text{r}}^2 + 0,094U_{\text{r}}^3 + 0,0096U_{\text{r}}^{-2} \quad (2.63)$$

2.2.7. Pierderi de putere în liniile rețelelor electrice

Pierderile de putere în rețea, numite și consum tehnologic de putere, depind în mod contradictoriu de valoarea mărimilor variabile la borne, fiind funcție de compoziția consumatorului, de coeficientul de încărcare, de configurația rețelei.

Pierderile de putere activă în rețea au loc practic numai pe rezistențele longitudinale ale schemelor echivalente ale acesteia, în timp ce pierderile de putere reactivă conțin, pe lângă puterea pierdută în elementele longitudinale ale rețelei și puterea capacitivă consumată în capacitățile naturale ale liniilor.

Pierderile de putere în elementele longitudinale ale rețelei se exprimă prin relația (2.64), respectiv (2.65), /47/, /101/, /184/ :

$$\underline{\Delta S} = \Delta P + j \Delta Q \quad (2.64)$$

$$\underline{\Delta S} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R + j \frac{P^2 + Q^2}{U^2} X. \quad (2.65)$$

Exprimînd în u.r. față de mărimile nominale se obține:

$$\underline{\Delta S}_{\text{r}} = \Delta P_{\text{r}} + j \Delta Q_{\text{r}}, \quad (2.66)$$

$$\Delta P_{\text{r}} = \frac{S_{\text{r}}^2}{U_{\text{r}}^2} R_{\text{r}}, \quad (2.67)$$

$$\Delta Q_r = \frac{S_r^2}{U_r^2} X_r \quad (2.68)$$

Pentru LEA din SEN, /71/, se cunosc:

$$R_r = 0,16 \dots 0,1$$

$$X_r = 0,99 \dots 1$$

Valorile 0,16 și 0,99 sînt valabile pentru LEA de 220 kV, iar valorile 0,1 și 1 sînt valabile pentru LEA de 400 kV.

În dezvoltările ulterioare se va considera o LEA de 400 kV și se va admite pentru pierderile în elementele longitudinale expresiile:

$$\Delta P_r = 0,1 \frac{S_r^2}{U_r^2} \quad (2.69)$$

$$\Delta Q_{Lr} = \frac{S_r^2}{U_r^2} \quad (2.70)$$

Puterea reactivă consumată în capacitățile naturale ale liniilor este:

$$\Delta Q_C = B_L U^2 \quad (2.71)$$

Din /71/, pentru principalele tipuri de LEA se dau valorile admitanței capacitive:

$$Y_{cap} = (3,464 \dots 6,878) \cdot 10^{-6} \text{ S/km} \quad (2.72)$$

$$Y_{cap} = (2,771.5,418) \cdot 10^{-6} \text{ S/km} \quad (2.73)$$

Valorile (2.72) se referă la LEA de 400 kV, iar valorile (2.73) la LEA de 220 kV. Exprimînd în u.r. față de mărimile nominale, se obține:

- pentru LEA de 220 kV :

$$B_{Lr} \approx (7 \dots 27) \cdot 10^{-6} \quad (2.74)$$

- pentru LEA de 400 kV :

$$B_{Lr} \approx (10 \dots 43) \cdot 10^{-6} \quad (2.75)$$

și $\Delta Q_{or} = B_{Lr} U_r^2 \quad (2.76)$

Deci, expresia pierderilor totale de putere reactivă, în u.r. este:

$$\Delta Q_r = \Delta Q_{Lr} + \Delta Q_{Cr} \quad (2.77)$$

sau explicitat:

$$\Delta Q_r = \frac{S_r^2}{U_r^2} + B_{Lr} U_r^2 \quad (2.78)$$

Din cele prezentate și din calculele făcute a rezultat că în relațiile (2.77), (2.78) primul termen este preponderent.

Dacă se mai ține seama de faptul că în general ponderea pierderilor de putere reactivă reprezintă numai 25% din puterea activă consumată, se justifică neglijarea saturației miezului transformatoarelor din SEE în calculul pierderilor în transformator, cu atât mai mult cu cât relațiile de calcul sînt complicate în cazul considerării saturației.

Confirmarea celor de mai sus vor fi evidențiate și prin rezultatele obținute în calculul caracteristicii statice a consumatorului complex (paragraful 2.3).

Dacă se consideră caracteristicile statice simplificate a puterilor consumatorului funcție de tensiune, se obțin pentru pierderile de putere expresiile indicate în tabelul 2.2.

TABELUL nr.2.2.

Expresia pierderilor de putere activă și reactivă în funcție de modul în care se exprimă caracteristica statică putere funcție de tensiune a consumatorului				
Cazul	Expresia caracteristicii statice a consumatorului (C.S.C.), /u.r./	Efectul de reglaj al C.S.C. /u.r./	Expresia pierderilor de putere pe linie (CPT), /u.r./	Valoarea efectului de reglaj al CPT ^x /u.r./
I	$P_r=1$ $Q_r=1$	0 0	$\Delta P_r = \frac{0,2}{U_r^2}$ $\Delta Q_r = \frac{2}{U_r^2} + B_{Lr} U_r^2$	-0,4 -4+2B _{Lr}
II	$P_r=U_r$ $Q_r=U_r$	1 1	$\Delta P_r=0,2$ $\Delta Q_r=2+B_{Lr} U_r^2$	0 2B _{Lr}
III	$P_r=U_r^2$ $Q_r=U_r^2$	2 2	$\Delta P_r=0,2U_r^2$ $\Delta Q_r=2U_r^2+B_{Lr} U_r^2$	0,4 4+2B _{Lr}

1	2	3	4	5
IV	$P_r=1$ $Q_r=U_r^2$	0 2	$\Delta P_r = \frac{0,1}{U_r^2} + 0,1U_r^2$ $\Delta Q_r = \frac{1}{U_r^2} + U_r^2 + B_{Lr}U_r^2$	0 2B _{Lr}

*) S-a calculat valoarea efectului de reglaj pentru $U_r = 1$.

Presupunind caracteristicile statice ale consumatorilor printr-o expresie ^{generală care} prin particularizarea constantelor poate reprezenta oricare din consumatorii analizați

$$P_r = k_{1P}U_r^2 + k_{2P}U_r + k_{3P} + k_{4P}U_r^{1,6}, \quad (2.79)$$

$$Q_r = k_{1Q}U_r^2 + k_{2Q}U_r + k_{3Q} + k_{4Q}U_r^{-2} + k_{5Q}U_r^3, \quad (2.80)$$

rezultă pentru expresia pierderilor de putere relațiile (2.81) și (2.82):

$$\begin{aligned} \Delta P_r = 0,1 \left\{ k_{5Q}^2 U_r^4 + 2k_{1Q}k_{5Q}U_r^3 + (k_{1P}^2 + k_{2Q}^2 + 2k_{2Q}k_{5Q})U_r^2 + \right. \\ + 2k_{1P}k_{4P}U_r^{1,6} + k_{4P}^2 U_r^{1,2} + 2(k_{1P}k_{2P} + k_{1Q}k_{2Q} + k_{3Q}k_{5Q})U_r + \\ + 2k_{2P}k_{4P}U_r^{0,6} + (k_{2P}^2 + k_{2Q}^2 + 2k_{1P}k_{3P} + 2k_{1Q}k_{3Q}) + \frac{2k_{3P}k_{4P}}{U_r^{0,4}} + \\ + \frac{2(k_{2P}k_{3P} + k_{2Q}k_{3Q} + k_{4Q}k_{5Q})}{U_r} + \frac{k_{3P}^2 + k_{3Q}^2 + 2k_{1Q}k_{4Q}}{U_r^2} + \\ \left. + \frac{2k_{2Q}k_{4Q}}{U_r^3} + \frac{2k_{3Q}k_{4Q}}{U_r^4} + \frac{k_{4Q}^2}{U_r^6} \right\}, \quad (2.81) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_r = k_{5Q}^2 U_r^4 + 2k_{1Q}k_{5Q}U_r^3 + (k_{1P}^2 + k_{1Q}^2 + 2k_{2Q}k_{5Q} + B_{Lr})U_r^2 + \\ + 2k_{1P}k_{4P}U_r^{1,6} + k_{4P}^2 U_r^{1,2} + 2(k_{1P}k_{2P} + k_{1Q}k_{2Q} + k_{3Q}k_{5Q})U_r + \\ + 2k_{2P}k_{4P}U_r^{0,6} + (k_{2P}^2 + k_{2Q}^2 + 2k_{1P}k_{3P} + 2k_{1Q}k_{3Q}) + \frac{2k_{3P}k_{4P}}{U_r^{0,4}} + \\ + \frac{2(k_{2P}k_{3P} + k_{2Q}k_{3Q} + k_{4Q}k_{5Q})}{U_r} + \frac{k_{3P}^2 + k_{3Q}^2 + 2k_{1Q}k_{4Q}}{U_r^2} + \\ + \frac{2k_{2Q}k_{4Q}}{U_r^3} + \frac{2k_{3Q}k_{4Q}}{U_r^4} + \frac{k_{4Q}^2}{U_r^6}. \quad (2.82) \end{aligned}$$

Din relațiile (2.81) și (2.82) se poate calcula efectul

de reglaj al pierderilor de putere:

$$\begin{aligned} \left(\frac{d\Delta P_r}{dU_r}\right)_{U_r=1} &= 0,4k_{5Q}^2 + 0,6k_{1Q}k_{5Q} + 0,2(k_{1P}^2 + k_{1Q}^2 + 2k_{2Q}k_{5Q}) + \\ &+ 0,52k_{1P}k_{4P} + 0,12k_{4P}^2 + 0,2(k_{1P}k_{2P} + k_{1Q}k_{2Q} + k_{3Q}k_{5Q}) + \\ &+ 0,12k_{2P}k_{4P} - 0,08k_{3Q}k_{4P} - 0,2(k_{2P}k_{3P} + k_{2Q}k_{3Q} + k_{4Q}k_{5Q}) \\ &- 0,2(k_{3P}^2 + k_{3Q}^2 + 2k_{1Q}k_{4Q}) - 0,6k_{2Q}k_{4Q} - 0,8k_{3Q}k_{4Q} - \\ &- 0,6k_{4Q}^2 \quad (2.83) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{d\Delta Q_r}{dU_r}\right)_{U_r=1} &= 4k_{5Q}^2 + 6k_{1Q}k_{5Q} + 2(k_{1P}^2 + k_{1Q}^2 + 2k_{2Q}k_{5Q} + B_{Lr}) + \\ &+ 3,2k_{1P}k_{4P} + 1,2k_{4P}^2 + 2(k_{1P}k_{2P} + k_{1Q}k_{2Q} + k_{3Q}k_{5Q}) + \\ &+ 1,2k_{2P}k_{4P} - 0,8k_{3P}k_{4P} - 2(k_{2P}k_{3P} + k_{2Q}k_{3Q} + k_{4Q}k_{5Q}) - \\ &- 2(k_{3P}^2 + k_{3Q}^2 + 2k_{1Q}k_{4Q}) - 6k_{2Q}k_{4Q} - 8k_{3Q}k_{4Q} - \\ &- 6k_{4Q}^2 \quad (2.84) \end{aligned}$$

Avind în vedere că relațiile care exprimă caracteristicile statice de putere funcție de tensiune ale pierderilor de putere (2.81) și (2.82) sînt destul de complexe, în literatură și în calcule practice se consideră această caracteristică de forma: putere activă constantă, putere reactivă proporțională cu $U^2/46/$, putere activă și reactivă proporționale cu pătratul tensiunii /3/; soluții care îndepărtează rezultatele de realitate, aceste simplificări avînd o valabilitate limitată și introducînd erori de calcul deloc neglijabile.

Dacă se urmărește totuși o oarecare simplificare pentru un calcul mai rapid se propune aproximarea caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune prin relația de forma (2.85), (2.86) în locul relațiilor (2.79) și (2.80) :

$$P_r = (k_{1P} + k_{4P})U_r^2 + K_{2P}U_r + K_{3P} \quad (2.85)$$

$$Q_r = (k_{1Q} + k_{5Q})U_r^2 + K_{2Q}U_r + K_{3Q} + k_{4Q}U_r^{-2} \quad (2.86)$$

Se observă că în aceste relații s-au făcut aproximațiile:

$$k_{4P}U_r^{1,6} \approx k_{4P}U_r^2 \quad ; \quad k_{5Q}U_r^3 \approx k_{5Q}U_r^2$$

Se consideră că aceste simplificări se pot admite, condu-

cînd la relații de calcul mai simple, iar erorile ce rezultă prin admiterea acestor ipoteze simplificatoare sînt mici ($\varepsilon < 3\%$) pentru valori ale tensiunii apropiate de valoarea nominală (situație ce intervine în studiile de stabilitate statică), după cum rezultă din datele prezentate în tabelele 2.3...2.7.

TABELUL nr.2.3

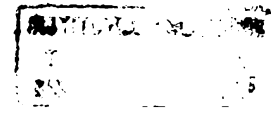
Erori în aprecierea caracteristicii statice a puterii active			
Expresia U_r	$U_r^{1,6}$	U_r^2	$\varepsilon = \frac{U_r^{1,6} - U_r^2}{U_r^{1,6}} 100\%$
0,95	0,9212	0,9025	2,03
1	1	1	0
1,05	1,0812	1,1025	-1,92

TABELUL nr.2.4

Erori în aprecierea caracteristicii statice a puterii reactive prin aproximarea $k_{5Q} U_r^3 = k_{5Q} U_r^2$, considerînd caracteristica motorului asincron de tipul 5 din tabelul nr. 2.1			
Expresia U_r	$a = 0,683U_r^2 + 0,191U_r^3$	$b = (0,683 + 0,191)U_r^2$	$\varepsilon = \frac{a-b}{a} 100\%$
0,9	0,69247	0,70794	- 2,23
0,95	0,780166	0,788785	- 1,1047
1	0,874	0,874	0
1,05	0,974114	0,963585	1,0809
1,1	1,080651	1,05754	2,311

TABELUL nr.2.5

Idem tabelul nr.2.4 dar considerînd caracteristica 6 din tabelul nr.2.1			
Expresia U_r	$a = 0,497U_r^2 + 0,139U_r^3$	$b = (0,497 + 0,139)U_r^2$	$\varepsilon = \frac{a-b}{a} 100\%$
1	2	3	4
0,9	0,503901	0,51516	- 2,23
0,95	0,56772	0,57399	- 1,1044



TABELUL nr.2.5(continuare)

1	2	3	4
1	0,636	0,636	0,1
1,05	0,7088529	0,70119	0,766
1,1	0,78638	0,76956	1,682

TABELUL nr.2.6

Idem tabelul nr.2.4 dar considerind caracteristica 7			
din tabelul nr.2.1			
Expresia U_r	$a=0,72U_r^2+0,2U_r^3$	$b=(0,72+0,2)U_r^2$	$\xi = \frac{a-b}{a} 100\%$
0,9	0,729	0,7452	-2,222
0,95	0,8213	0,8303	-0,9
1	0,92	0,92	0
1,05	1,025325	1,0143	1,075
1,1	1,1374	1,1132	2,1276

TABELUL nr.2.7

Idem tabelul nr.2.4, dar considerind caracteristica 8			
din tabelul nr.2.1			
Expresia U_r	$a=0,572U_r^2+0,16U_r^3$	$b=(0,572+0,16)U_r^2$	$\xi = \frac{a-b}{a} 100\%$
0,9	0,57996	0,59292	-2,2346
0,95	0,65341	0,66063	-1,10497
1	0,732	0,732	0
1,05	0,81585	0,80703	1,08108
1,1	0,90508	0,88572	2,139

In acest caz rezultă pentru pierderi expresiile (2.87) și (2.88) :

$$\Delta P_r = 0,1 \left\{ [(k_{1P} + k_{4P})^2 + (k_{1Q} + k_{5Q})^2] U_r^2 + [2k_{2P}^2 (k_{1P} + k_{4P}) + 2k_{2Q} (k_{1Q} + k_{5Q})] U_r + [k_{2P}^2 + k_{2Q}^2 + 2(k_{1P} + k_{4P})k_{3P} + 2k_{1Q}k_{3Q}] + 2k_{2P}k_{3P}U_r^{-1} + [k_{3P}^2 + k_{3Q}^2 + 2(k_{1Q} + k_{2Q})k_{4Q}] U_r^{-2} + k_{4Q}^2 U_r^{-6} \right\}, \quad (2.87)$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_r = & [(k_{1P} + k_{4P})^2 + (k_{1Q} + k_{5Q})^2 + B_{rL}] U_r^2 + [2k_{2P}^2 (k_{1P} + k_{4P}) + \\ & + 2k_{2Q} (k_{1Q} + k_{5Q})] U_r + [k_{2P}^2 + k_{2Q}^2 + 2(k_{1P} + k_{4P}) k_{3P} + \\ & + 2k_{1Q} k_{3Q} + 2k_{2P} k_{3P} U_r^{-1} + [k_{3P}^2 + k_{3Q}^2 + \\ & + 2(k_{1Q} + k_{2Q}) k_{4Q}] U_r^{-2} + k_{4Q}^2 U_r^{-6}. \end{aligned} \quad (2.88)$$

Simplificarea este evidentă, iar erorile ce se introduc față de considerarea caracteristicilor statice ale consumatorilor obținute prin măsurători pot fi ușor calculate, valoarea lor numerică depinde de caracteristicile statice putere funcție de tensiune ale consumatorului complex echivalent din SEE:

$$\varepsilon_p \% = \frac{\Delta P_r \text{ teoret.} - \Delta P_r \text{ simplif.}}{\Delta P_r \text{ teoret.}} 100\%, \quad (2.89)$$

$$\varepsilon_q \% = \frac{\Delta Q_r \text{ teoret.} - \Delta Q_r \text{ simplif.}}{\Delta Q_r \text{ teoret.}} 100\%, \quad (2.90)$$

în care s-au notat $\Delta P_r \text{ teoret.}$ și $\Delta Q_r \text{ teoret.}$ expresiile pierderilor de putere calculate cu relațiile (2.81) respectiv (2.82) iar cu $\Delta P_r \text{ simplif.}$, respectiv $\Delta Q_r \text{ simplif.}$ cele rezultate calculând cu relațiile (2.87) respectiv (2.88).

Din cele prezentate se poate trage concluzia că pentru o determinare corectă a pierderilor de putere active și reactive trebuie să se țină seama de caracteristicile statice de putere funcție de tensiune ale sarcinii, calculul pierderilor făcându-se în acest caz prin metoda aproximărilor succesive.

Prin această metodă, sarcina se înlocuiește, pas cu pas pentru fiecare nivel de tensiune calculat, cu valorile corespunzătoare caracteristicii statice care poate fi dată sub formă de tabel sau prin dependență analitică.

În tabelul nr. 2.8 se prezintă centralizat rezultatele obținute, v. pag. 52 .

2.3. Caracteristicile statice de putere funcție de tensiune ale consumatorului complex

În vederea stabilirii unor caracteristici statice de putere funcție de tensiune ale consumatorului complex echivalent dintr-un nod de consum din sistemul electroenergetic, trebuie cunoscute puterea totală absorbită și compoziția consumatorilor.

Aplicând relația (2.1) pentru un consumator complex având drept consumatori individuali consumatori de toate tipurile în-

TABELUL nr.2.8.
 Tabel centralizator privind caracteristicile statice de putere
 funcție de tensiune și efectul de reglaj la $U_r=1$

Consumatorul	Putere activă		Putere reactivă	
	Caracteristica statică	$\frac{dP_r}{dU_r}$	Caracteristica statică	$\frac{dQ_r}{dU_r}$
Motor asincron	$P_r=1$	0	$Q_r=0,764U_r^2 + 0,214U_r^3 + \frac{0,0224}{U_r^2}$	2,13
Motor sincron	$P_r=1$	0	$Q_r = 0,5U_r^2 - 0,5U_r$	0,5
Instal. de ilum.	$P_r = U_r^{1,6}$	1,6	$Q_r = 0$	-
Casnic	$P_r=0,45 U_r^2 + 0,2U_r^{1,6} + 0,35$	1,22	$Q_r = 0,897U_r^2 + 0,094U_r^3 + \frac{0,0098}{U_r^2}$	2,06
Cuptoare electrice	$P_r=U_r^2$	2	$Q_r = U_r^2$	2
Redresoare	$P_r=3U_r - 2$	3	$Q_r = 90,625U_r^2 - 172,375U_r + 82,75$	8,875
Pierderi de putere	vezi relația (2.81)	vezi rel. (2.83)	vezi relația (2.82)	vezi rel. (2.84)

dicat în tabelul nr.2.8, se obține:

$$P_r = p_{as}^P p_{ras}^P + p_s^P p_{rs}^P + p_{il}^P p_{ril}^P + p_{cas}^P p_{rcas}^P + p_{cE}^P p_{rcE}^P + p_{Rd}^P p_{rRd}^P + p_p^P p_{rp}^P, \quad (2.91)$$

$$Q_r = q_{as}^Q q_{ras}^Q + q_s^Q q_{rs}^Q + q_{il}^Q q_{ril}^Q + q_{cas}^Q q_{rcas}^Q + q_{cE}^Q q_{rcE}^Q + q_{Rd}^Q q_{rRd}^Q + q_p^Q q_{rp}^Q, \quad (2.92)$$

semnificația indicilor este cea indicată în lista prezentată în partea introductivă.

Avînd în vedere că $q_{ril} = 0$ și că $\sum_{i=1}^n q_i$ trebuie să fie egală cu 1, relația (2.92) devine:

$$Q_r = \frac{1}{q_{as} + q_s + q_{cas} + q_{cE} + q_{Rd} + q_p} [q_{as}^Q q_{ras}^Q + q_s^Q q_{rs}^Q + q_{cas}^Q q_{rcas}^Q + q_{cE}^Q q_{rcE}^Q + q_{Rd}^Q q_{rRd}^Q + q_p^Q q_{rp}^Q]. \quad (2.93)$$

Ponderile puterilor active al consumatorilor individuali în consumatorul complex rezultă din componența acestuia, iar ponderile puterilor reactive se stabilesc avînd în vedere că puterea reactivă consumată de consumatorii individuali depinde de factorul de putere ($\cos \varphi_1$) cu care aceștia lucrează. Deci ponderile puterii reactive pentru consumatori se stabilesc cu relația (2.94):

$$q_i = p_i \tan \varphi_1, \quad (2.94)$$

iar pentru pierderi, conform indicațiilor din literatură, /101/, se poate adopta:

$$q_p = (0,2 \dots 0,25) \sum p_i. \quad (2.95)$$

Se vor sintetiza caracteristicile statice de putere funcție de tensiune pentru consumatorii complecși indicați în literatură, v. tabelul nr.1.2 și pentru consumatorii cu componența propusă în tabelul nr.2.9 (componența indicată corespunde ponderilor p_i). De precizat că pentru consumatorii din tabelul nr. 2.9, pentru care s-au făcut și măsurători a căror rezultate sînt prezentate în capitolul 4, s-a cunoscut componența consumatorului sub forma: casnic, edilitar, industrial (cu precizarea întreprinderilor alimentate din stație) și apoi după specificul întreprinderii s-a apreciat consumatorul complex al fiecăruia. Desigur această evaluare este afectată de erori, ceea ce va duce la unele diferențe față de valorile măsurate, dar oricum re-

sultatele sînt mult mai apropiate de situația reală față de considerarea caracteristicilor simplificate.

Rezultatele calculului sînt indicate în tabelele nr. 2.10, ..2.12.

TABELUL nr.2.9

Date privind structurile propuse pentru consumator complex (exprimate în %) ^{*)}					
Tip. consumator complex.	Consumator complex.	B(16)	C(17)	E(18)	S-E(19)
		70%C+30%II.	80%I+5%II+15%E	1,15% I + 98,85%A	67,32 I+32,68C
Motoare asincrone		-	76	25	38,6
Motoare sincrone		-	-	-	-
Iluminat		30	5	5	10
Casnic		66	-	20	30
Cuptoare electrice		-	-	10	2
Redresoare		-	15	35	15,4
Pierderi de putere		4	4	5	4
Total:		100	100	100	100

*) S-a notat: I - industrial; C- casnic; II-iluminat; E - edilitar(magazine, ateliere mici, spitale, etc); A - agrar.

și au fost obținute înlocuind în relația (2.91) și (2.92) ponderile din tabelele nr. 1.2 respectiv 2.4, avînd în vedere relațiile din tabelul nr. 2.8. În tabelele nr. 2.10 și 2.11 se dau expresiile caracteristicilor statice pentru consumatorul complex iar în tabelul nr. 2.12 valorile efectelor de reglaj R_p și R_Q în punctul nominal de funcționare ($P_r=1$, $Q_r=1$; $U_r=1$), considerînd pentru caracteristicile pierderilor de putere expresii simplificate ($\Delta P=K$, $\Delta P=KU^2$, respectiv $\Delta Q = KU^2$) iar apoi considerînd influența caracteristicii statice a consumatorului complex asupra expresiei pierderilor de putere (cazul notat în tabelul nr.2.7 cu "f(P_r, Q_r)"). Calculul caracteristicii statice a puterii reactive, respectiv efectul de reglaj al acesteia s-a făcut atît pentru cazul neglijării saturației cît și în situa-

via considerării acestora. S-au calculat erorile care rezultă în cazul admiterii ipotezelor simplificatoare față de situația reală. Prin $\varepsilon_{PK}\%$ s-au notat erorile în calculul efectului reglant al caracteristicii statice a consumatorului complex în cazul considerării pierderilor de putere activă constante, independente de tensiune, iar prin $\varepsilon_{pu}\%$ eroarea în cazul considerării pentru pierderile de putere a unei dependențe pătratice cu tensiunea față de situația reală când expresia pierderilor de putere este funcție de caracteristica statică a consumatorului complex. Pentru puterea reactivă, $\varepsilon_{Qfără S}\%$, respectiv ε_Q cu $S\%$ reprezintă erorile de determinare a efectului reglant al sarcinii în absența, respectiv în prezența saturației, în situația când pentru pierderi se consideră o dependență pătratică față de tensiune și cazul exprimării acestora avînd în vedere caracteristica statică putere funcție de tensiune a consumatorului complex.

Analizînd rezultatele din tabelul nr.2. *12* se observă că, în cazul caracteristicilor statice de putere activă funcție de tensiune, reprezentarea pierderilor de putere ca o valoare constantă, independentă de tensiune ($\Delta P = K$) introduce erori relativ mici ($\varepsilon_{PK}\% \leq 4,5\%$); valorile obținute pentru efectul reglant în acest caz simplificat sînt toate mai mici decît în situația reală (erorile ε_{PK} sînt negative). Dimpotrivă, considerarea pierderilor de putere activă de forma $\Delta P = KU^2$ conduce la erori foarte mari ($\varepsilon_{pu}\%$ cu unele excepții $\gg 10\%$) pentru exprimarea efectului reglant, ceea ce conduce la concluzia evitării acestui mod de exprimare a pierderilor de putere activă.

Pentru caracteristica statică putere reactivă funcție de tensiune rezultatele sînt mai puțin concludente, erorile variînd în limite foarte largi, ceea ce impune considerarea în calculul pierderilor de putere reactivă a expresiei caracteristicilor consumatorului complex.

În figurile 2.8 și 2.9 s-au reprezentat spre exemplificare caracteristicile statice putere activă respectiv reactivă funcție de tensiune pentru cazurile în care se consideră consumatorii prin caracteristici simplificate (figura 2.8) respectiv pentru cazuri când pentru consumatori s-au considerat

TABELUL nr. 2.1e

Caracteristicile statice putere funcție de tensiune pentru consumatorii complecși indicați			
Nr. crt.	$P_r = f(U_r); P_r = \frac{P}{U_n}; U_r = \frac{U}{U_n}$	în tabelul nr.1.2	
	$(\Delta P = K)$	$Q_r = f(U_r); Q_r = \frac{Q}{Q_n}; U_r = \frac{U}{U_n}$ (fără saturație; $\Delta Q = KU^2$)	$Q_r = f(U_r)$ (cu saturație $Q = \Delta KU^2$)
1.	$P_r = 0,19U_r^2 + 0,6U_r + 0,13 + 0,082U_r^{1,6}$	$Q_r = 16,96U_r^2 - 31U_r + 14,9 + \frac{0,091}{U_r}$	$Q_r = 16,98U_r^2 - 31U_r + 14,9 + \frac{0,061}{U_r} + 0,065U_r^3$
2.	$P_r = 0,101U_r^2 + 0,15U_r + 0,64 + 0,11U_r^{1,6}$	$Q_r = 4,93U_r^2 - 7,99U_r + 3,81 + \frac{0,152}{U_r}$	$Q_r = 4,96U_r^2 - 7,99U_r + 3,81 + \frac{0,011}{U_r} + 0,11U_r^3$
3.	$P_r = 0,126U_r^2 + 0,3U_r + 0,52 + 0,054U_r^{1,6}$	$Q_r = 8,66U_r^2 - 15,13U_r + 7,24 + \frac{0,138}{U_r}$	$Q_r = 8,69U_r^2 - 15,13U_r + 7,24 + \frac{0,010}{U_r} + 0,098U_r^3$
4.	$P_r = 0,0556U_r^2 + 0,06U_r + 0,83 + 0,0545U_r^{1,6}$	$Q_r = 2,26U_r^2 - 2,9U_r + 1,37 + \frac{0,18}{U_r}$	$Q_r = 2,3U_r^2 - 2,9U_r + 1,37 + \frac{0,0134}{U_r} + 0,128U_r^3$
5.	$P_r = 0,8 + 0,2U_r^{1,6}$	$Q_r = 0,87U_r^2 - 0,167U_r + \frac{0,3}{U_r}$	$Q_r = 0,93U_r^2 - 0,166U_r + \frac{0,022}{U_r} + 0,213U_r^3$
6.	$P_r = 0,045U_r^2 + 0,785 + 0,17U_r^{1,6}$	$Q_r = 0,835U_r^2 - 0,107U_r + \frac{0,277}{U_r}$	$Q_r = 0,89U_r^2 - 0,106U_r + \frac{0,0206}{U_r} + 0,107U_r^3$
7.	$P_r = 0,1125U_r^2 + 0,8375 + 0,05U_r^{1,6}$	$Q_r = 0,93U_r^2 - 0,16U_r + \frac{0,23}{U_r}$	$Q_r = 0,974U_r^2 - 0,167U_r + \frac{0,0183}{U_r} + 0,1742U_r^3$
8.	$P_r = 0,1175U_r^2 + 0,18U_r + 0,6125 + 0,09U_r^{1,6}$	$Q_r = 5,57U_r^2 - 9,17U_r + 4,4 + \frac{0,15}{U_r}$	$Q_r = 5,6U_r^2 - 9,17U_r + 4,4 + \frac{0,011}{U_r} + 0,107U_r^3$
9.	$P_r = 0,11U_r^2 + 0,6U_r + 0,25 + 0,04U_r^{1,6}$	$Q_r = 21,61U_r^2 - 39,97U_r + 19,17 + \frac{0,191}{U_r}$	$Q_r = 21,71U_r^2 - 40,07U_r + 19,21 + \frac{0,0143}{U_r} + 0,137U_r^3$
10.	$P_r = 0,045U_r^2 + 0,735 + 0,22U_r^{1,6}$	$Q_r = 0,797U_r^2 - 0,0716U_r + \frac{0,275}{U_r}$	$Q_r = 0,854U_r^2 - 0,0714U_r + \frac{0,0158}{U_r} + 0,197U_r^3$
11.	$P_r = 0,15U_r^2 + 0,15U_r + 0,5 + 0,2U_r^{1,6}$	$Q_r = 6,4U_r^2 - 10,8U_r + 5,2 + \frac{0,225}{U_r}$	$Q_r = 6,425U_r^2 - 10,8U_r + 5,2 + \frac{0,017}{U_r} + 0,161U_r^3$
12.	$P_r = 0,1U_r^2 + 1,2U_r - 0,6 + 0,3U_r^{1,6}$	$Q_r = 52,13U_r^2 - 98,5U_r + 47,3 + \frac{0,086}{U_r}$	$Q_r = 52,15U_r^2 - 98,5U_r + 47,3 + \frac{0,0064}{U_r} + 0,061U_r^3$
13.	$P_r = 0,12U_r^2 + 0,24U_r + 0,5 + 0,14U_r^{1,6}$	$Q_r = 7,44U_r^2 - 12,66U_r + 6,06 + \frac{0,16}{U_r}$	$Q_r = 7,47U_r^2 - 12,66U_r + 6,06 + \frac{0,012}{U_r} + 0,12U_r^3$
14.	$P_r = 0,08U_r^2 + 0,39U_r + 0,35 + 0,18U_r^{1,6}$	$Q_r = 12,65U_r^2 - 22,71U_r + 10,9 + \frac{0,16}{U_r}$	$Q_r = 12,68U_r^2 - 22,71U_r + 10,9 + \frac{0,012}{U_r} + 0,115U_r^3$
15.	$P_r = 0,095U_r^2 + 0,15U_r + 0,605 + 0,15U_r^{1,6}$	$Q_r = 5U_r^2 - 8,13U_r + 3,9 + \frac{0,153}{U_r}$	$Q_r = 5,03U_r^2 - 8,13U_r + 3,9 + \frac{0,0114}{U_r} + 0,11U_r^3$

caracteristici obținute prin măsurători, figura 2.9.

TABELUL nr. 2.11

Caracteristicile statice putere funcție de tensiune pentru consumatorii complecși indicați în tabelul nr. 2.9.

Nr. consumator	Caracteristica	$P_r = f(U_r)$ ($\Delta P = \sqrt{K}$)	$Q_r = f(U_r)$ ($\Delta Q = KU^2$)
16	fără saturație	$P_r = 0,297U_r^2 + 0,432U_r^{1,6} + 0,271$	$Q_r = 0,903U_r^2 + \frac{0,098}{U_r}$
	cu saturație		$Q_r = 0,923U_r^2 + 0,071U_r^3 + \frac{0,00735}{U_r^2}$
17	fără saturație	$P_r = 0,05U_r^{1,6} + 0,45U_r + 0,5$	$Q_r = 11,89U_r^2 - 21,31U_r + 10,23 + \frac{0,19}{U_r^2}$
	cu saturație		$Q_r = 11,93U_r^2 - 21,31U_r + 10,23 + \frac{0,014}{U_r^2} + 0,134U_r^3$
18	fără saturație	$P_r = 0,19U_r^2 + 0,09U_r^{1,6} + 1,05U_r - 0,33$	$Q_r = 27,06U_r^2 + \frac{0,0842}{U_r^2} - 50,3U_r + 24,13$
	cu saturație		$Q_r = 27,07U_r^2 + 0,06U_r^3 + \frac{0,0063}{U_r^2} - 50,3U_r + 24,13$
19	fără saturație	$P_r = 0,155U_r^2 + 0,16U_r^{1,6} + 0,462U_r + 0,223$	$Q_r = 12,9U_r^2 + \frac{0,135}{U_r^2} - 23,15U_r + 11,14$
	cu saturație		$Q_r = 12,93U_r^2 + 0,097U_r^3 + \frac{0,0101}{U_r^2} - 23,15U_r + 11,11$

TABELUL Nr.2.12

Valorile efectelor de reglaj pentru consumatorul complex avînd caracteristicile din tabelele nr. 2.5 și 2.6 în punctul nominal de funcționare ($U_r=1$)

Nr. consumat.	$R_P = dP_r / dU_r$			$R_Q = dQ_r / dU_r$						
	pentru ΔP_r			$\epsilon_{PK}\%$	$\epsilon_{PU}\%$	fără sat.	cu satura-		ϵ_Q fără S	ϵ_Q cu S
	K	KU_r^2	$f(P_r, Q_r)$			pt. $\Delta_r = KU_r^2$	pentru ΔQ_r			
				KU_r^2	$f(P_r, Q_r)$	KU_r^2	$f(P_r, Q_r)$			
1	1,1080	1,3076	1,1633	-4,75	12,40	2,782	3,028	3,912	-28,90	-22,62
2	0,5270	0,727	0,5515	-4,44	31,82	1,571	2,242	2,364	-33,58	-5,16
3	0,6384	0,8384	0,642	-0,56	30,59	1,92	2,528	2,911	-34,04	-13,16
4	0,2584	0,3584	0,2646	-2,34	35,45	1,271	2,066	1,877	-32,28	+10,08
5	0,320	-	-	-	-	0,970	2,292	-	-57,68	-
6	0,362	-	-	-	-	1,008	2,221	-	-54,61	-
7	0,305	-	-	-	-	1,23	2,27	-	-45,81	-
8	0,559	0,739	0,5802	-3,654	27,37	1,647	2,31	2,401	-31,40	-3,79
9	0,884	-	-	-	-	2,87	3,733	-	-23,11	-
10	0,442	-	-	-	-	0,97	2,19	-	-55,71	-
11	0,770	-	-	-	-	1,53	2,524	-	-39,37	-
12	1,88	-	-	-	-	5,587	5,065	-	-6,34	-
13	0,704	0,864	0,7296	-3,509	18,22	1,885	2,598	2,90	-35	-10,4
14	0,838	0,998	0,8737	-4,086	14,23	2,261	2,973	3,591	-37,03	-17,2
15	0,58	0,72	0,6069	-4,422	18,63	1,570	2,245	2,7069	-41,99	-17,0
16	1,2852	1,3652	1,2964	-0,864	5,31	1,61	2,042	2,2423	-28,2	-8,91
17	0,53	0,61	0,5445	-2,663	12,03	2,099	2,93	3,34	-37,15	-12,28
18	1,574	1,674	1,61	-2,236	3,975	3,67	4,04	5,33	-31,14	-24,2
19	1,028	1,108	1,047	-1,815	5,83	2,381	2,98	3,662	-34,98	-18,6

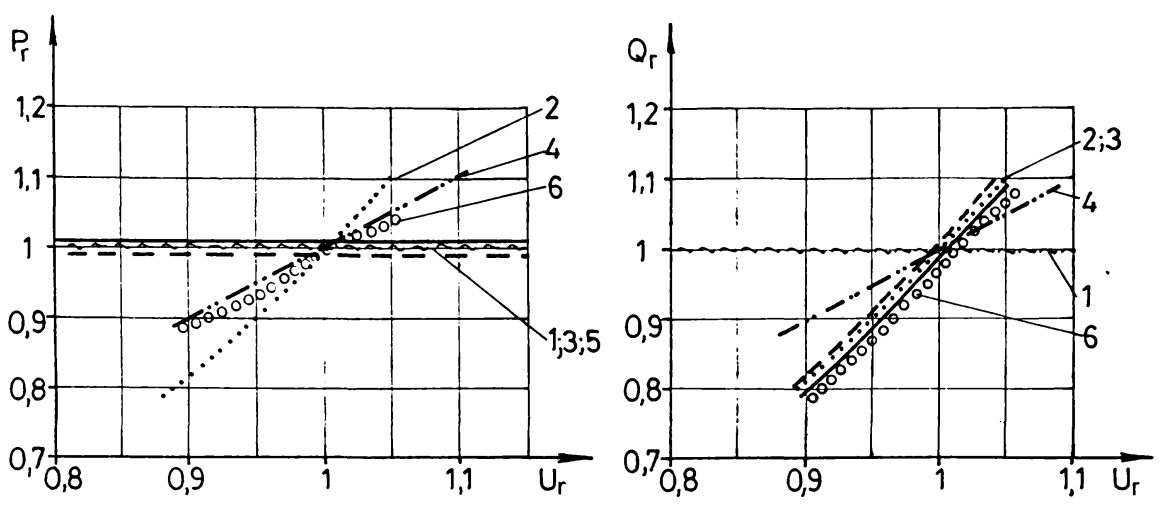


Fig.2.8. Caracteristici $P_r=f(U_r)$ și $Q_r=f(U_r)$
 1- $P, Q = \text{const.}$; 2- $Z = \text{const.}$; 3-"normale"; 4- $I = \text{const.}$;
 5-motor asincron; 6-casnic.

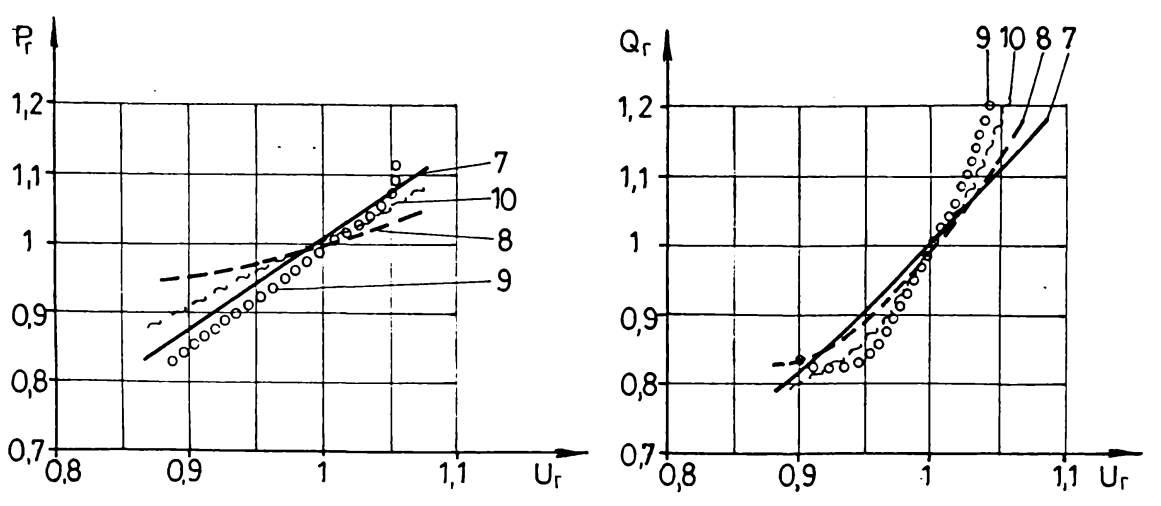


Fig.2.9. Caracteristici $P_r=f(U_r)$ și $Q_r=f(U_r)$ pentru consu-
 matori din tabelul nr.2.9.
 7-consumatorul 16; 8 - consumatorul 17;
 9- consumatorul 18; 10- consumatorul 19

2.4. Observații și concluzii privind sintetizarea caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune pentru consumatorul complex

Sintetizând caracteristica statică putere funcție de tensiune a consumatorului complex din caracteristicile statice ale consumatorilor individuali, cu toate aproximațiile făcute, se obțin expresii complexe (v. relațiile din tabelele nr. 2.10 și 2.11), incomode de utilizat în calcule.

Aceste caracteristici prezintă o mare dispersie, nepermițând o generalizare în funcție de componența consumatorului complex. În schimb, efectul de reglaj prezintă o oarecare constantă față de componența consumatorului complex, ceea ce conduce la ideea exprimării caracteristicii statice într-o formă liniarizată care să includă însă efectul de reglaj, cum se va vedea în subcapitolul 2.5.

Valorile efectului de reglaj obținute pentru caracteristicile statice de putere funcție de tensiune, sintetizate pentru consumatori complecși de diverse componente sînt în concordanță cu valorile indicate în literatură .

Comparînd rezultatele calculelor considerînd influența caracteristicii statice $P_r = f(U_r)$ și $Q_r = f(U_r)$ a consumatorului asupra pierderilor în rețele electrice cu cele în care s-a neglijat această influență (rezultatele din tabelul nr.2.12), se observă o mare diferență pentru valorile efectului reglant ceea ce conduce la concluzia că în calcule nu se recomandă această simplificare.

Cunoscînd componența consumatorului complex echivalent se poate aprecia astfel efectul reglant al sarcinii, atunci cînd nu se dispune de date experimentale.

2.5. Reprezentarea în sistemul electroenergetic a consumatorilor neliniari la tensiuni apropiate de cea nominală

Considerarea în calcule a consumatorului complex din sistemul electroenergetic prin caracteristicile statice de putere funcție de tensiune neliniare (v. relațiile din tabelul nr. 2.10 și 2.11), neliniaritate rezultată din faptul că elementele sistemului nu au caracteristici liniare, conduce la

complicarea calculelor. Relațiile devin și mai complicate în cazul considerării în expresia pierderilor de putere a expresiei caracteristicilor statice putere funcție de tensiune a sarcinii. Dese ori se recurge, în vederea simplificării calculelor la liniarizarea elementelor, în felul acesta se admit anumite erori față de situația reală cunoscută numai pe cale experimentală.

În funcție de gradul de aproximare acceptat, se pot folosi diferite metode de calcul [8], [99] dintre care se amintesc metoda coardei unice, metoda tangentei, metoda aproximării curbei printr-o parabolă.

În figura 2.10 se prezintă pentru o caracteristică statică experimentală 1, caracteristicile approximate prin metodele amintite, iar expresiile puterii funcție de tensiune sînt:

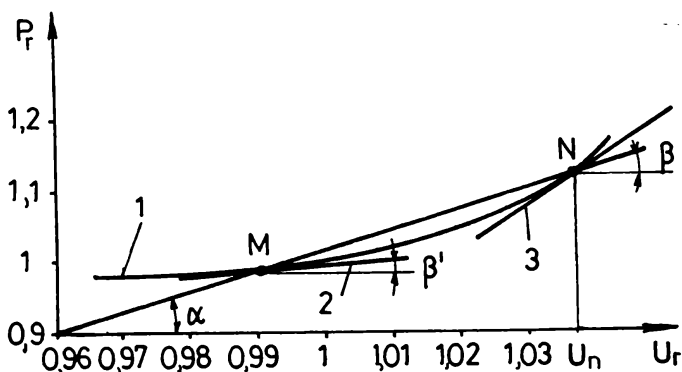


Fig.2.10. Caracteristica statică $P_r = f(U_r)$ pentru consumatorul complex din stația S-E, ora 8³⁰ (1), coarda (2), tg (3).

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\Delta P}{\Delta U} \quad (2.99)$$

Intervalul U trebuie ales suficient de mic, astfel încât caracteristica liniară să reflecte suficient de bine dependența funcției $P=f(U)$. Pentru alt punct de funcționare, în afara limitelor admise pentru ΔU , trebuie dusă altă tangentă la curba caracteristicii statice și scrisă ecuația liniară corespunzătoare noului coeficient unghiular. Soluția completă a problemei se obține racordând diversele soluții prin condiții

a) metoda coardei unice conduce la caracteristica:

$$P = U \operatorname{tg} \alpha \quad (2.96)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{P_n}{U_n} \quad (2.97)$$

b) metoda tangentei constă în înlocuirea caracteristicii reale prin tangenta în punctul de funcționare, obținându-se ecuația caracteristicii:

$$P = U \operatorname{tg} \beta - U_n \operatorname{tg} \beta + P_n \quad (2.98)$$

unde

comune la limită.

c) metoda aproximării curbei printr-o parabolă, cu ecuația de forma (vezi anexa A-2):

$$P_r = k_{1P} U_r^2 + k_{2P} U_r + k_3 \quad (2.100)$$

De precizat că relații analoge cu (2.96)...(2.100) pot fi obținute și pentru expresia caracteristicii statice a puterii reactive funcție de tensiune, $Q_r = f(U_r)$.

Pentru a se aprecia precizia diferitelor metode de calcul, în tabelul nr.2.13 se indică rezultatele obținute prin diferitele metode folosite pentru câteva caracteristici statice de putere.

S-a considerat eroarea:

$$\epsilon\% = \frac{P_r \text{ real} - P_r \text{ calc.}}{P_r \text{ real}} \cdot 100, \quad (2.101)$$

$P_r \text{ real}$ - valoarea puterii active (în u.r.) determinată experimental pentru diferite valori ale tensiunii,

$P_r \text{ calc}$ - valoarea puterii active (în u.r.) determinată prin diferite metode de calcul, pentru aceleași valori ale tensiunii.

Din tabel se poate observa că aproximarea caracteristicii statice a puterii active sau reactive printr-o tangentă dusă în punctul de funcționare conduce la erori relativ mici atât pentru caracteristica statică a puterii active, cât și a puterii reactive. În același timp însă calculele sînt mult mai simple, iar în expresia puterii funcție de tensiune intervine tocmai efectul reglant al sarcinii.

Dacă se cere o precizie mai mare a calculului se impune rezolvarea ecuațiilor algebrice neliniare; de obicei în acest scop se folosesc metode numerice iterative de calcul pentru care este indicată scrierea matricială, soluția este însă neeconomică atât sub aspectul utilizării memoriei calculatorului numeric, cât și a timpului de calcul. Din acest motiv, în prezenta lucrare se consideră că reprezentarea caracteristicilor statice ale consumatorilor prin caracteristici liniarizate în jurul punctului de funcționare staționară, conduce la rezultate corespunzătoare în cazul calculelor de stabilitate statică a sistemului electroenergetic, cînd variațiile de tensiune și de putere sînt relativ mici.

TABELUL nr. 2.13

Rezultate comparative privind datele obținute prin diverse metode de aproximare a caracteristicilor statice de putere în funcție de tensiune pentru diferiți consumatori complecși neliniari

Nr. Caracteristica ort. reală (experimentală)	Metoda coardei unice						Metoda tangentei					
	Putere activă			Putere reactivă			Putere activă			Putere reactivă		
	U_r	P_r	Q_r	$\epsilon_p\%$	Q_r	$\epsilon_Q\%$	P_r	$\epsilon_p\%$	Q_r	$\epsilon_Q\%$		
I Tș.S.N ora 8 ³⁰	0,97	0,98	0,88	1,02	0,97	-10,22	0,983	-0,206	0,883	-0,341		
	0,99	0,995	0,96	0,5025	0,99	3,125	0,9943	0,07035	0,961	-0,104		
	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0		
II Tms.N ora 8 ³⁰	1,01	1,02	1,08	0,98	1,01	6,48	1,00566	1,406	1,039	3,796		
	0,97	0,985	0,89	1,523	0,97	-8,99	0,978	0,7106	0,885	0,562		
	0,99	0,99	0,97	0	0,99	-2,06	0,9927	-0,2727	0,9617	0,855		
III Tș. Est ora 8 ³⁰	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0		
	1,01	1,015	1,06	0,493	1,01	4,717	1,0073	0,759	1,0383	2,047		
	0,97	0,975	0,8875	0,513	0,97	-9,296	0,959	1,641	0,8461	4,66		
	0,99	0,9675	0,9375	-0,253	0,99	5,6	0,98634	0,1174	0,9487	-1,194		
	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0		
	1,01	1,0375	1,1	2,65	1,01	8,182	1,01366	2,298	1,0513	4,42		

Astfel, pentru caracteristica corespunzătoare puterii active variația puterii active ΔP determinată de o variație a tensiunii ΔU , este:

$$\Delta P = \left(\frac{dP}{dU} \right) \Delta U . \quad (2.102)$$

Considerând punctul de funcționare staționar P_{or} , U_{or} (mărimi în unități relative nominale), relația (2.102) devine:

$$P_r - P_{or} = \frac{dP_r}{dU_r} (U_r - U_{or}) . \quad (2.103)$$

Cînd punctul de funcționare staționară este cel nominal, cazul practic cel mai frecvent, expresia caracteristicii statice de putere funcție de tensiune poate fi scrisă:

$$P_r = 1 - \frac{dP_r}{dU_r} + \frac{dP_r}{dU_r} U_r . \quad (2.104)$$

sau notînd efectul reglant al sarcinii active:

$$R_P = \frac{dP_r}{dU_r} \quad (2.105)$$

$$P_r = 1 - R_P + R_P U_r . \quad (2.106)$$

Similar, pentru caracteristica corespunzătoare puterii reactive funcție de tensiune se obține:

$$Q_r = 1 - R_Q + R_Q U_r , \quad (2.107)$$

unde R_Q reprezintă efectul reglant al sarcinii reactive

$$R_Q = \frac{dQ_r}{dU_r} . \quad (2.108)$$

Se observă că de fapt relațiile (2.104) și (2.107) sînt variante ale relației (2.98).

Exprimarea caracteristicilor statice sub forma (2.104) și (2.107) prezintă avantajul simplității (funcții liniare) și al utilizării unui singur parametru (efectul reglant) specific unui anumit tip de consumator, așa cum a rezultat din exemplele de calcul considerate în acest capitol și cum s-a confirmat prin rezultatele experimentale prezentate în capitolul 4.

Caracteristicile statice putere funcție de tensiune exprimate prin caracteristici liniare deși au o formă simplă, redau relativ fidel comportarea consumatorilor în regimuri staționare eliminînd în același timp complicarea calculului ce apare

în cazul folosirii expresiilor polinomiale rezultate din prelucrarea rezultatelor experimentale sau din calcule de sintetizare a caracteristicilor consumatorilor complecși.

Ca dezavantaj al acestui mod de exprimare se poate menționa că aceasta este corectă numai pentru abateri mici ale tensiunii în jurul valorii nominale. În general însă, în practică punctele de funcționare ale consumatorilor în regimuri staționare sînt caracterizate prin mărimi electrice apropiate de mărimile nominale, expresiile (2.106) și (2.107) pot fi utilizate în majoritatea cazurilor.

2.6. Concluzii

Sintetizarea caracteristicii statice a sarcinii consumatorului complex, din caracteristicile statice putere funcție de tensiune a consumatorilor individuali componenți, este o metodă ce se impune pentru situațiile în care nu se dispune de rezultate experimentale. Ea permite stabilirea unor expresii de calcul pentru caracteristicile putere funcție de tensiune ale consumatorului complex mult mai apropiate de caracteristicile reale în comparație cu reprezentarea consumatorului complex prin caracteristici simplificate.

Aproximarea acestor caracteristici este cu atît mai mică cu cît modelul matematic adoptat pentru caracteristicile consumatorilor individuali este mai exact.

Avînd în vedere considerentele de mai sus în acest capitol se propune un model matematic pentru caracteristica motorului asincron, avînd în vedere atît gradul de încărcare a motorului cît și influența saturației fierului motorului. Deși relațiile se complică s-a considerat necesară această reprezentare, mai apropiată de situația reală, știut fiind că motorul asincron are o pondere însemnată între consumatorii de energie electrică. Se observă că răspunsul sarcinii puterii reactive este considerabil influențat de saturația fierului acesteia. Avînd în vedere slaba răspîndire a motoarelor sincrone care contribuie cu o mică pondere în consumatorul complex, s-a considerat potrivit neglijarea influenței saturației asupra caracteristicilor acestora obținîndu-se astfel evident simplificări ale calculelor. Pe baza literaturii studiate s-a adoptat componenta consumatorului casnic, rezultînd caracteristica

statică putere funcție de tensiune corespunzătoare. S-a întocmit un studiu asupra modulului de reprezentare a pierderilor de putere în rețea, arătându-se că greșit se apreciază uneori în literatură expresia pierderilor de putere activă funcție de tensiune printr-o dependență pătratică. Se va putea eventual admite pentru simplificarea calculului pierderile de putere activă în rețea constante, independente de tensiune. Dacă această concesie poate fi admisă în cazul pierderilor de putere active, în schimb în cazul pierderilor de putere reactivă în rețea se impune considerarea expresiei caracteristicii statice putere funcție de tensiune a consumatorului în calculul expresiei caracteristicilor statice putere funcție de tensiune pentru pierderile de putere reactivă în rețea.

Pentru exemplificarea dezvoltărilor teoretice se prezintă și rezultatele obținute prin sintetizarea unor consumatori complecși indicați în literatură, respectiv a unora pentru care s-au ridicat caracteristicile statice putere funcție de tensiune experimental.

Reprezentarea consumatorilor complecși prin caracteristici statice putere funcție de tensiune are avantajul că permite modelarea corespunzătoare a modificărilor puterii active și reactive absorbite de acestea la modificările de tensiune din sistem. Aceste caracteristici redau comportarea consumatorului mai apropiat de comportarea reală decât reprezentarea prin caracteristici simplificate, apar însă și unele erori față de situația reală datorate modulului de apreciere a ponderilor consumatorilor individuali din compoziția consumatorului complex. Aceste ponderi au o modificare continuă (datorită conectării sau deconectării unor consumatori în conformitate cu graficul de sarcină), în plus practic este imposibilă o cunoaștere exactă a compoziției consumatorului complex. Ponderile pentru puterea reactivă au fost calculate avându-se în vedere un $\cos \varphi_{med}$ al consumatorului care absoarbe puterea reactivă respectivă, factor de putere presupus constant, ori se știe că factorul de putere variază în funcție de condițiile exploatarei.

În încheierea capitolului se propune o reprezentare a caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune ale consumatorilor complecși prin expresii liniare, având ca parametru efectul de reglaj al consumatorului.

Capitolul 3

MODELUL MATEMATIC EXACT AL CONSUMATORILOR FUNCTIONIND LA TENSIUNI APROPIATE DE CEA NOMINALA

3.1. Problema urmărită, metode de calcul

Obținerea caracteristicilor statice putere funcție de tensiune a consumatorului complex echivalent prin metoda sintetizării acestora din caracteristicile statice ale consumatorilor individuali componenți, cum s-a văzut în capitolul 2, conduce datorită ipotezelor admise la relații aproximative, dar relativ ușor de mînuit în calcule și care dau rezultate mai apropiate de cele din realitate decît calculele în care se consideră consumatorul prin caracteristicile sale simplificate.

Se observă că exprimarea acestor caracteristici este neliniară. Pentru studii de stabilitate, ca de altfel și în alte probleme de studiu a SFE este util să se definească comportarea acestor elemente neliniare în vecinătatea unei situații cunoscute (nominală, de referință) pentru a se analiza efectul unei schimbări reduse a situației. Se știe că în astfel de circuite, la o variație a tensiunii, pe lîngă variația curentului se modifică și impedanța, respectiv admitanța circuitului; relațiile de calcul devin mai complexe.

Metoda clasică cunoscută și frecvent aplicată pentru rezolvarea problemei, constînd în liniarizarea elementelor rețelei, considerîndu-se deci impedanțele acestora constante, evident că introduce erori față de situația reală, cunoscută numai pe calea experimentală. În funcție de gradul de aproximare acceptat, se pot folosi diferite metode de calcul [11], [49], [197], [205], [218], prezentate sumar în subcapitolul 2.5 și care conduc la expresii relativ simple.

Metodele analitice bazate pe calculul matricial sau tensorial pot conduce la rezultate mai exacte în sensul redării mai fidele a situației reale.

În acest sens se prezintă în continuare o metodă de repre-

zentare tensorială (după /183/) iar apoi pe baza noțiunilor din calculul matricial se propune o reprezentare unitară a consumatorului complex echivalent.

3.2. Reprezentarea tensorială a comportamentului incremental al elementelor neliniare ale rețelei electrice

În analiza comportării incrementale în general nu se poate aplica conceptul de impedanță (sau admitanță) ca raportul între creșterea tensiunii și creșterea curentului, pentru că această admitanță este în mod intrinsec funcție de tensiunea incrementală (sau de curent, sau simultan de tensiune și de curent). Se poate însă aplica conceptul de tensor de impedanță (sau de admitanță) incrementală, care definește relația între vectorii tensiunii și curentului incremental, prezentat în dezvoltările ce urmează.

Se consideră un dipol, în regim alternativ sinusoidal, caracterizat prin corespondența mărimilor tensiune U și curent I , vectori cu două dimensiuni a și b , de componente U_a , U_b respectiv I_a , I_b și fie U_m și I_m valorile lui U și I într-o anumită situație de referință. Dacă se consideră o situație vecină, caracterizată prin tensiunea :

$$U = U_m + \Delta U \quad (3.1)$$

și prin curentul

$$I = I_m + \Delta I, \quad (3.2)$$

în care ΔU și ΔI sînt mici, se poate defini tensorul de impedanță incrementală prin

$$\Delta U = Z \Delta I, \quad (3.3)$$

sau

$$\Delta U_a = Z_{aa} \Delta I_a + Z_{ab} \Delta I_b, \quad (3.4)$$

$$\Delta U_b = Z_{ba} \Delta I_a + Z_{bb} \Delta I_b, \quad (3.5)$$

neglijînd termenii de ordin superior. Similar se poate defini și tensorul admitanței incrementale:

$$\Delta I = Y \Delta U, \quad (3.6)$$

sau

$$\Delta I_a = Y_{aa} \Delta U_a + Y_{ab} \Delta U_b, \quad (3.7)$$

$$\Delta I_b = Y_{ba} \Delta U_a + Y_{bb} \Delta U_b. \quad (3.8)$$

Rezultă și expresiile tensorului impedanței respectiv admitanței incrementale:

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} \\ Z_{ba} & Z_{bb} \end{bmatrix}; \quad Y = \begin{bmatrix} Y_{aa} & Y_{ab} \\ Y_{ba} & Y_{bb} \end{bmatrix}. \quad (3.9)$$

Spre exemplu, se indică tensorii impedanței și admitanței incrementale în circuitele pentru care sînt definite elasticitățile puterii active EP și ale puterii reactive EQ în raport cu tensiunea.

În imediata vecinătate a unei stări de referință notată prin indicele m , se definesc coeficienții

$$\varepsilon = \frac{EP}{E|U|} \quad (3.10)$$

și

$$\eta = \frac{EQ}{E|U|}, \quad (3.11)$$

P și Q fiind puterea activă și reactivă absorbită de dipol la bornele la care este aplicată tensiunea U .

Sub o altă formă, în apropierea destul de mică față de situația de referință notată cu m , neglijînd termenii de ordin superior, se obțin:

$$\frac{P}{P_m} = \left(\frac{|U|}{|U|_m} \right)^\varepsilon \approx 1 + \varepsilon \frac{|U| - |U|_m}{|U|_m}, \quad (3.12)$$

$$\frac{Q}{Q_m} = \left(\frac{|U|}{|U|_m} \right)^\eta \approx 1 + \eta \frac{|U| - |U|_m}{|U|_m}. \quad (3.13)$$

Avînd:

$$P = P_m + \Delta P, \quad (3.14)$$

$$Q = Q_m + \Delta Q, \quad (3.15)$$

și

$$P_m = U_a I_a + U_b I_b, \quad (3.16)$$

$$Q_m = U_b I_a - U_a I_b, \quad (3.17)$$

$$\Delta P = U_a \Delta I_a + U_b \Delta I_b + I_a \Delta U_a + I_b \Delta U_b \quad (3.18)$$

$$\Delta Q = U_b \Delta I_a - U_a \Delta I_b + I_a \Delta U_b - I_b \Delta U_a, \quad (3.19)$$

rezultă prin calcul, /183/ :

$$\begin{aligned} Z &= f(P, Q, \varepsilon, \eta, U_a, I_a, U_b, I_b), \\ Y &= f(P, Q, \varepsilon, \eta, U_a, I_a, U_b, I_b). \end{aligned} \quad (3.20)$$

Cunoscând tipul consumatorilor racordați la rețea, se pot estima valorile lui ε și η , pe baza unor măsurători făcute în rețele similare.

3.3. Reprezentarea matricială a consumatorilor în studiile de stabilitate statică

3.3.1. Introducere

Se consideră reprezentarea consumatorilor individuali oț și a celui complex echivalent din SFE printr-o scriere matricială care permite asigurarea unui grad de generalitate, o exprimare unitară și simplă a caracteristicii puterii funcție de tensiune, valabilă în domeniul micilor perturbații.

Această reprezentare este potrivită avînd în vedere că ecuațiile algebrice care caracterizează circuitele electrice neliniare se rezolvă prin metode numerice iterative de calcul.

3.3.2. Reprezentarea motorului asincron

Ecuațiile generale de funcționare ale motorului asincron scrise sub forma matricială, în coordonate de fază sînt, /169/ :

$$[u] = -[e] + [R][i] = \frac{d}{dt}[\psi] + [R][i] \quad (3.21)$$

unde:

$[u]$, $[e]$, $[i]$, $[\psi]$, sînt matricile coloană ale tensiunilor la borne, a t.e.m., ale curenților și fluxurilor rezultante, iar $[R]$ este matricea diagonală a rezistențelor.

$$\begin{aligned} [u] &= \begin{bmatrix} u_S \\ u_R \end{bmatrix}; [e] = \begin{bmatrix} e_S \\ e_R \end{bmatrix}; [i] = \begin{bmatrix} i_S \\ i_R \end{bmatrix}, \\ [\psi] &= \begin{bmatrix} \psi_S \\ \psi_R \end{bmatrix}; [R] = \begin{bmatrix} R_S & 0 \\ 0 & R_R \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (3.22)$$

Prin indicii S și R s-au notat submatricile mărimilor corespunzătoare statorice și rotorice

$$[u_S] = \begin{bmatrix} u_{aS} \\ u_{bS} \\ u_{cS} \end{bmatrix}; [u_R] = \begin{bmatrix} u_{aR} \\ u_{bR} \\ u_{cR} \end{bmatrix}; [i_S] = \begin{bmatrix} i_{aS} \\ i_{bS} \\ i_{cS} \end{bmatrix};$$

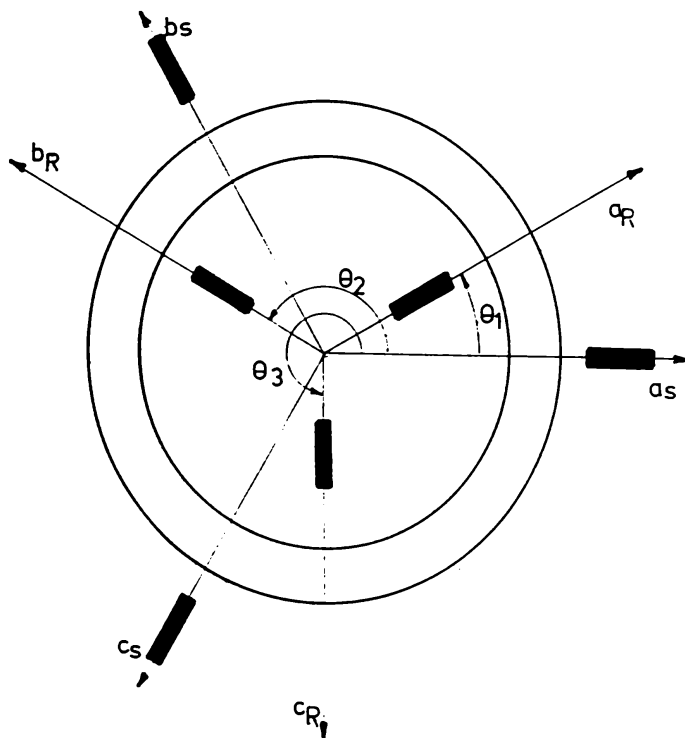
$$\begin{aligned}
 [i_R] &= \begin{bmatrix} i_{aR} \\ i_{bR} \\ i_{cR} \end{bmatrix}; & [e_S] &= \begin{bmatrix} e_{aS} \\ e_{bS} \\ e_{cS} \end{bmatrix}; & [e_R] &= \begin{bmatrix} e_{aR} \\ e_{bR} \\ e_{cR} \end{bmatrix}; & (3.23) \\
 [\psi_S] &= \begin{bmatrix} \psi_{aS} \\ \psi_{bS} \\ \psi_{cS} \end{bmatrix}; & [\psi_R] &= \begin{bmatrix} \psi_{aR} \\ \psi_{bR} \\ \psi_{cR} \end{bmatrix}; & [R_S] &= \begin{bmatrix} R_S & 0 & 0 \\ 0 & R_S & 0 \\ 0 & 0 & R_S \end{bmatrix}; \\
 [R_R] &= \begin{bmatrix} R_R & 0 & 0 \\ 0 & R_R & 0 \\ 0 & 0 & R_R \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

Dar $[\psi] = [L] [i]$, (3.24)

unde $[L]$ este matricea inductanțelor

$$[L] = \begin{bmatrix} [L_S] & [M_{RS}] \\ [M_{SR}] & [L_R] \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

în care dacă se consideră mașina asincronă de referință, figura



3.1 și relațiile dintre permeanțele circuitelor magnetice, numărul de spire ale înfășurărilor statorice respectiv rotorice, inductivitățile proprii și mutuale ale unei faze statorice și rotorice, cu notația unghiurilor din figură, se obține:

Fig.3.1.Mașina asincronă de referință

$$\begin{aligned}
 [L_S] &= \begin{bmatrix} L_{aS} & M'_S & M'_S \\ M'_S & L_{bS} & M'_S \\ M'_S & M'_S & L_{cS} \end{bmatrix}, \\
 [L_R] &= \begin{bmatrix} L_{aR} & M'_R & M'_R \\ M'_R & L_{bR} & M'_R \\ M'_R & M'_R & L_{cR} \end{bmatrix},
 \end{aligned} \tag{3.26}$$

$$\begin{aligned}
 [M_{RS}] &= \begin{bmatrix} M' \cos \theta_1 & M' \cos \theta_3 & M' \cos \theta_2 \\ M' \cos \theta_2 & M' \cos \theta_1 & M' \cos \theta_3 \\ M' \cos \theta_3 & M' \cos \theta_2 & M' \cos \theta_1 \end{bmatrix}, \\
 [M_{SR}] &= \begin{bmatrix} M' \cos \theta_1 & M' \cos \theta_2 & M' \cos \theta_3 \\ M' \cos \theta_3 & M' \cos \theta_1 & M' \cos \theta_2 \\ M' \cos \theta_2 & M' \cos \theta_3 & M' \cos \theta_1 \end{bmatrix}.
 \end{aligned} \tag{3.27}$$

unde:

$$\begin{aligned}
 L_S &= L_{SG} + L_{Sm}; \quad L_R = L_{RG} + L_{Rm}; \quad L_{SG} = L'_{SG} + \frac{3}{2} M'_{SG}; \\
 L_{RG} &= L'_{RG} + M'_{RG}; \quad L_{Sm} = \frac{3}{2} L'_{Sm}; \quad L_{Rm} = \frac{3}{2} L'_{Rm}; \\
 M'_S &= -M'_{SG} + L'_{Sm} \cos 120^\circ = -M'_{SG} - 0,5 L'_{Sm}; \\
 M'_R &= -M'_{RG} + L'_{Rm} \cos 240^\circ = -M'_{RG} - 0,5 L'_{Rm}; \\
 M &= \frac{3}{2} M'; \\
 \theta_2 &= \theta_1 + 240^\circ = \theta_1 - 120^\circ; \\
 \theta_3 &= \theta_1 + 120^\circ.
 \end{aligned} \tag{3.28}$$

Se observă că matricea $[M_{RS}]$ este transpusa matricii $[M_{SR}]$:

$$[M_{RS}] = [M_{SR}]^t, \tag{3.29}$$

în care s-a notat:

L_S, L_R - inductivitățile ciclice totale ale statorului respectiv rotorului; L_{SG}, L_{RG} - inductivitățile totale de scâpări ale statorului respectiv rotorului; L_{Sm}, L_{Rm} - inductivitățile ciclice mutuale proprii ale statorului și rotorului; L'_{SG}, L'_{RG} - inductivitățile proprii de scâpări ale unei faze a statorului sau roto-

rului; L'_{Sm} , L'_{Rm} - inductivități proprii mutuale ale unei faze a statorului sau rotorului; L_{aS} , L_{bS} , L_{cS} - inductivități proprii totale ale fazelor statorului; L_{aR} , L_{bR} , L_{cR} - inductivități proprii totale ale fazelor rotorului; M' - inductivitatea mutuală maximă dintre o fază a statorului și una a rotorului; M_{SG} , M_{RG} - inductivități mutuale de scăpări dintre două faze ale statorului sau ale rotorului; M_{RS} , M_{SR} - inductivități mutuale totale între înfășurarea statorului și cea a rotorului; M - inductivitate mutuală ciclică dintre stator și rotor;

Dacă se introduce (3.24) în (3.21), se obține:

$$[u] = [z][i], \quad (3.30)$$

unde $[z]$ este matricea de impedanță a motorului:

$$[z] = [R] + [X], \quad (3.31)$$

$[X]$ fiind matricea de reactanță a motorului.

Ecuația (3.21) trebuie completată cu ecuația de mișcare a rotorului

$$M_m - M_g = \frac{J}{p} \frac{d^2 \theta}{dt^2}, \quad (3.32)$$

în care: M_m - este cuplul mecanic de la arborele mașinii; M_g este cuplul electromagnetic; J - este momentul de inerție al maselor în mișcare, p - este numărul perechilor de poli.

Ecuațiile mașinii de forma (3.21) prezintă dezavantajul că inductivitățile care intervin în expresia fluxului (3.24) depind de timp prin intermediul unghiului θ_1 , deci sînt ecuații diferențiale cu coeficienți variabili. Pentru liniarizarea acestor ecuații se aplică transformarea Park, adică se face o schimbare de coordonate, de la mărimile de fază a_S , b_S , c_S , respectiv a_R , b_R , c_R la sistemul de componente d , q , o (figura 3.2).

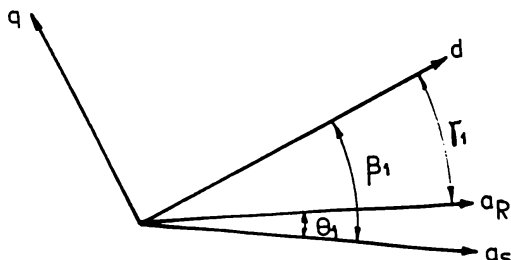


Fig.3.2. Caracterizarea sistemului de coordonate d, q față de sistemele de mărimi de fază

Trecerea de la sistemele inițiale de coordonate la noul sistem se va face prin intermediul matricei Park de conexiuni $[C]$:

$$[C] = \begin{bmatrix} [C_{aSd}] & 0 \\ 0 & [C_{aRd}] \end{bmatrix}, \quad (3.33)$$

în care:

$$[C_{aSd}] = \begin{bmatrix} \cos \beta_1 & -\sin \beta_1 & 1 \\ \cos \beta_2 & -\sin \beta_2 & 1 \\ \cos \beta_3 & -\sin \beta_3 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3.34)$$

$$[C_{aRd}^0] = \begin{bmatrix} \cos \gamma_1 & -\sin \gamma_1 & 1 \\ \cos \gamma_2 & -\sin \gamma_2 & 1 \\ \cos \gamma_3 & -\sin \gamma_3 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3.35)$$

unde: $\beta_2 = \beta_1 - 120^\circ$; $\beta_3 = \beta_1 + 120^\circ$; $\gamma_2 = \gamma_1 - 120^\circ$; $\gamma_3 = \gamma_1 + 120^\circ$.

(3.36)

Noile variabile $[y']$ se exprimă în funcție de variabilele inițiale $[y]$ prin relația:

$$[y] = [C][y'], \quad (3.37)$$

sau

$$[y'] = [C]^{-1} [y], \quad (3.38)$$

unde $[C]^{-1}$ este matricea inversă de conexiuni și se știe că

$$[C] \cdot [C]^{-1} = 1. \quad (3.39)$$

Deci ecuația (3.21) în noul sistem de coordonate devine:

$$[u'] = -[e'] + [R'] [i'] = [C]^{-1} \left\{ \frac{d}{dt} [C] + [C] \frac{d}{dt} \right\} [y'] + [R'] [i'], \quad (3.40)$$

unde:

$$[R'] = [C]^{-1} [R] [C], \quad (3.41)$$

$$[u'] = \begin{bmatrix} u_d \\ u_q \\ u_o \end{bmatrix}, \quad [\psi] = \begin{bmatrix} \psi_d \\ \psi_q \\ \psi_o \end{bmatrix}; \quad [i'] = \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_o \end{bmatrix}$$

Tensiunile de alimentare fiind simetrice, componentele homopolare u_o , ψ_o , i_o sînt egale cu zero, iar ecuația (3.32), este, /66/ :

$$M_{m-p} (\psi_q i_q - \psi_d i_d) = \frac{J}{p} \frac{d^2 \theta}{dt^2}. \quad (3.42)$$

În relația (3.40) matricea inversă de conexiune este:

$$[C]^{-1} = \begin{bmatrix} [C_{daS}] & \\ 0 & [C_{daR}] \end{bmatrix}^{-1} \quad (3.43)$$

unde:

$$[C_{daS}] = [C_{aSd}]^{-1} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\beta_1 & \cos\beta_2 & \cos\beta_3 \\ -\sin\beta_1 & -\sin\beta_2 & -\sin\beta_3 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \quad (3.44)$$

$$[C_{daR}] = [C_{aRd}]^{-1} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\gamma_1 & \cos\gamma_2 & \cos\gamma_3 \\ -\sin\gamma_1 & -\sin\gamma_2 & -\sin\gamma_3 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \quad (3.45)$$

Din (3.24) se obțin expresiile fluxurilor în sistemul de coordonate d,q,o :

$$[\Psi'] = [C]^{-1} [L] [C] [i'] = [L'] [i'] \quad (3.46)$$

unde $[L']$ este matricea inductanță a mașinii în sistemul d,q,o, echivalentă matricei $[L]$, (3.25)

$$[L'] = [C]^{-1} [L] [C] \quad (3.47)$$

Înlocuind expresiile (3.43), (3.45) și (3.33) în expresia (3.47) se obține:

$$[L'] = \begin{bmatrix} [C_{daS}] & 0 \\ 0 & [C_{daR}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [L_S] & [M_{RS}] \\ [M_{SR}] & [L_R] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [C_{aSd}] & 0 \\ 0 & [C_{aRd}] \end{bmatrix} \quad (3.48)$$

Deci:

$$[L'] = \begin{bmatrix} [C_{daS}] [L_S] [C_{aSd}] & [C_{daS}] [M_{RS}] [C_{aRd}] \\ [C_{daR}] [M_{SR}] [C_{aSd}] & [C_{daR}] [L_R] [C_{aRd}] \end{bmatrix} \quad (3.49)$$

După efectuarea produselor matriceale și ținând cont de relațiile (3.28), se obține:

$$[L'] = \begin{bmatrix} L_S & 0 & 0 & M & 0 & 0 \\ 0 & L_S & 0 & 0 & M & 0 \\ 0 & 0 & L_{So} & 0 & 0 & 0 \\ M & 0 & 0 & L_R & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 & 0 & L_R & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L_{Ro} \end{bmatrix} \quad (3.50)$$

Pentru analiza micilor perturbații, ecuațiile (3.40), (3.46) și (3.42) iau forma:

$$[\Delta U'] = [C]^{-1} \left\{ \frac{d}{dt} [C] + [C] \frac{d}{dt} \right\} [\Delta \Psi'] + [R'] [i'] \quad (3.51)$$

$$[\Delta \Psi'] = [L'] [\Delta i'] ,$$

$$\Delta M_{m-p} (\psi_q \Delta i_d + i_d \Delta \psi_q - \psi_d \Delta i_q - i_q \Delta \psi_d) = \frac{J}{p} \frac{d^2 \Delta \theta}{dt^2} ,$$

Puterea activă și reactivă la bornele mașinii, în unități relative în coordonate dq este , /169/, /218/

$$\begin{aligned} p &= u_d i_d + u_q i_q \\ q &= u_d i_q - u_q i_d \end{aligned} \quad (3.52)$$

unde ecuația tensiunii este

$$u^2 = u_d^2 + u_q^2 \quad (3.53)$$

dar în domeniul variațiilor mici, ecuațiile puterii devin:

$$\begin{aligned} \Delta p &= i_d \Delta u_d + i_q \Delta u_q + u_d \Delta i_d + u_q \Delta i_q , \\ \Delta q &= i_q \Delta u_d - i_d \Delta u_q - u_q \Delta i_d + u_d \Delta i_q , \end{aligned} \quad (3.54)$$

iar tensiunile

$$(u + \Delta u)^2 = (u_d + \Delta u_d)^2 + (u_q + \Delta u_q)^2 \quad (3.55)$$

și neglijind termenii de gradul doi

$$\Delta u = \frac{u_d}{u} \Delta u_d + \frac{u_q}{u} \Delta u_q \quad (3.56)$$

Față de un sistem de referință admis, vin în considerare unghiurile din figura 3.3.

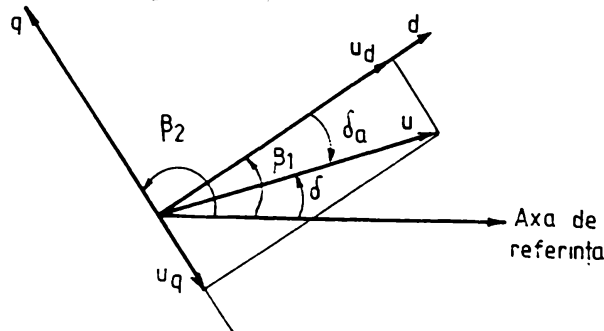


Fig.3.3.Referitoare la definirea poziției tensiunii față de o axă de referință

Deci:

$$\delta = \beta_2 - 90^\circ + \delta_a \quad (3.57)$$

$$\arctg \frac{u_q}{u_d} = \delta_a .$$

Liniarizînd, se obține:

$$\begin{aligned} \Delta \delta &= - \frac{u_d}{u^2} \Delta u_q + \\ &+ \frac{u_q}{u^2} \Delta u_d \end{aligned} \quad (3.58)$$

Relațiile (3.54), (3.56) și (3.58) pot fi scrise sub forma:

$$\begin{bmatrix} \Delta p \\ \Delta q \\ \Delta U \\ \Delta \delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_d & i_q & u_d & u_q \\ i_q & -i_d & -u_q & u_d \\ \frac{P}{U} & \frac{Q}{U} & 0 & 0 \\ -\frac{u}{U^2} & \frac{u}{U^2} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u_d \\ \Delta u_q \\ \Delta i_d \\ \Delta i_q \end{bmatrix} \quad (3.59)$$

care caracterizează funcționarea motorului asincron în regim staționar.

3.3.3. Reprezentarea sarcinilor pasive

Prin sarcini pasive se-au considerat consumatorii: iluminat, rezistivi, cuptoare electrice. Pornind de la expresiile caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune, prezentate în capitolul 2, forma lor liniarizată este:

- pentru iluminat:

$$\Delta P_{il} = 1,6 \frac{P_{il}}{U} \Delta U \quad ; \Delta Q_{il} = 0 \quad (3.60)$$

- pentru consumatori rezistivi, cuptoare electrice:

$$\begin{aligned} \Delta P_{cE} &= 2 \frac{P_{cE}}{U} \Delta U, \\ \Delta Q_{cE} &= 2 \frac{Q_{cE}}{U} \Delta U, \end{aligned} \quad (3.61)$$

care reprezentate matricial conduc la relațiile:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \\ \Delta U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_P \frac{P}{U} & K_P \frac{P}{U} \\ K_Q \frac{Q}{U} & K_Q \frac{Q}{U} \\ \frac{U_d}{U} & \frac{U_q}{U} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta U_d \\ \Delta U_q \end{bmatrix}, \quad (3.62)$$

unde $K_P = 1,6$ și $K_Q = 0$ în cazul consumatorilor iluminat și $K_P = 2$, $K_Q = 2$ în cazul consumatorilor rezistivi sau cuptoare electrice.

3.3.4. Reprezentarea consumatorului complex echivalent

Pentru reprezentarea consumatorului complex echivalent dintr-un SEE trebuie cunoscută ponderea fiecărui consumator din componența consumatorului complex, și se vor însuma ecuațiile

liniare ale fiecărui consumator:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \Delta P_{MeS} + \Delta P_{MS} + \Delta P_{Il} + \Delta P_{CaS} + \Delta P_{cE} + \Delta P_{Rd} + \Delta P_p, \quad (3.63) \\ \Delta Q &= \Delta Q_{MeS} + \Delta Q_{MS} + \Delta Q_{CaS} + \Delta Q_{cE} + \Delta Q_{Rd} + \Delta Q_p. \end{aligned}$$

în care P și Q reprezintă sarcina totală, adică puterea activă respectiv reactivă totală din SEE. Indicii din relațiile (3.63) au aceeași semnificație ca și indicii similari din capitolul 2.

Consumatorul canonic (v.cap.2) fiind de fapt un consumator complex, în acest capitol nu s-a explicitat scrierea sa matricială.

În general pentru un consumator complex avînd expresia caracteristicii statice putere funcție de tensiune de forma (2.97), forma liniarizată rezultă:

$$\begin{aligned} \Delta P &= (2k_{1P}U + k_{2P}) \Delta U, \\ \Delta Q &= (2k_{1Q}U + k_{2Q}) \Delta U. \end{aligned} \quad (3.64)$$

Considerînd pentru analiza comportării consumatorilor la mici perturbații, tensiunea prin componentele sale U_d, U_q , în sistemul de coordonate d,q, rel. (3.53) și (3.56), caracteristicile consumatorului complex pot fi exprimate prin relațiile matriciale:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \\ \Delta U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2k_{1P}U_d + k_{2P} \frac{U_d}{U} & 2k_{1P}U_q + k_{2P} \frac{U_q}{U} \\ 2k_{1Q}U_d + k_{2Q} \frac{U_d}{U} & 2k_{1Q}U_q + k_{2Q} \frac{U_q}{U} \\ \frac{U_d}{U} & \frac{U_q}{U} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta U_d \\ \Delta U_q \end{bmatrix} \quad (3.65)$$

din care prin particularizare se obțin relațiile ce caracterizează comportarea din punctul de vedere al caracteristicilor statice putere funcție de tensiune ale consumatorilor de orice tip. Spre exemplu, pentru sarcini cu caracteristici "normale", se obține:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \\ \Delta U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 2k_{1Q}U_d & 2k_{1Q}U_q \\ \frac{U_d}{U} & \frac{U_q}{U} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta U_d \\ \Delta U_q \end{bmatrix} \quad (3.66)$$

Acest mod de reprezentare a sarcinii se pretează la calcule pe calculatoare numerice.

3.4. Concluzii

În acest capitol s-a arătat posibilitatea unei reprezentări precise a consumatorilor pentru studii de stabilitate.

Desigur modelul matematic al motorului asincron este cunoscut din literatura de specialitate după cum a rezultat și din trimiterile bibliografice făcute în cadrul acestui capitol, contribuția autorului constând în generalizarea acestei scrieri și pentru consumatorul complex din SFF.

Un astfel de model matematic valabil în domeniul micilor perturbații conduce la o reprezentare mai fidelă a consumatorilor, dar în același timp la relații mai complexe care implică cunoașterea unui număr mare de parametri, un număr mai mare de variabile, de ecuații, ceea ce va implica un timp mai mare de calcul pe CN. Având în vedere aceste aspecte, în capitolul 5 s-a analizat influența reprezentării consumatorilor complecși echivalenți în studiile de stabilitate statică, rezultând situațiile în care este necesară o reprezentare precisă, implicit un calcul mai complex și respectiv când o reprezentare eventual mai simplificată nu influențează sensibil rezultatele studiului.

Capitolul 4

STABILIREA SI INTERPRETAREA CARACTERISTICILOR STATICE ALE CONSUMATORULUI COMPLEX ECHIVALENT PE BAZA DE IN- CERCARI IN UNELE STATII DIN S.E.E. NATIONAL

In vederea cunoașterii caracteristicilor statice de putere în funcție de tensiune pentru consumatorii complecși echivalenți recordați la sistemul energetic național, autorul prezentei lucrări a făcut, măsurători în sistem, în două etape: în perioada iulie-august 1972 și respectiv decembrie 1984-aprilie 1985, determinând experimental pentru câteva zone din SEN, curbele de variație $P, Q=f(U)$. O parte din rezultatele obținute sînt prezentate în lucrările autorului /119/, /120/, /121/, /122/, /162/, /163/ și vor fi redată în cele ce urmează (v.paragraful 4.1 și 4.4).

Rezultatele obținute au fost comparate cu caracteristicile statice de putere în funcție de tensiune determinate prin măsurători în sistemul energetic național, efectuate de către DSE în anul 1963, /160/ și de către ISPE în aprilie 1973, /86/.

Pentru comparație cu rezultatele obținute în alte țări, se folosesc caracteristicile prezentate concentrat în tabelul 1.4 respectiv valorile efectului reglant al sarcinii indicate în tabelul nr.1.5.

4.1. Metoda de măsurare folosită și rezultatele obținute

Măsurătorile s-au făcut pe barele de 10 și 20 kV ale stațiilor: Timișoara Sud-Est (Calea Buziașului), Timișoara Nord, Timișoara Est și Reșița, în etapa I, respectiv stațiile Bucovina, Dumbrăvița și Cetate în etapa a II-a, în perioade caracteristice: vîrf de dimineață, VD (orele 8,30 -9), ora de prînz, 11 (orele 11-12, VS (orele 20,30-21) și gol de noapte, GN (orele 3-3,30).

Reglajul tensiunii s-a făcut prin comutări de ploturi la transformatoarele din stație. Durata măsurărilor pentru trasarea unei caracteristici nedepășind circa 15...20 minute, se poate considera că în acest interval componenta sarcinii a

rămas aceeași. Pentru măsurători s-au folosit instrumente de măsură cu clasa de precizie 0,5.

S-au determinat 364 caracteristici, pentru diverși consumatori, după cum se poate vedea din tabelul nr.4.1.

TABELUL nr.4.1

Măsurători efectuate în SEN					
Data efectuării măsurătorii	Stația	Nr. al consumatorilor	Nr. de zile	ore VD, P, VS, GN	Total caracteristici
iulie-august 1972 (etapa I)	Timișoara SF	8	1	4	32
	Timișoara N	7	1	4	28
	Timișoara E	4	1	4	16
	Reșița	4	1	4	16
	TOTAL I	23	1	4	92
decembrie 1984-aprilie 1985 (etapa II)	Timișoara-Rucovina	4	5	4	80
	Timișoara-Dumbrăvița	3	6	4	72
	Timișoara Cetate	3	10	4	120
	Total etapa II	10	21	-	272
iulie-august 1972; dec.1984-apr.1985	Etapa(I + II)	33	-	-	364

Componenta consumatorului complex echivalent din diferite stații pentru care s-au trasat caracteristicile statice de putere funcție de tensiune, prezentate în figurile 4.1...4.8, se poate vedea din datele indicate în tabelul nr.4.2.

Pentru obținerea expresiei analitice a caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune s-a folosit metoda aproximării curbei trasate pe baza măsurătorilor printr-un polinom de gradul II /8/, aproximatie suficient de exactă pentru necesitățile de calcul /117/, /159/, /160/.

TABELUL nr.4.2

Componenta consumatorului complex echivalent din stații					
Tipul consumatorului	Stația	Timișoara Sud-Est %	Timișoara Nord %	Timișoara Est %	Reșița %
Industrial (I)		67,32	70,78	1,15	91,37
Carnic (C)		32,68	29,22	0	5,37
Agrar (A)		-		98,85	3,26

Metoda de calcul este dată în anexa A-2.

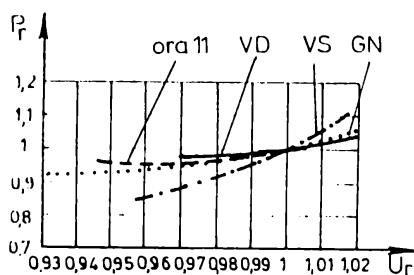


Fig.4.1. Caracteristici statice $P_r=f(U_r)$; Timișoara S-E

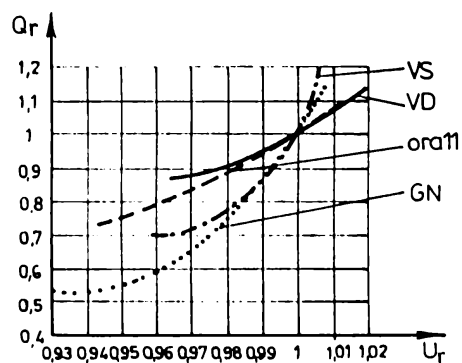


Fig.4.2. Caracteristici statice $Q_r=f(U_r)$; Timișoara S-E

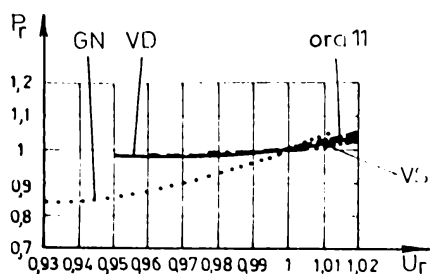


Fig.4.3. Caracteristici statice $P_r=f(U_r)$; Timișoara N

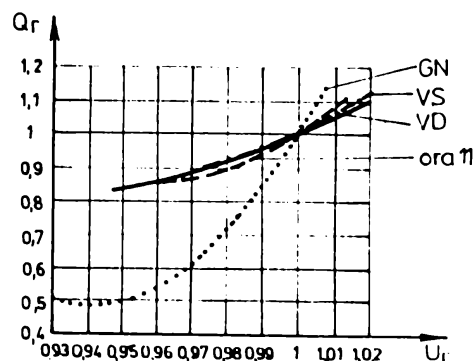


Fig.4.4. Caracteristici statice $Q_r=f(U_r)$; Timișoara N.

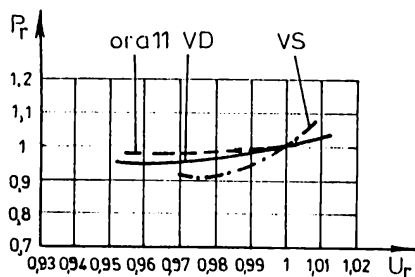


Fig.4.5. Caracteristici statice $P_r=f(U_r)$; Timișoara E

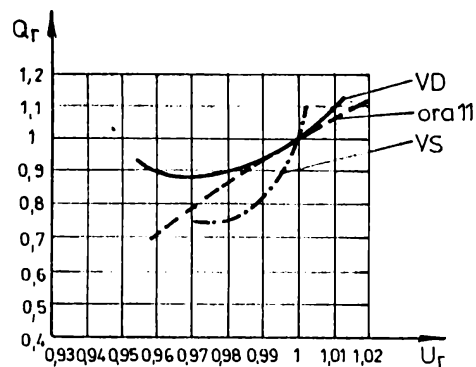


Fig.4.6. Caracteristici statice $Q_r=f(U_r)$; Timișoara E

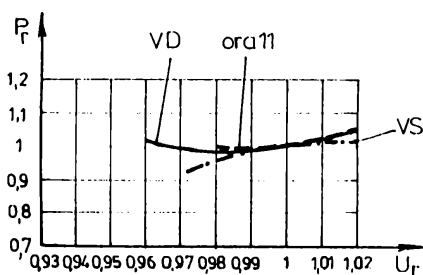


Fig.4.7. Caracteristici statice $P_r=f(U_r)$; Reșița

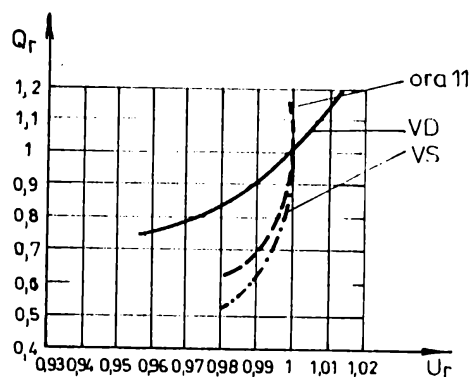


Fig.4.8. Caracteristici statice $Q_r=f(U_r)$; Reșița

Rezultatele calculelor au fost sistematizate în tabelul nr. 4.3, în care s-au prezentat expresiile caracteristicilor statice putere funcție de tensiune stît în u.r. cît și în % pentru o mai ușoară comparație cu rezultatele din literatura clasică.

TABELUL nr.4.3

Expresia analitică a caracteristicilor statice putere funcție de tensiune reprezentate în fig.4.1-4.8			
Nr. figurii	mărimea ora	Puterea și tensiunea exprimate în u.r.	Puterea și tensiunea exprimate în %
1	2	3	4
		a) $P_r=f(U_r)$	b) $P\% = f(U\%)$
1 (Tmș. SE)	VD	$P_r=10U_r^2-19,2U_r+10,198$	$P=0,1U^2-19,2U+1019,8$
	11	$P_r=10U_r^2-18,7U_r+9,698$	$P=0,1U^2-18,7U+969,8$

1	2	3	4
	VS	$P_r = 50U_r^2 - 96U_r + 47,01$	$P = 0,5U^2 - 96U + 4701$
	GN	$P_r = 20U_r^2 - 39,34U_r + 20,34$	$P = 0,2U^2 - 39,34U + 2034$
2 (Tms. N)	VD	$P_r = 20U_r^2 - 38,96U_r + 19,96$	$P = 0,2U^2 - 38,96U + 1996$
	ll	$P_r = 1,1U_r - 0,1$	$P = 1,1U - 10$
	VS	$P_r = 50U_r^2 - 99,64U_r + 50,637$	$P = 0,5U^2 - 99,64U + 5063,7$
	GN	$P_r = 25U_r^2 - 46,95U_r + 22,96$	$P = 0,25U^2 - 46,95U + 2296$
3 (Tms. E)	VD	$P_r = 10U_r^2 - 18,3U_r + 9,297$	$P = 0,1U^2 - 18,3U + 929,7$
	ll	$P_r = 40U_r^2 - 79,07U_r + 40,065$	$P = 0,4U^2 - 79,07U + 4006,5$
	VS	$P_r = 175U_r^2 - 347,5U_r + 173,5$	$P = 1,75U^2 - 347,5U + 173,5$
4 (Regi- ta)	VD	$P_r = 20U_r^2 - 38,6U_r + 19,596$	$P = 0,2U^2 - 38,6U + 19,596$
	ll	$P_r = 25U_r^2 - 49,25U_r + 25,245$	$P = 0,25U^2 - 49,25U + 2524,5$
	VS	$P_r = -25U_r^2 + 51,75U_r - 25,75$	$P = -0,25U^2 + 51,75U - 2575$
		c) $Q_r = f(U_r)$	d) $Q\% = f(U\%)$
5 (Tms. S-E)	VD	$Q_r = 90U_r^2 - 173,6U_r + 84,682$	$Q = 0,9U^2 - 173,6U + 8468,2$
	ll	$Q_r = 25U_r^2 - 43,9U_r + 19,9$	$Q = 0,25U^2 - 43,9U + 1990$
	VS	$Q_r = 345U_r^2 - 681U_r + 337,01$	$Q = 3,45U^2 - 681U + 33701$
	GN	$Q_r = 70U_r^2 - 128,3U_r + 59,30$	$Q = 0,7U^2 - 128,3U + 5930$
6 (Tms. N)	VD	$Q_r = 25U_r^2 - 45,6U_r + 21,598$	$Q = 0,25U^2 - 45,6U + 2159,8$
	ll	$Q_r = 50U_r^2 - 93,5U_r + 44,49$	$Q_r = 0,5U^2 - 93,5U + 4449$
	VS	$Q_r = 50U_r^2 - 94,5U_r + 45,59$	$Q = 0,5U^2 - 94,5U + 4550$
	GN	$Q_r = 145U_r^2 - 275,8U_r + 131,8$	$Q = 1,45U^2 - 275,8U + 13180$

TABELUL nr.4.3(continuare 2)

1	2	3	4
7 (Tmș.B)	VD	$Q_r = -25U_r^2 + 55,6U_r - 2960,5$	$Q = -0,25U^2 + 55,6U - 2960,5$
	11	$Q_r = -60U_r^2 + 127,06U_r - 64,402$	$Q = -0,6U^2 + 127,06U - 6440,2$
	VS	$Q_r = 586,915U_r^2 - 1165,6U_r + 579,59$	$Q = 5,8691U^2 - 1165,5U + 57959$
8 (Reșița)	VD	$Q_r = 162,73U_r^2 - 317,85U_r + 156,11$	$Q = 1,6273U^2 - 317,85U + 15611$
	11	$Q_r = 1157U_r^2 - 2301U_r + 1145$	$Q = 11,57U^2 - 2301U + 114500$
	VS	$Q_r = 1350U_r^2 - 2684,67U_r + 1335,68$	$Q = 13,5U^2 - 2684,67U + 133568$

Efectul reglant al sarcinii în funcție de tensiune pentru consumatorii considerați este dat în tabelul nr.4.4, calculele fiind făcute pentru variații mici ale tensiunii față de tensiunea nominală.

TABELUL nr.4.4

Stația		Efectul reglant al sarcinii în funcție de tensiune							
		mărimea $\Delta P_r / \Delta U_r$				$\Delta Q_r / \Delta U_r$			
ora		VD	11	VS	GN	VD	11	VS	GN
Timișoara S-E		0,8	1,3	4	0,66	6,4	6,1	9	11,7
Timișoara N		1,04	1,1	0,36	3,05	4,4	6,5	4,16	14,2
Timișoara E		1,7	0,93	2,5	-	5,6	7,06	8,33	-
Reșița		1,4	0,75	1,75	-	7,61	13	15,33	-

Pe lângă caracteristicile din tabelul nr. 4.3 trasate pentru consumatorul complex echivalent racordat la barele stației respective, s-au determinat prin măsurători și caracteristicile statice de putere în funcție de tensiune pentru consumatorii individuali indicați în tabelul nr.4.5, obținându-se efectul reglant indicat în tabelul nr.4.6. Pentru exemplificare, în figurile 4.9 - 4.16 s-au prezentat câteva din caracteristicile determinate și anume pentru consumatori diferiți: industrial (cablul C₁ stația

Timișoara S-E), mixt casnic și industrial (cablul C7 stația Timișoara SE), casnic (cablul C23 stația Timișoara N) și agrar (cablul C1 stația Timișoara E).

TABELUL nr.4.5

Componenta consumatorului complex de pe plecările din stație (măsurători etapa I)						
Stația	Pleca-rea	Consuma-tori	Industrial %	Casnic edili-tar %	Agrar %	Obs.
Timi-șoara S-E	C1		95	5	-	
	C3		45	55	-	
	C5		-	100	-	
	C7		50	50	-	
	C9		100	-	-	
	C11		10	90	-	
	C14		100	-	-	redre-sare
Timi-șoara N	C23		-	100		
	C26		100	-		
	C29		50	50		
	C31		100	-		compre-sona
	C32		100	-		
	C30		80	20		
Timi-șoara E	C1		-	-	100	
	C7		10	-	90	
	C9		-	-	100	
Reși-ța	Furnale		100	-		
	Bocșa		75	13,30	11,70	
	Ciudanovița		85,50	7,80	7	

Data fiind dispersie constatată la răspunsuri, s-a făcut determinarea mediilor statistice a abaterilor medii pătratice și a intervalelor de încredere în care se situează valorile, /8/, /37/, /38/, /181/ (vezi anexa A-3), rezultatele fiind date în tabelul nr.4.7.

TABELUL nr.4.6

Efectul reglant al sarcinii corespunzător caracteristicilor experimentale										
Stația	Plea- ca- rea	ora	$\Delta P_r / \Delta U_r$				$\Delta Q_r / \Delta U_r$			
			VD	11	VS	GN	VD	11	VS	GN
Timișoara Sud- Est	C ₁		1	0,4	2	0,2	9	9	8	0,5
	C3		3,5	2	2	2	-	-	10	-
	C5		2,5	2,8	1	5	-	-	-	-
	C7		1	2	0	2	6	6	5	46
	C9		0,5	1	1	0	-	2,5	-	-
	C11		1	3	0	7,5	-	-	-	-
	C14		4,5	0,5	6	0	-	4	-	6
Timișoara Nord	C23		1	2	2	5	2,5	4,5	7,5	5
	C26		0,5	0,2	3,5	6	3,5	8	6	10
	C29		2	2,5	2	0	7,5	6	-	10
	C31		0,1	0,5	0	0	2,5	7,5	3	3,5
	C32		1	1	1,5	8,5	6	5,5	-	-
	C30		3	2	2	1,7	24	1	16	-
Timișoara Est	C1		1,5	2	2,5	-	3	5	24	-
	C7		1,5	2,5	2,5	-	3,5	-	14	-
	C9		1	1,5	2,5	-	3,5	1	-	-
Reșița	Furnale		1	7	-	-	2	-	-	-
	Bocșa		0	0	0,7	-	2,5	5	2,2	-
	Cănda- novița		-5	5	0	-	2,5	11	-	-

TABELUL nr.4.7

Estimarea preciziei cu care s-a calculat efectul reglant al sarcinii								
Caracteristici determinate pentru bara de 10 kV Tms. SE și Tms.N	$\Delta P_r / \Delta U_r$				$\Delta Q_r / \Delta U_r$			
	ora VD	ora 11	ora VS	ora GN	ora VD	ora 11	ora VS	ora GN
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Răspunsul mediu	1,5627	1,4868	1,824	2,1073	7,18	6,66	7,628	11,878
Abateră medie patrică a răspuns.	1,2636	0,9078	1,6631	3,4698	6,278	2,551	3,885	13,501

TABELUL nr.4.7(continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Interva- lul de încredere pt.răspuns la o proba- bilit.de 50%	1,3424 ... 1,7829	1,3284 ... 1,6445	1,5341 ... 2,1139	1,5026 ... 2,7120	6,0857 ... 8,2742	6,2153 ... 7,1047	6,9517 ... 8,3060	9,524 ... 14,230

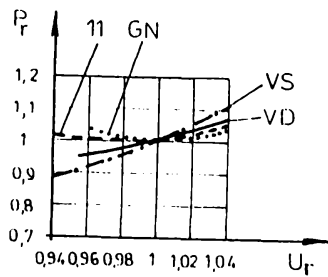


Fig. 4.9. Caracteristica statică $P_r = f(U_r)$. Timișoara S-E C_1

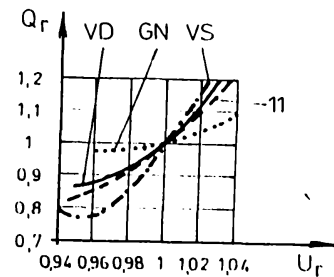


Fig. 4.10. Caracteristica statică $Q_r = f(U_r)$. Timișoara S-E C_1

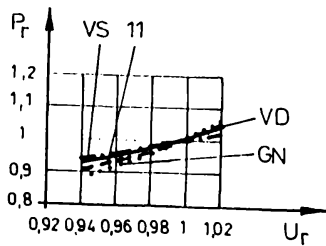


Fig. 4.11. Caracteristica statică $P_r = f(U_r)$. Timișoara S-E C_7

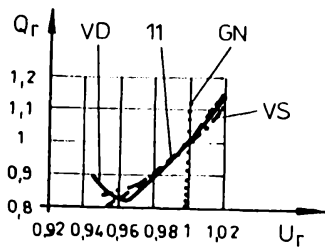


Fig. 4.12. Caracteristica statică $Q_r = f(U_r)$. Timișoara S-E C_7

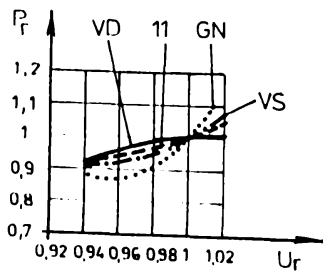


Fig. 4.13. Caracteristica statică $P_r = f(U_r)$. Timișoara N C_{23}

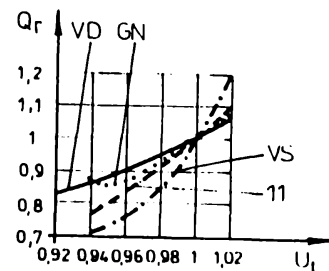


Fig. 4.14. Caracteristica statică $Q_r = f(U_r)$. Timișoara N C_{23}

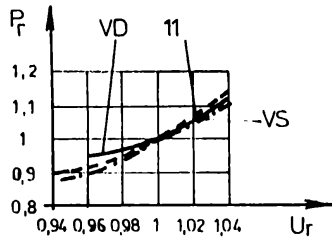


Fig. 4.15. Caracteristica statică
 $P_r = f(U_r)$. Timișoara E
 C7

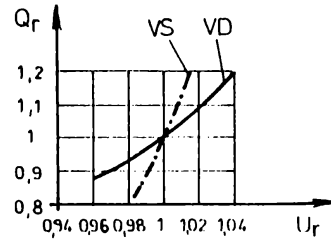


Fig. 4.16. Caracteristica statică
 $Q_r = f(U_r)$. Timișoara E
 C7

Observație: Valorile din tabelul nr.4.7 s-au calculat numai pentru bara de 10 kV unde au fost suficiente măsurători pentru calculele statistice (≥ 10), /8/, /38/. De precizat că și diferitele plecări de pe bare reprezintă un consumator complex echivalent, fiecare plecare asigurând alimentarea mai multor întreprinderi (consumatori industriali) sau asigurând consumul casnic și iluminatul străzilor (casnic, edilitar) etc.

4.2. Interpretarea rezultatelor obținute din măsurătorile efectuate în sistemul energetic național, etapa I-a

Efectul reglant al sarcinii în funcție de tensiune s-a considerat, în mod simplificat, prin rapoartele $\frac{\Delta P}{\Delta U}$ respectiv $\frac{\Delta Q}{\Delta U}$. Expresia riguroasă matematică a acestui efect este dată, /160/ de relația /4.1):

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dU} &= \frac{\partial P}{\partial U} + \frac{\partial P}{\partial f} \frac{df}{dU} , \\ \frac{dQ}{dU} &= \frac{\partial Q}{\partial U} + \frac{\partial Q}{\partial f} \frac{df}{dU} . \end{aligned} \quad (4.1)$$

S-a considerat însă că pentru scopul propus: estimarea caracteristicilor statice ale consumatorilor și influența acestora asupra stabilității sistemelor electroenergetice, frecvența putînd fi considerată constantă, simplificarea nu influențează rezultatele studiului și ca urmare nu s-ar justifica complicarea calculelor considerînd expresiile (4.1).

Domeniul de reglaj adoptat pentru tensiuni, a fost în jurul valorii nominale ($U_{\min} = 0,93 \dots 0,95$) U_n ; $U_{\max} = (1,02 \dots 1,04)U_n$, astfel încît prin măsurători să nu fie perturbată alimentarea consumatorilor.

De observat că și în literatura de specialitate, efectul

sarcinii se judecă pe baza rapoartelor $\frac{\Delta P}{\Delta U}$, $\frac{\Delta Q}{\Delta U}$. În acest sens, se prezintă în tabelul nr. 4.8 sintetizat valorile efectului reglant al sarcinii grupate pe categorii de consumatori pe baza măsurătorilor efectuate în etapa I-a.

Aceste rezultate sînt comparabile cu cele indicate în literatura de specialitate și prezentate sistematizat pentru o mai ușoară comparație în tabelul nr. 1.5.

Se remarcă faptul că în timp ce răspunsurile sarcinilor la variații ale tensiunii indicate în literatură, oscilau între (0,3... 3,3) pentru puteri active și între (1,2...4,0) pentru puteri

TABELUL nr.4.8

Efectul reglant al sarcinii în sistemul energetic al R.S.R.						
Măsurători			ora	U _n KV	Răspunsul sarcinii (în punctul nominal de funcționare)	
Data	Locul	Caracterul consumatorului			$\Delta P_r / \Delta U_r$	$\Delta Q_r / \Delta U_r$
1	2	3	4	5	6	7
Iulie 1972	Stația Timișoara S-E	mixt	VD	10	0,8	6,4
			VS		4	9
			GN		0,66	11,7
Iulie 1972	Stația Tms.N	mixt	VD	10	1,04	4,4
			VS		0,36	4,16
			GN		3,05	14,20
Iulie 1972	Stația Tms.E	rural	VD	20	1,7	5,6
			VS		2,5	8,33
August 1972	Stația Reșița	industrial	VD	35	1,4	7,61
			VS		1,75	15,33
Iulie 1972	Stațiile Timișoara S-E și N	industrial (plecările C1, C9, C14, C26, C31, C32)	VD	10	0,1...4,5	2,5... 9
			VS		0...6	3... 8
			GN		0...8,5	0,5...10
Iulie 1972	Stațiile Timișoara S-E și N	casnic edilitar (plecările C5, C11, C23)	VD	10	1...2,5	2,5
			VS		0...2	7,5
			GN		5...7,5	5

TABELUL nr.48(continuare)

1	2	3	4	5	6	7
iulie 1972	Stația Timișoara E	rural (plecările C1,C9)	$\frac{VD}{VS}$	20	1 ...1,5 2,5	3... 3,5 24
iulie 1972	Stația Reșița	industrial(plecările F,B, C)	$\frac{VD}{VS}$	35	0 ...5 0 ...0,7	2 ...2,5 2,2

reactive, în cazul măsurătorilor efectuate în cadrul lucrării de față s-au obținut răspunsuri între (0...8,5) pentru puteri active și (0,5...24) pentru puteri reactive.

Diferențele care intervin în privința limitelor atinse de răspunsurile sarcinii la variații ale tensiunii, obținute prin măsurători făcute de diverși autori se explică prin componența diferită a consumatorului complex echivalent. De aceea se observă că dacă se compară rezultatele obținute de autor și de către ISPE prin măsurători în stații electrice de transformare din sistemul energetic național, acestea sînt relativ apropiate. Astfel răspunsul sarcinii la variații de tensiune pentru consumatorul complex echivalent din stație obținute de autor sînt de (0,36...4) pentru puteri active și de (4,16 ... 15,33) pentru puteri reactive, în timp ce ISPE a obținut răspunsuri între (0,6 ... 1,81) pentru puteri active și (1,8 ... 11,44) pentru puteri reactive.

Din examinarea curbelor $P, Q = f(U)$ se poate constata efectul reglant mai puternic al puterii reactive în funcție de tensiune, în comparație cu cel al puterii active.

De observat că plecările cu sarcină casnică (C5, C11) au un răspuns procentual mare în comparație cu cele cu sarcină industrială (C1, C9, C31) care au un răspuns procentual mai scăzut.

Trebuie notat că efectul reglant al puterii active în timpul nopții este în general mai mare decât cel de dimineață. Pentru serviciile de dispecer prezintă interes în special răspunsurile puterii active ale sarcinii în timpul orelor de vîrf, în vederea asigurării unei repartiții optime a sarcinii.

Comparînd caracteristicile statice de putere în funcție de tensiune ale aceluiași consumator, la diferite ore, se observă că, în timp ce pentru vîrfurile de dimineață și pentru funcționarea cu încărcarea normală (ora 11) puterea activă poate fi conside-

rată aproximativ constantă , în raport cu variația tensiunii, pentru funcționarea în orele de gol de noapte sau chiar de vîrf de seară ” aproximația nu mai este neglijabilă, Această comportare se explică prin caracterul consumatorului complex echivalent care în timpul zilei este industrial (predomină motoare asincrone) în timp ce seara sau mai ales noaptea se simte puternic influența consumului de energie electrică pentru iluminatul electric.

În funcție de caracterul consumatorului industrial, casnic edilitar, mixt sau agrar, s-au obținut și caracteristici statice diferite. Cunoașterea consumatorului complex echivalent însă în modul indicat în tabelul nr.4.5 nu permite și realizarea unui model al acestuia, întrucît nu se dispune de date privind componența precisă (motoare-sarcină statică) a fiecărei plecări. De aceea cînd nu se pot determina experimental caracteristicile statice putere în funcție de tensiune pentru un anumit consumator complex echivalent, folosirea caracteristicilor obținute la un consumator de componență asemănătoare (industrial, casnic, etc) vor conduce numai la rezultate aproximative.

Deși modul de considerare a caracteristicii sarcinii reprezintă una din trăsăturile specifice diferitelor moduri de calcul a stabilității statice, există pînă în prezent puține verificări experimentale ale acestor caracteristici; chiar studiile existente sînt neconcludente pentru că se referă la cazuri particulare și nu au fost obținute în condițiile reale ale micilor oscilații din sistem. În această situație prezintă interes determinarea unei caracteristici statice mediană caracteristicilor statice determinate experimental.

4.3. Prelucrarea statistică a rezultatelor măsurărilor

4.3.1. Estimarea expresiei caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune ale consumatorilor complecși echivalenți pe baza caracteristicilor determinate experimental

În scopul determinării unei caracteristici statice medii a caracteristicilor statice determinate experimental pentru consumatori complecși echivalenți, s-a extins algoritmul celor mai mici pătrate la prelucrarea unui set de m caracteristici expe-

rimentale date fiecare prin câte n puncte de măsură (P,U) sau (Q,U) .

Pentru o mai mare maleabilitate a expresiei caracteristicii estimate aceasta a fost considerată atât pentru puterea activă cât și pentru cea reactivă sub forma unor polinoame cu trei termeni, de grad α , neîntreg:

$$\begin{aligned} P &= K_{1P} U^{\alpha_P} + K_{2P} U + K_{3P} \\ Q &= K_{1Q} U^{\alpha_Q} + K_{2Q} U + K_{3Q} \end{aligned} \quad (4.2)$$

4.3.1.1. Modelul matematic al metodei de estimare a caracteristicii statice de putere

Se consideră expresia analitică a caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune: $P_c = P(p,U)$ și $Q_c = Q(p',U)$ unde p și p' sînt vectorii parametrilor caracteristicilor și dispunînd de m caracteristici determinate experimental prin măsurători în n puncte, se poate scrie:

$$\begin{aligned} P_{t_{i,j}} &= P_{ij}(p, U_j) + \partial P_{i,j} \\ Q_{t_{i,j}} &= Q_{ij}(p', U_j) + \partial Q_{i,j} \end{aligned} \quad (4.3)$$

unde $P_{t_{i,j}}$ și $Q_{t_{i,j}}$ reprezintă puterile activă și respectiv reactivă măsurată la tensiunea U_j pe caracteristica i ; $i=1\dots m$; $j=1\dots n$;

$\partial P_{i,j}$; $\partial Q_{i,j}$ reprezintă erorile de măsurare pentru puterea activă și respectiv reactivă, la măsurarea j , pe caracteristica i .

Deoarece parametrii caracteristicilor P și Q sînt independenți, dezvoltările ulterioare se fac numai pentru caracteristica puterii active, concluziile fiind valabile și pentru caracteristica puterii reactive. Pentru determinarea parametrilor p , ai caracteristicii statice de putere se definește o funcție obiectiv, conform teoriei estimației cu metoda celor mai mici pătrate:

$$J = [\partial]^T [W] [\partial] \quad (4.4)$$

unde: $[\partial]$ - este matricea erorilor cu dimensiunea $(m \times n)$

$[W]$ - este matricea de ponderare cu dimensiuni $(m \times n)$

În cazul de față, prin explicitarea relației (4.4) rezultă:

$$J = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^m (P_{t_{i,j}} - \hat{P}(p, U_j))^2 \cdot w_{ii} \right) \quad (4.5)$$

unde: $\hat{P}(p, U_j)$ reprezintă puterea corespunzătoare unui punct j , de pe caracteristica estimată (medie)

w_{ii} - element din matricea de pondere W corespunzător caracteristicii experimentale i . Matricea $[W]$ s-a considerat că este

diagonală, avînd în vedere independența relativă a celor m caracteristici determinate.

Din condiția de minim a funcției de obiectiv, rezultă:

$$\sum_{j=1}^n \left[\sum_{i=1}^m P_{t_{i,j}} - m \hat{P}(p, U_j) w_i \right] \frac{\partial P}{\partial p} = 0 \quad (4.6)$$

Considerînd caracteristica estimată sub forma unui polinom cu trei termeni, de grad α și notînd cu a, b, c - componentele vectorului p , relația (4.6) reprezintă un sistem de patru ecuații cu patru necunoscute. Dificultățile de rezolvare a acestui sistem nelinier constatate ulterior, ca urmare a slabei condiționări a sistemului, a impus fie determinarea separată a exponentului α ca o valoare medie a exponenților optimi pentru fiecare caracteristică, calculați cu metodele din /31/, /93/, /99/, /184/, /191/, fie considerarea lui α de valori recomandate în literatură.

Pentru caracteristica estimată de forma: $P = a + bU + cU^2$.

Sistemul (4.6) poate fi explicitat astfel:

$$\begin{aligned} [L] [P_t] [L]^T - m \{ a + b [L] [U] + c [L] [U^\alpha] \} &= 0, \\ [L] [P_t] [U] - m \{ a [L] [U] + b [L] [U^2] + c [L] [U^{\alpha+1}] \} &= 0, \\ [L] [P_t] [U^\alpha] - m \{ a [L] [U^\alpha] + b [L] [U^{\alpha+1}] + c [L] [U^{2\alpha}] \} &= 0, \end{aligned}$$

unde: $[L]$ - este o matrice linie, cu dimensiunea $(m \times 1)$, cu toate elementele egale cu unitatea,

$[U], [U^\alpha], [U^{\alpha+1}]$ și $[U^{2\alpha}]$ reprezintă matricea coloanei cu dimensiune $(1 \times n)$, avînd ca elemente tensiunile în punctele de măsură la puterile 1, α , $\alpha+1$ și respectiv 2α .

În vederea simplificării scrierii și a întocmirii algoritmului de calcul s-au introdus notațiile (4.8):

$$P_t S_0 = P_{t_{11}} + P_{t_{21}} + \dots + P_{t_{m1}} + P_{t_{12}} + P_{t_{22}} + \dots + P_{t_{m2}} + \dots + P_{t_{n1}} + \dots + P_{t_{nm}},$$

$$P_t S_1 = (P_{t_{11}} + P_{t_{21}} + \dots + P_{t_{m1}}) U_1 + (P_{t_{12}} + P_{t_{22}} + \dots + P_{t_{m2}}) U_2 + \dots + (P_{t_{n1}} + \dots + P_{t_{nm}}) U_n,$$

$$P_t S_\alpha = (P_{t_{11}} + P_{t_{21}} + \dots + P_{t_{m1}}) U_1^\alpha + (P_{t_{12}} + P_{t_{22}} + \dots + P_{t_{m2}}) U_2^\alpha + \dots + (P_{t_{n1}} + \dots + P_{t_{nm}}) U_n^\alpha,$$

$$US_1 = \sum_{i=1}^n U_i; \quad US_2 = \sum_{i=1}^n U_i^2; \quad US_\alpha = \sum_{i=1}^n U_i^\alpha;$$

$$US_{\alpha+1} = \sum_{i=1}^n U_i^{\alpha+1},$$

$$US_{2\alpha} = \sum_{i=1}^n U_i^{2\alpha};$$

(4.8)

Cu aceste notații, sistemul de ecuații (4.7), după gruparea termenilor și simplificări, devine:

$$\begin{aligned} a+b \frac{SU_1}{n} + c \frac{SU_\alpha}{n} &= \frac{P_t S_0}{m+n} , \\ a+b \frac{SU_2}{SU_1} + c \frac{SU_{\alpha 1}}{SU_1} &= \frac{P_t S_1}{SU_1^m} , \\ a+b \frac{SU_{1\alpha}}{SU_\alpha} + c \frac{SU_{\alpha 2}}{SU_\alpha} &= \frac{P_t SU_\alpha}{mP_t \cdot U_\alpha} . \end{aligned} \quad (4.9)$$

4.3.1.2. Estimarea caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune

În vederea prelucrării unui volum mare de date obținute experimental privind caracteristicile statice de putere funcție de tensiune ale unor consumatori importanți din raza IRE Timișoara, s-a elaborat algoritmul de prelucrare, printr-o extindere a metodei celor mai mici pătrate. Implementat în cadrul unui program de calcul denumit convențional "CSPU" (CSPU- caracteristici statice de putere funcție de tensiune) a cărui ordinogramă de principiu este reprezentată în figura 4.17, algoritmul permite estimarea parametrilor unei caracteristici statice mediane pe baza unui set de caracteristici determinate experimental, precizînd totodată abaterea medie pătratică a fiecăreia față de expresia determinată.

Ca măsură a abaterii caracteristicii statice estimate față de caracteristicile determinate experimental se utilizează, abaterea medie patratcă, σ_k , definită pentru caracteristica K, astfel:

$$\sigma_k = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n [P_{t,k,i} - P(U_1)]^2} \quad (4.10)$$

Abaterea medie pătratică σ_k reprezintă totodată un indicator al fidelității caracteristicii statice estimate față de caracteristica k, pe baza acestui indicator apreciindu-se gradul de încredere al caracteristicii estimate față de o anumită caracteristică determinată experimental. Caracteristicile cu abateri medii pătratice mult superioare mediei, se impune a fi eliminate din setul de caracteristici estimate de expresia obținută, considerîndu-se pentru aceasta o altă expresie.

În anexa A-4 se prezintă programul de calcul pentru estima-

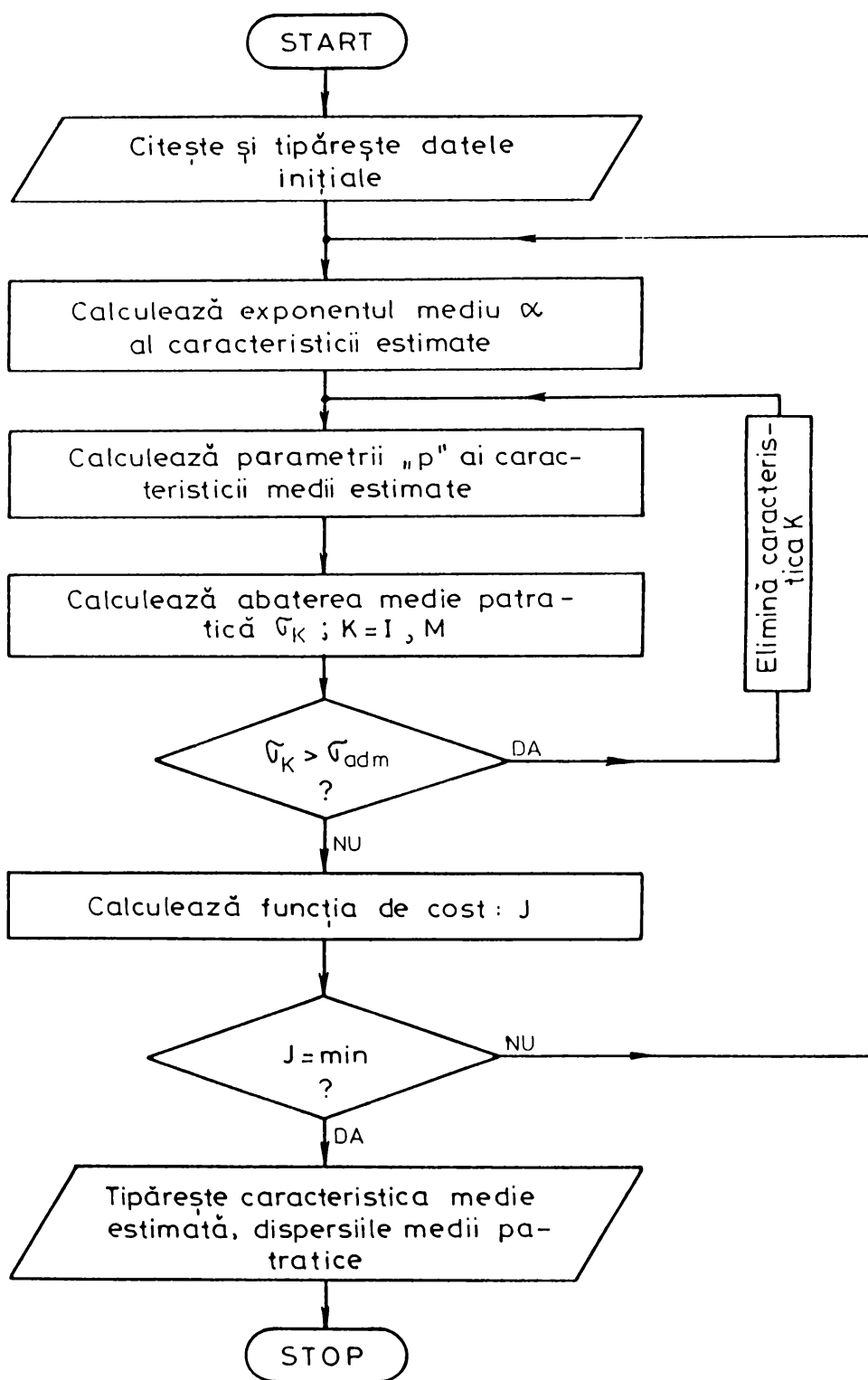


Fig.4.17. Ordinograma de principiu a programului „CSPU”

rea caracteristicilor statice de putere în funcție de tensiune, programul CSPU.

Utilizînd algoritmul propus, pentru prelucrarea unui set de caracteristici statice determinate experimental pentru același consumator (de exemplu: Timișoara S-E), avînd componenta indicată în tabelul 4.2), la diferite momente ale unei zile lucrătoare medii: vîrf de dimineață (VD), ora 11 (P), vîrf de seară (VS) și gol de noapte (GN), s-au obținut expresiile analitice ale caracteristicilor statice medii de putere activă și reactivă, considerînd matricea de pondere $[W]$ unitară, care conduc la abateri minime față de caracteristicile date ($J=\min$) :

$$\begin{aligned} P_r &= - 5,92 \cdot U_r^{1,5} + 10,07 U_r - 2,97 \\ Q_r &= - 15,57 U_r^2 + 35,385 U_r - 20,843 \end{aligned} \quad (4.11)$$

Dispersiile medii pătratice ale caracteristicilor estimate față de cele experimentale au valorile indicate în tabelul 4.9 (vezi anexa A-4).

TABELUL nr.4.9

Dispersiile medii pătratice ale caracteristicilor estimate față de cele experimentale			
Ora \ Caracteristica	P	Q	Obs.
VD	0,001633	0,012187	
P	0,001310	0,009874	
VS	0,003993	0,006024	
GN	0,001828	0,024289	

Valorile exponenților caracteristicilor identificate $\alpha_p=1,5$ și $\alpha_Q = 2$, ca și valorile efectelor reglante pentru tensiunea nominală ($U_n=1$), $\frac{\partial P}{\partial U} = 1,192$ și $\frac{\partial Q}{\partial U} = 4,244$, se încadrează în limitele precizate în literatura de specialitate.

Analizînd expresiile caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune obținute aplicînd algoritmul propus, pentru consumatorii luați în studiu în etapa I (vezi tabelul nr.4.1), se observă că deși în funcție de coeficientul α în expresiile analitice (4.2) ale caracteristicilor, există o mare dispersie a parametrilor $K_{1P} \dots K_{3Q}$, efectul reglant al sarcinii se păstrează

ză între anumite limite, specifice diferiților consumatori, așa cum rezultă spre exemplu din expresiile (4.12) și (4.13) obținute pentru caracteristica statică medie a caracteristicilor experimentale măsurate pentru consumatori 100% industrial : C9, C14, C26, C31, C32 (vezi tabelul nr.4.5) :

- pentru putere activă

$$\begin{aligned} P &= 122,31625U_r^{1,2} - 146,06599U_r + 24,73192; & \frac{dP}{dU_r} &= 0,7135, \\ P &= 39,36353U_r^{1,5} - 58,33312U_r + 19,95174; & \frac{dP}{dU_r} &= 0,71222, \quad (4.12) \\ P &= 22,59903U_r^{1,75} - 38,83726U_r + 17,22033; & \frac{dP}{dU_r} &= 0,711, \\ P &= 14,89973U_r^2 - 29,08955U_r + 15,17188; & \frac{dP}{dU_r} &= 0,7099, \end{aligned}$$

- pentru putere reactivă

$$\begin{aligned} Q &= -99,21315U_r^{1,5} + 151,04279U_r - 50,68539; & \frac{dQ}{dU_r} &= 2,2251, \\ Q &= -56,4800U_r^{1,75} + 101,06601U_r - 43,54182; & \frac{dQ}{dU_r} &= 2,2260, \quad (4.13) \\ Q &= -36,92481U_r^2 + 76,07846U_r - 38,0095; & \frac{dQ}{dU_r} &= 2,2268, \\ Q &= -19,5432U_r^{2,8} + 51,09262U_r - 30,40546; & \frac{dQ}{dU_r} &= 2,2346. \end{aligned}$$

4.3.2. Efectul de reglaj al puterii funcție de tensiune al consumatorului complex echivalent determinat pe baza caracteristicilor statice experimentale

În tabelul 4.10 sînt indicate valorile efectului reglent $\frac{dP}{dU}$ și $\frac{dQ}{dU}$ pentru tensiunea nominală U_n luînd în considerare caracteristicile statice medii.

Urmărind datele prezentate în tabelul nr.4.10, se observă că, în general, există o dispersie a valorilor efectului reglent al sarcinii, acesta fiind influențat sensibil de caracterul general al consumatorului. De asemenea există o anumită dispersie a caracteristicilor obținute chiar și pentru același tip de consumator considerat la ore diferite sau în zile diferite, situație justificată prin modificarea permanentă a structurii sale. În cazul consumatorului industrial se constată un efect reglent al puterii active mai accentuat la VS și GN față de VD ca urmare a creșterii ponderii consumului pentru iluminat și consumatori rezistivi. În cazul consumatorului agrar, efectul reglent al puterii active cît și al puterii reactive variază relativ puțin în funcție de oră, indicînd o constanță mai mare a componen-

TABELUL nr.4.10

Efectul reglant al sarcinii, considerînd caracteristici statice medii							
Ora	Tipul consumator. R _p , R _q	100%I (*)	100%C (*)	100% A (*)	Valori medii (**)		
					100%I	100%C	100%A
1	2	3	4	5	6	7	8
VD	$\frac{dP}{dU}$	0,7099 ... 0,7135	1,4913 ... 1,4933	1,7752 ... 1,7798	4,1162 ... 4,1324	3,9684 ... 3,9821	3,3096...3,31
	$\frac{dQ}{dU}$	2,2250 ... 2,2345	- ... -	4,6358 ... 4,6456			
11	$\frac{dP}{dU}$	0,684 ... 0,6859	1,7721 ... 1,7753	2,1744 ... 2,1817	$\frac{dQ}{dU} = 1,672;$	$\frac{dQ}{dU} = 3,9684$	$\frac{dQ}{dU} = 3,3096$
	$\frac{dQ}{dU}$	5,74934 ... 5,7522	3,0718 ... 3,082	- ... -			
VS	$\frac{dP}{dU}$	1,5038 ... 1,5048	1,0777 ... 1,0784	2,4006 ... 2,4007	1,6693 ...	1,4179...1,4193;	2,0289;
	$\frac{dQ}{dU}$	1,9584 ... 1,9803	6,5298 ... 6,5359	4,6078 ... 4,6151			
GN	$\frac{dP}{dU}$	2,1449 ... 2,1480	0,7149 ... 0,7152	- ... -	$\frac{dP}{dU} = 1,6693$	$\frac{dP}{dU} = 1,4179$	$\frac{dP}{dU} = 2,0256$
	$\frac{dQ}{dU}$	- ... -	5,8934 ... 5,9319	- ... -			

*) Caracteristicile statice au fost calculate cu programul CSPU din caracteristici statice experimentale obținute prin măsurători la diferite paliere de consum.

***) Valorile medii pentru efectul reglant al sarcinii s-au calculat pentru o caracteristică statică a sarcinii medie, obținută din datele experimentale măsurate la diferite ore: VD, 11, VS, GN.

tei acestui tip de consumator.

Avînd în vedere diversitatea de valori ale efectului reglant al sarcinii active și reactive dependent de ora din zi la care se fac determinările, s-a calculat efectul reglant al sarcinii pentru o caracteristică statică medie, obținută din măsurători

efectuate la ore caracteristice (vezi coloanele 6, 7, 8 din tabelul nr.4.10).

Considerându-se utilă cunoașterea unor caracteristici statice medii corespunzătoare orelor caracteristice (VD, P, VS și GN) s-a aplicat algoritmul propus pentru prelucrarea rezultatelor măsurătorilor efectuate în etapa II-a (vezi tabelul nr.4.11).

4.4. Caracteristicile statice medii de putere funcție de tensiune ale consumatorilor complecși echivalenți dintr-un sistem electroenergetic

4.4.1. Caracteristici statice medii și efectul reglant al puterii, obținute din măsurători, etapa II-a

Necesitatea măsurătorilor efectuate în etapa a II-a a rezultat în urma prelucrării rezultatelor măsurătorilor din prima etapă. Marea dispersie a rezultatelor a condus la ideea estimării unor caracteristici statice de putere în funcție de tensiuni medii pentru orele caracteristice (VD, P, VS, GN) obținute pe baza măsurătorilor efectuate la aceste ore în mai multe zile pentru același consumator. În tabelul nr. 4.11 se indică componența consumatorilor complecși pentru care s-au făcut măsurătorile în etapa a II-a.

TABELUL nr.4.11

Componenta consumatorului complex de pe plecările din stație (măsurători etapa II)			
Stația	Recordul	Tipul consumatorului	Obs.
1	2	3	4
Bucovins	Trafo. stație	casnic	
	Mehala	casnic	
	LES 1	casnic	
	Agronomie	casnic. edilitar	
Dumbrăvița	Trafo. stație	30%I; 30%C; 40%E	I - industrial -15% industrie textilă -10% industria cărnii - 5% construcții mașini

TABELUL nr.4.11(continuare)

1	2	3	4
			C-casnic, inclusiv iluminat stradal R-edilitar(mixt) casnic și mici ateliere
	C42	I-industrie textilă	
	C46	I-industrie textilă	
Ceta- te	Trafo stație	80%I +5 il.+15%R	I-industrie construc- ții de mașini il-iluminat R-edilitar
	C9	I-ind.constr.de mașini	
	c10	I-ind.constr.de mașini	

Pe baza celor 272 caracteristici determinate experimental, expresiile analitice ale caracteristicilor statice medii au fost estimate prin metoda de prelucrare statistică și identificare prezentată în subcapitolul 4.3.1, sub forma (4.2), folosind programul de calcul "CSPU".

În tabelele nr. 4.12 se indică pentru diverși consumatori valorile coeficienților $K_{1P}, K_{2P}, \dots, K_{3Q}$, a exponenților α_P, α_Q și efectul reglant $R_P = \frac{dP}{dU}$; $R_Q = \frac{dQ}{dU}$, pentru caracteristici statice medii la diferite ore din zi (GN, VD, 11, VS) cât și o caracteristică medie zilnică obținută din media măsurătorilor la toate orele considerate (GN, VD, 11, VS) utilizând rezultatele măsurătorilor din aceleași zile ca și pentru caracteristicile medii orare. În tabele se mai indică și abaterii medii pătratice J a curbei medii calculate față de cele măsurate.

S-a considerat pentru caracteristica medie exponentul α_{optim} , înțelegându-se prin α_{optim} acel grad al polinomului ce exprimă caracteristica statică medie care determină abateri medii pătratice minime față de caracteristica măsurată.

TABELUL nr.4.12.a

Caracteristicile statice medii $P_r=f(U_r)$ pentru consumatorul complex echivalent estimate pe baza rezultatelor măsurătorilor							
Consumatorul	ora	α_p	Caracteristica $P_r=f(U_r)$			R_p	J_p
			K_{1P}	K_{2P}	K_{3P}		
1	2	3	4	5	6	7	8
Total Stația Dumbrăvița, T _D	GN	1,1	-388,97164	425,58379	-35,85559	-2,285012	0,134663
	VD	1,1	-139,27822	151,23077	-11,17142	-1,953266	0,114286
	VS	4	-3,20249	10,89237	-6,89029	-1,91759	0,11356
	zil-nic	1,1	-548,58177	602,29956	-52,79287	-1,14031	0,058607
Total stația Cetate, T _C	VD	4	-0,96638	4,00923	-2,15527	0,143708	0,066404
	II	4	-0,70191	3,0443	-1,45131	0,236674	0,066214
	VS	4	1,7232	-6,2077	5,39714	0,685087	0,057077
	zil-nic	1,1	-210,12416	230,85335	-19,75844	0,283227	0,027304
Total stația Bucovina, T _B	GN	4	0,67542	-1,45067	1,52312	1,251003	0,122427
	VD	4	0,11745	1,84811	-0,97721	1,378306	0,122813
	II	4	-0,23006	2,40094	1,36925	1,480704	0,104568
	VS	4	1,29689	-4,38699	3,94737	0,800557	0,079495
	zil-nic	4	0,59763	-1,00673	1,35112	1,383803	0,036584
Industrial, C42 (ind. textilă)	GN	1,1	354,76746	-392,15783	38,15224	-1,913624	0,137184
	II	1,1	-289,82767	317,11133	-26,45411	-1,699103	0,098464
	VS	4	2,86983	-13,22647	11,1586	-1,747155	0,11645
	zil-nic	1,1	6,61569	-9,12201	3,45071	-1,84475	0,043061
Industrial, C46 (ind. textilă)	GN	4	4,28979	-16,84429	13,30799	0,314885	0,135012
	VD	4	2,41695	-9,98134	8,30112	-0,313534	0,132111
	P	1,1	-142,5385	156,80973	-13,47743	0,017386	0,11366
	VS	4	-1,54355	5,88101	-3,54103	-0,293179	0,113459
	zil-nic	1,1	88,72132	-97,67017	9,88539	-0,086628	0,048652
Industrial, C9	GN	1,1	-26,41988	29,4136	2,07241	0,351736	0,058527
	VD	4	-1,6501	6,5335	4,01891	-0,066875	0,07354
	II	1,1	33,11007	-36,54671	4,33035	-0,125634	0,068827
	zil-nic	1,1	-78,83846	87,08938	-7,26669	0,361679	0,027857
Industrial, C10	GN	4	-0,94867	3,71367	-1,86669	-0,081006	0,060288
	II	4	-0,16122	0,18383	0,84983	-0,461042	0,074051
	VS	4	-1,90241	7,66637	4,88143	0,066729	0,061222
	zil-nic	4	-1,32733	4,95546	-2,65992	-0,35385	0,023006
Total, Timișoara	GN	1,1	-386,4996	424,8414	-37,3704	-0,30814	0,044329
	VD	1,1	98,5275	-107,9725	10,41096	0,407819	0,034117
	II	1,1	-8,9649	10,3285	-0,40135	0,467094	0,038765
	VS	4	0,07174	-0,16522	1,05461	0,121722	0,040598
	zil-nic	1,1	-76,8976	84,7679	-6,8672	0,18054	0,01858

TABELUL nr.4.12.b

Caracteristicile statice medii $Q_r=f(U_r)$ pentru consumatorul complex echivalent estimate pe baza rezultatelor experimentale							
Consumatorul	Ora	Caracteristica $Q_r=f(U_r)$				R_Q	J_Q
		α_Q	K_{1Q}	K_{2Q}	K_{3Q}		
1	2	3	4	5	6	7	8
Total stația Dumbrăvița, T _D	GN	1,1	2543,20454	-2788,2406	245,7853	9,284366	0,145042
	VD	1,1	405,48033	-440,30242	35,64002	5,725936	0,121028
	II	1,1	416,9698	-450,0889	33,9045	8,577944	0,128951
	VS	1,1	1142,92719	-1251,6005	109,4837	5,619372	0,136942
	zil-nic	1,1	1200,9808	-1312,53	112,4818	8,548929	0,073631
Total stația Cetate, T _C	GN	1,1	534,64287	-584,6833	50,89104	3,423802	0,07551
	VD	1,1	182,20678	-196,73535	15,41886	3,692101	0,064946
	II	1,1	262,37388	-284,83323	23,35158	3,778042	0,071843
	VS	1,2	207,7652	-244,8394	37,99089	4,47883	0,058286
	zil-nic	1,1	398,02071	-433,6354	36,57671	4,187358	0,032062
Total stația Bucovina, T _B	GN	4	1,26624	0,23236	-0,74074	5,29731	0,138448
	VD	1,3	170,1904	-217,8836	48,44618	2,363888	0,134753
	II	4	4,64053	-13,87322	10,03922	4,68889	0,118364
	VS	1,1	18,69714	-16,58622	-1,23939	3,980631	0,10692
	zil-nic	1,3	95,9689	-119,70196	24,68449	5,057608	0,056251
Industrial, C42	GN	4	-4,7796	21,203	-15,766	2,084582	0,153573
	VS	1,1	-44,9404	57,1226	-11,39	7,68815	0,12034
	zil-nic	4	-0,30602	4,60994	3,37254	3,385816	0,064146
Industrial, C9	GN	1,1	-1050,9	1158,9	107,425	3,01	0,1375
	VD	4	4,535	-8,309	4,65	9,83	0,1165
	VS	4	1,44728	10,48161	-11,2492	16,2707	0,155748
	zil-nic	4	2,6561	1,11508	-2,8355	11,7395	0,115436
Industrial, C10	GN	4	-2,40408	21,22665	-18,1237	11,61033	0,114851
	II	4	-4,10106	23,1907	-18,27	6,78646	0,106709
	zil-nic	4	-1,14485	13,78638	-11,815	3,206976	0,108803
Total Timișoara	GN	1,1	30,198	-26,86	-2,376	6,3573	0,06862
	VD	4	6,21293	-21,5516	16,305	3,300160	0,04865
	II	1,3	235,1945	-301,73	67,4922	4,022826	0,062011
	VS	1,1	324,275	-350,46	27,153	6,24255	0,042968
	zil-nic	1,1	309,153	-335,006	26,857	5,0625	0,036532

In tabelul nr.4.13 se indică efectul reglant pentru alți consumatori complecși echivalenți, calculat printr-o medie ponderată din efectul reglant al consumatorilor se intră în componență.

TABELUL nr.4.13

Efectul reglant al unor consumatori complecși echivalenți			
Consumatorul	ora	Efectul reglant	
		R_P	R_Q
$T_D + T_C$	GN	-	5,9307709
	VD	-0,7423369	4,5621125
	VS	-0,414635	4,9667182
	zilnic	-0,6453707	6,0531032
$T_D + T_C + T_B$	GN	-	5,8999973
	VD	-0,6249642	4,5039029
	VS	-0,3473803	4,918814
	zilnic	-0,533058	6,0047421

4.4.2. Analize rezultatelor obținute

Analizând rezultatele obținute prin măsurători, se observă că alura caracteristicilor statice de putere în funcție de tensiune, figura 4.18, este influențată atât de caracterul consumatorului propriu-zis cât și de parametrii rețelei electrice de alimentare a acestuia /86/, /121/.

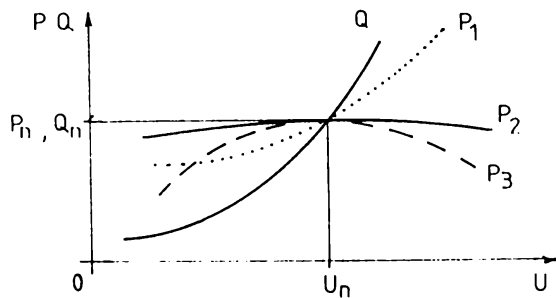


Fig.4.18. Tipuri de caracteristici statice de putere funcție de tensiune

Valorile efectului de reglaj al puterii active determinate experimental pentru consumatorii de tip industrial (tabelul nr.4.12.a) sînt în general fie foarte apropiate de zero, de forma P_2 din figura 4.18, fie chiar negative, forma P_3 , figura 4.18, ceea ce indică ponderea consumului în motoare electrice asincrone și sincrone.

Valorile negative ale efectului reglant, vezi tabelul nr.4.12.a se explică prin influența reducerii pierderii de putere activă în rețeaua electrică de alimentare la creșterea tensiunii,

admitând consumatorii prooriziiși (motoare electrice) ca fiind de tip casnic și puterea constantă.

Se observă că în general nu sînt variații mari ale efectului de reglaj al puterii active în funcție de tensiune pentru un anumit consumator la diferitele (de la $-2,285$ la $-1,918$ pentru consumatorul complex echivalent total Dumbrăvița, sau de la $0,144$ la $0,685$ pentru consumatorul complex echivalent Cetate), concluzii similare fiind prezentate și în /121/.

Valorile efectului de reglaj al puterii active pentru consumatorul de tip casnic, cuprinse în gama $0,8-1,48$ în funcție de ordinea efectuării înregistrării (tabelul nr. 4.12.a), indică prezența în componența acestui tip de consumator pe lângă consumatorii statici (rezistivi, iluminat) și a unui număr relativ mare de motoare electrice de antrenare a aparatelor de uz casnic.

Valorile efectului de reglaj al puterii reactive determinate experimental pentru consumatorii de tip industrial au rezultat întotdeauna pozitive, curba Q din figura 4.18, și în general mai mari decît în cazul puterii active. Limitele de variație sînt (tabelul nr. 4.12.b): $3,364$ și $9,284$ depinzînd de structura consumatorului complex echivalent și în special de gradul de compensare al puterii reactive. Pentru consumatorul industrial puternic compensat, cazul consumatorului complex echivalent Cetate, valoarea efectului de reglaj a rezultat mult mai mică față de cea a consumatorului similar, consumatorul complex Dumbrăvița.

Expresiile analitice ale caracteristicilor statice de putere în funcție de tensiune, de tipul (4.2) au condus la valori ale parametrilor foarte dispersate (tabelul nr. 4.12.a și 4.12.b) chiar pentru același consumator considerat la diverse ore din zi, această formă de exprimare nefiind concludentă, neavînd o valabilitate generală. Rezultă deci dificultatea introducerii și utilizării expresiilor (4.2) în calcule.

Totodată se constată (tabelul nr. 4.12) că efectul de reglaj al puterii în funcție de tensiune prezintă variații relativ mici pentru un anumit tip de consumator, putînd fi considerat în consecință ca o mărime caracteristică a acestuia. O expresie analitică a caracteristicii statice de putere în funcție de tensiune bazată pe această mărime ar putea caracteriza mai intuitiv comportarea consumatorului în regimuri staționare. Avînd în vedere

că în regimurile staționare variațiile de tensiune și putere sînt relativ mici, este posibilă liniarizarea caracteristicii de putere a consumatorului în jurul punctului de funcționare staționară (vezi subcapitolul 2.5), justificîndu-se expresiile scrise în capitolul 2, expresii care redau mult mai fidel comportarea reală a consumatorului, decît reprezentările simplificate (tabelul nr.1.3).

Pentru exemplificare, în tabelul nr.4.14 se dau valorile puterilor active și reactive calculate, considerînd caracteristica statică neliniară (4.2) și caracteristici statice liniarizate (2.106) și (2.107), respectiv consumator de tip putere, curent sau impedanță constantă sau caracteristici statice "normale", (tabelul nr.1.3), pentru variația tensiunii în jurul valorii nominale, cît și eroarea ϵ comisă prin folosirea acestora în raport cu expresia neliniară estimată din măsurători:

$$\epsilon_p = \frac{P_{Nl} - P_x}{P_{Nl}} 100\% \quad (4.14)$$

unde P_x este puterea P_l calculată cu relațiile de liniarizare (2.106), (2.107), sau puterea $P_{P=K}$, $P_{I=K}$, $P_{Z=K}$, $P_{P=N}$ calculată cu relațiile din tabelul nr. 1.3, iar P_{Nl} este puterea calculată cu relația (4.2). Relație similară se obține și pentru erorile în calculul puterii reactive. S-a considerat pentru exemplificare consumatorul complex echivalent total din stația Cetate (tabelul nr. 4.12.a) pentru curba medie zilnică.

TABELUL nr.4.14

		Rezultate comparative				
P_r, Q_r u.r.		U_r u.r.	0,95	1	1,05	ϵ_1 % ; $\frac{\epsilon_{0,95}}{\epsilon_{1,05}}$ %
putere activă, P u.r.	P_{Nl}		0,956166	0,97075	0,92812025	0 ; $\frac{0}{0}$
	P_l		1,01416	1	0,98583865	3,013 ; $\frac{-6,065}{-6,219}$
	$P_{P=K}$		1	1	1	-3,013 ; $\frac{-4,58}{-7,745}$
	$P_{Z=K}$		0,9025	1	1,1025	-3,013 ; $\frac{5,613}{-18,789}$
	$P_{P=N}$		1	1	1	-3,013 ; $\frac{-4,58}{-7,745}$
	$P_{I=K}$		0,95	1	1,05	-3,013 ; $\frac{0,645}{-13,13}$
	Q_{Nl}		0,80821	0,962	1,2253	0 ; $\frac{0}{0}$

TABELUL nr.4.14 (continuare)

	1	2	3	4	5
putere reactivă Q u.r.	Q_l	0,7906321	1	1,2093679	3,95; $\frac{2,175}{1,300}$
	$Q_{Q=K}$	1	1	1	3,95; $\frac{23,73}{18,93}$
	$Q_{Z=K}$	0,9025	1	1,1025	3,95; $\frac{11,6667}{10,02}$
	$Q_{I=K}$	0,95	1	1,05	3,95; $\frac{17,54}{14,31}$
	$Q_{Q=M}$	0,9025	1	1,1025	3,95; $\frac{11,666}{10,02}$

4.5. Concluzii

Metoda propusă pentru estimarea caracteristicilor medii de putere activă și reactivă funcție de tensiune ale consumatorilor complecși echivalenți pe baza caracteristicilor determinate experimental, permite obținerea expresiei analitice, pentru aceste caracteristici, utilă pentru calcule de analiză a regimurilor staționare ale sistemelor electroenergetice.

Algoritmul prezentat permite prelucrarea unui mare număr de caracteristici experimentale identificând gradul și coeficienții expresiei analitice a caracteristicilor statice medii de putere funcție de tensiune recomandată a fi considerată în calcule.

Utilizând metode directe pentru rezolvarea sistemelor de ecuații ce intervin în procesul de estimare, timpul de calculator necesar este minim (de exemplu pentru calculul caracteristicilor prezentate în relațiile (4.11) timpul de calcul în programul CSPU a fost 9s respectiv 11 s).

Expresiile analitice ale caracteristicilor statice de putere în funcție de tensiune obținute se află în concordanță cu unele rezultate din literatura de specialitate, dar, în general, aceste date fiind specifice fiecărui consumator complex echivalent, se consideră necesare ridicării periodice de astfel de caracteristici.

În acest capitol se prezintă rezultatele unui mare număr de măsurători efectuate în câteva stații de transformare de înaltă/medie tensiune din sistemul energetic național, în vederea stabilirii caracteristicilor statice de putere în funcție de tensiune.

Cunoscând structura generală a consumatorului complex e-

chivalent , datele prezentate în tabelele nr. 4.10 , 4.12 și 4.13 permit aprecierea efectului reglant R al acestuia cu relații de forma:

$$R = p_A R_A + p_I R_I + p_C R_C + p_E R_E \quad (4.15)$$

în care p_i reprezintă ponderea din consumul total al consumatorului de tip i , R_i - reprezintă efectul reglant al acestuia, iar i poate fi: A-agrar, I-industrial, C-casnic, respectiv E-ediliter.

Valorile măsurate au fost prelucrate statistic, iar rezultatele calculului au fost sistematizate și comentate, evidențiindu-se influența structurii consumatorului complex asupra comportării acestuia în regim staționar.

Caracteristicile statice de putere în funcție de tensiune obținute prin prelucrarea statistică de forma (4.2), au prezentat parametri mult dispersați chiar pentru același consumator dar considerat la diverse ore din zi, nefiind concludente pentru utilizarea în calcule.

Pe de altă parte însă, efectul reglant al sarcinii în funcție de tensiune a prezentat o relativă constanță pentru un anumit tip de consumator.

Pe baza acestor constatări, se justifică exprimarea caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune în forma liniară , avînd ca parametru tocmai efectul reglant.

În încheiere, în figura 4.19 se prezintă posibilitățile de estimare a caracteristicilor statice putere funcție de tensiune pentru consumatorul complex echivalent dintr-un nod din S.F.F.

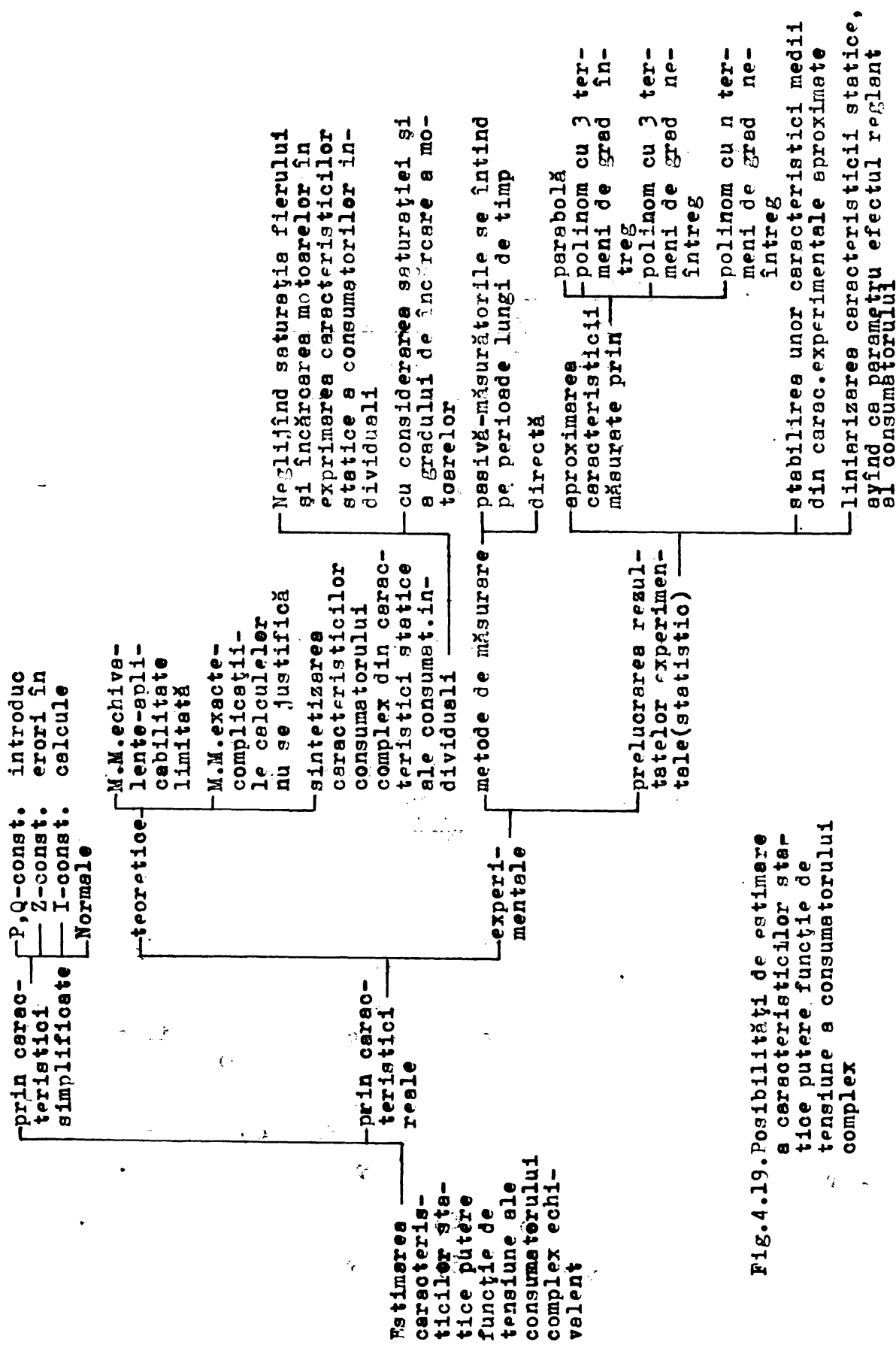


Fig.4.19. Posibilități de estimare a caracteristicilor statice putere funcție de tensiune a consumatorului complex

Capitolul 5

ANALIZA STABILITĂȚII STATICE A SISTEMELOR ELECTROENERGETICE CONSIDERIND CONSUMATORUL COMPLEX ECHIVALENT PRIN CARACTERISTICILE SALE STATICE ALE PUTERII FUNCȚIE DE TENSIUNE

5.1. Criteriul dQ/dU de apreciere a stabilității statice într-un sistem electroenergetic simplificat, în cazul considerării caracteristicilor statice ale consumatorului complex echivalent

5.1.1. Relații de calcul

Se consideră un consumator unic cu caracteristica de tipul (5.1):

$$\begin{aligned} P_s &= K_{1P}U^2 + K_{2P}U + K_{3P} \\ Q_s &= K_{1Q}U^2 + K_{2Q}U + K_{3Q} \end{aligned} \quad (5.1)$$

alimentat de pe o bară de tensiune U , pe care debitează n generatoare.

Se admit următoarele ipoteze simplificatoare:

- se neglijează rezistențele din circuitul generatorului;
- se consideră reactanța sincronă a GS, fiind vorba de stabilitatea statică a SEE;
- GS se consideră cu ^{polii}polii rotor, la acestea reactanța X_d după axa longitudinală a mașinii nu diferă de reactanța X_q după axa transversală;
- se consideră sistemul fără reglarea tensiunii.

Din figura 5.1 (care reprezintă diagrama fazorială a tensiunii pentru o fază a unui sistem format din generator ce debitează pe bare de putere infinită) se pot deduce ușor expresiile puterilor active P_γ și reactive Q_γ ale generatorului γ în funcție de tensiunea internă a generatorului $U_{eF\gamma}$, de tensiunea U a barei pe care debitează generatorul, de unghiul δ_γ dintre tensiunea $U_{eF\gamma}$ și tensiunea U și de admitanța Y_γ a generatorului.

$$P_\gamma = U_{eF\gamma} U Y_\gamma \sin \delta_\gamma \quad (5.2)$$

$$Q_\gamma = U_{eF\gamma} U Y_\gamma \cos \delta_\gamma - U^2 Y_\gamma \quad (5.3)$$

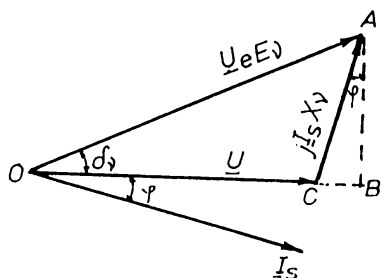


Fig.5.1. Diagrama fazorială a tensiunilor pentru un sistem format dintr-un generator ce debitează pe bare de putere infinită.

în care

$$Y_{\gamma} = \frac{1}{X_{\gamma}}.$$

Se știe că, /54/, /115/, /125/, criteriul de stabilitate Bruck-Marcovici se exprimă prin relația (5.4):

$$\frac{dQ}{dU} = \frac{d(Q_g - Q_s)}{dU} \leq 0 \quad (5.4)$$

unde

$$Q_g = \sum_1^n Q_{\gamma}.$$

Deci, pentru cazul consumatorilor cu caracteristicile statice de putere funcție de tensiune de tipul (5.1), se obține:

$$\begin{aligned} \frac{d(Q_g - Q_s)}{dU} &= \sum_1^n U_{eE\gamma} Y_{\gamma} \cos \delta_{\gamma} - \sum_1^n U_{eE\gamma} U Y_{\gamma} \sin \delta_{\gamma} \frac{d\delta_{\gamma}}{dU} - \\ &- 2 \left(\sum_1^n Y_{\gamma} + K_{1Q} \right) U - K_{2Q}. \end{aligned} \quad (5.5)$$

Pentru consumatorul considerat în regim permanent se poate scrie:

$$\frac{dP_g}{dU} = \sum_1^n \frac{dP_{\gamma}}{dU} = 2K_{1P}U + K_{2P}. \quad (5.6)$$

Din relația (5.2) rezultă:

$$\begin{aligned} \sum_1^n \frac{dP_{\gamma}}{dU} &= \sum_1^n U_{eE\gamma} Y_{\gamma} \sin \delta_{\gamma} + \sum_1^n U_{eE\gamma} U Y_{\gamma} \cos \delta_{\gamma} \frac{d\delta_{\gamma}}{dU} = \\ &= 2K_{1P}U + K_{2P}. \end{aligned} \quad (5.7)$$

$$\begin{aligned} \text{Deci : } \sum_1^n U_{eE\gamma} U Y_{\gamma} \frac{d\delta_{\gamma}}{dU} &= \sum_1^n \frac{dP_{\gamma}}{dU} \frac{1}{\cos \delta_{\gamma}} - \\ &- \sum_1^n U_{eE\gamma} Y_{\gamma} \frac{\sin \delta_{\gamma}}{\cos \delta_{\gamma}}. \end{aligned} \quad (5.8)$$

Înlocuind expresia (5.8) în (5.5) se obține:

$$\begin{aligned} \frac{d(Q_g - Q_s)}{dU} &= \sum_1^n U_{eE\gamma} Y_{\gamma} \frac{1}{\cos \delta_{\gamma}} - 2 \left(\sum_1^n Y_{\gamma} + K_{1Q} \right) U - \\ &- \sum_1^n \frac{dP_{\gamma}}{dU} \operatorname{tg} \delta_{\gamma} - K_{2Q}, \end{aligned} \quad (5.9)$$

sau explicitînd pe $\frac{dP_\gamma}{dU}$: - 112 -

$$\frac{d(Q_s - Q_g)}{dU} = \sum_{\gamma=1}^n U_{eB\gamma} Y_\gamma \frac{1}{\cos \delta_\gamma} - 2 \left(\sum_{\gamma=1}^n Y_\gamma + K_{1Q} \right) U - \sum_{\gamma=1}^n (2K_{1P}U + K_{2P}) \operatorname{tg} \delta_\gamma - K_{2Q} \quad (5.10)$$

Prin particularizarea valorilor coeficienților K_{1P} , K_{2P} , K_{1Q} , K_{2Q} se pot obține expresiile derivatei $\frac{dQ}{dU}$ pentru toate categoriile de consumatori (vezi tabelul nr. 5.1).

TABELUL nr.5.1

Valorile derivatei $\frac{dQ}{dU}$ în cazul considerării consumatorilor prin diferite caracteristici simplificate		
Nr. crt.	Caracteristica consumatorilor	Expresia derivatei $\frac{dQ}{dU}$
1.	$P=K_{3P}$ $Q=K_{3Q}$	$\sum_{\gamma=1}^n U_{eB\gamma} Y_\gamma \frac{1}{\cos \delta_\gamma} - 2 \sum_{\gamma=1}^n Y_\gamma U$
2.	$P=K_{2P}U$ $Q=K_{2Q}U$	$\sum_{\gamma=1}^n U_{eB\gamma} Y_\gamma \frac{1}{\cos \delta_\gamma} - 2 \sum_{\gamma=1}^n Y_\gamma U - K_{2P} \sum_{\gamma=1}^n \operatorname{tg} \delta_\gamma - K_{2Q}$
3.	$P=K_{1P}U^2$ $Q=K_{1Q}U^2$	$\sum_{\gamma=1}^n U_{eB\gamma} Y_\gamma \frac{1}{\cos \delta_\gamma} - 2 \left(\sum_{\gamma=1}^n Y_\gamma + K_{1Q} \right) U - \sum_{\gamma=1}^n 2K_{1P} U \operatorname{tg} \delta_\gamma$
4.	$P=K_{2P}$ $Q=K_{1Q}U^2$	$\sum_{\gamma=1}^n U_{eB\gamma} Y_\gamma \frac{1}{\cos \delta_\gamma} - 2 \left(\sum_{\gamma=1}^n Y_\gamma + K_{1Q} \right) U$

Trebuie menționat că aprecierea stabilității statice pe baza acestui criteriu, aplicabilă la un sistem simplu (generator debitînd pe bare de putere infinite) în absența reglajului de tensiune, este un calcul cu caracter estimativ, permițînd numai o primă apreciere rapidă a situației.

Considerarea consumatorului complex echivalent prin caracteristici statice de putere funcție de tensiune simplificate în locul caracteristicilor măsurate, introduce erori suplimentare a căror valori se obțin din rel. (5.10) și relațiile care dau valoarea derivatei $\frac{dQ}{dU}$ în cazul caracteristicilor simplificate, tabelul nr. 5.1. Astfel:

- Pentru consumatorul de tipul (1) din tabelul nr. 5.1 eroarea de calcul, ε va fi :

$$\varepsilon = \frac{-2K_{1Q}U - \sum_1^n (2K_{1P}U + K_{2P}) \operatorname{tg} \delta_\gamma - K_{2Q}}{\sum_1^n \frac{U e^{\beta \gamma} Y_\gamma}{\cos \delta_\gamma} - 2 \left(\sum_1^n Y_\gamma + K_{1Q} \right) U - \sum_1^n (2K_{1P}U + K_{2P}) \operatorname{tg} \delta_\gamma - K_{2Q}} 100\% ; \quad (5.11)$$

- Pentru consumatorul de tipul (2) din tabelul nr.5.1:

$$\varepsilon = \frac{-2K_{1Q}U - \sum_1^n 2K_{1P}U \operatorname{tg} \delta_\gamma - K_{2Q} + K_{2Qs} - \sum_1^n (K_{2P} - K_{2Ps}) \operatorname{tg} \delta_\gamma}{\sum_1^n \frac{U e^{\beta \gamma} Y_\gamma}{\cos \delta_\gamma} - 2 \left(\sum_1^n Y_\gamma + K_{1Q} \right) U - \sum_1^n (2K_{1P}U + K_{2P}) \operatorname{tg} \delta_\gamma - K_{2Q}} 100\% ; \quad (5.12)$$

- Pentru consumatorul de tipul 3 din tabelul nr. 5.1 :

$$\varepsilon = \frac{-2(K_{1Q} - K_{1Qs})U - \sum_1^n (2K_{1P}U - 2K_{1Ps}U + K_{2P}) \operatorname{tg} \delta_\gamma - K_{2Q}}{\sum_1^n \frac{U e^{\beta \gamma} Y_\gamma}{\cos \delta_\gamma} - 2 \left(\sum_1^n Y_\gamma + K_{1Q} \right) U - \sum_1^n (2K_{1P}U + K_{2P}) \operatorname{tg} \delta_\gamma - K_{2Q}} 100\% \quad (5.13)$$

- Pentru consumatorul de tipul 4 din tabelul nr. 5.1:

$$\varepsilon = \frac{-\sum_1^n (2K_{1P}U + K_{2P}) \operatorname{tg} \delta_\gamma - K_{2Q} - 2(K_{1Q} - K_{1Qs})U}{\sum_1^n \frac{U e^{\beta \gamma} Y_\gamma}{\cos \delta_\gamma} - 2 \left(\sum_1^n Y_\gamma + K_{1Q} \right) U - \sum_1^n (2K_{1P}U + K_{2P}) \operatorname{tg} \delta_\gamma - K_{2Q}} 100\% . \quad (5.14)$$

În relațiile (5.11)...(5.14), s-au notat cu K_{1P} , K_{2P} ... K_{3Q} coeficienții din expresia caracteristicilor reale ale consumatorului complex echivalent, iar prin indicele s stașat acestor coeficienți (K_{2Qs} , K_{2Ps} , ...) s-au notat aceiași coeficienți, dar din expresiile simplificate a caracteristicilor statice ale consumatorului.

5.1.2. Aprecierea erorii introduse prin considerarea unor caracteristici simplificate în locul caracteristicilor statice reale în calculul derivatei $\frac{dQ}{dU}$

Pentru exemplificare, s-a considerat schema din figura 5,2, parametrii generatoarelor din schemă fiind precizați în tabelul nr.5.2, iar ai consumatorului în tabelul nr.5.3. Valorile parametrilor sînt date în unități relative, utilizînd sistemul de bază $S_b=100$ MVA, $U_b = 110$ kV.

În tabelul nr.5.3 s-au notat consumatorii cu caracteristica "liniară", conform relației (2.103) și au fost luate în

TABELUL nr. 5.2

Parametrii generatoarelor schemei din figura 5.2				
Para- metrii	Genera- tor	G ₁	G ₂	G ₃
P	u.r.	1,1702	0,6438	0,279
Q	u.r.	0,2192	0,3104	0,1066
X	sincr. u.r.	0,824	1,827	1,01
Y	u.r.	1,2136	0,547	0,9901
E	u.r.	1,525	1,955	1,1324
δ	grade	38°40'	36°30'	35°15'

TABELUL nr.5.3

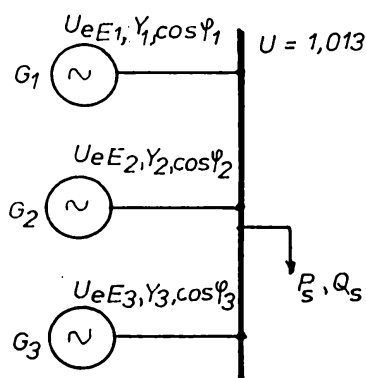
Parametrii consumatorilor din schema dată în figura 5.2 *)							
Nr. crt.	Tipul consu- matorului (ca- racteristică statică)	Coeficienții expresiei caracteristicii statice P=f(U) , Q=f(U)					
		K _{1P}	K _{2P}	K _{3P}	K _{1Q}	K _{2Q}	K _{3Q}
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Industrial Tmş.S-F, VD (măsurată, tabelul nr. 4.3)	19,422	-37,774	20,325	55,80	-109,027	53,874
2.	Industrial Tmş.S-F, VS, (măsurată tabelul nr. 4.3)	97,109	-188,87	93,96	213,90	-427,7	214,41
3.	Industrial C9 Tmş.SF, ora 11 (mă- surată)	97,11	-193,80	98,65	62	-124	61,71
4.	Agrar Tmş.F ora VD (mă- surată, ta- belul nr. 4.3)	19,422	-36	18,53	-15,5	34,92	-18,83
5.	Curent const.	0	1,9674	0	0	0,628	0
6.	Putere const.	0	0	1,993	0	0	0,6362
7.	Impedanța const.	1,9422	0	0	0,62	0	0
8.	P=ct., Q=KU ²	0	0	1,993	0,62	0	0
9.	Liniar, Tmş. SE- VD	0	1,575	0,3975	0	4,024	-3,44
10.	Liniar, Tmş. SE-VS	0	7,873	-5,982	0	5,661	-5,099

TABELUL nr.5.3(continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8
11.	Liniar, C9	0	2,945	-0,9903	0	1,612	- 0,997
12.	Liniar- agrar Tms.F	0	3,349	-1,3995	0	3,517	- 2,927

*) Coeficienții ecuațiilor caracteristicilor statice a sarcinilor cunoscute din tabelul nr.4.3 în u.r. față de mărimile nominale, au fost recalculați în u.r. față de mărimile de bază

considerare (poziția 9-12 din tabel), caracteristicile liniare-obținute din liniarizarea caracteristicilor reale de la



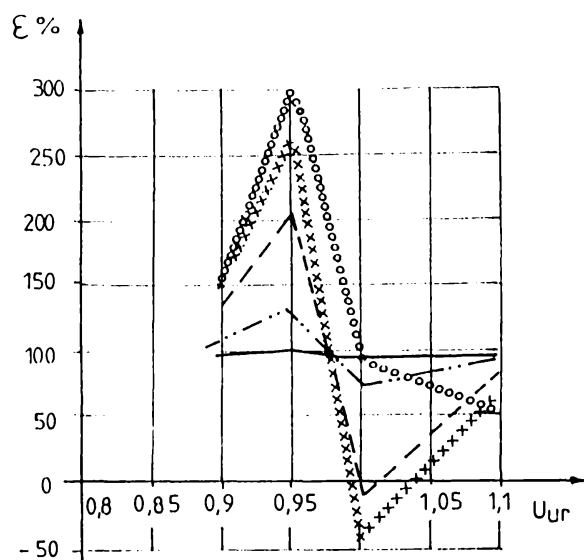
pozițiile 1...4 din același tabel.

Pentru fiecare tip de consumator considerat (pozițiile 1...4 din tabelul nr.5.3) s-au trasat curbele de variație în funcție de tensiune ale erorilor de calcul a derivatei $\frac{dQ}{dU}$, dacă se admit simplificările sub forma consumatorilor de la pozițiile 5...12 din tabelul nr.5.3, obținându-se curbele din figura 5.3.

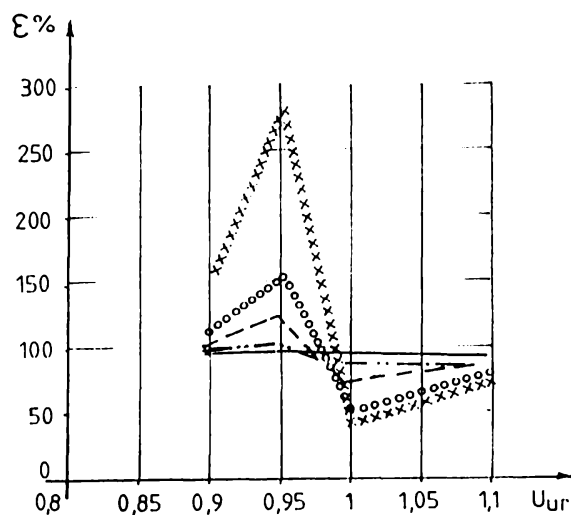
Fig.5.2.Schemă de calcul

Din examinarea curbelor rezultă că erorile ce apar în calcule prin folosirea caracteristicilor statice de putere simplificate, în locul celor măsurate, nu sînt de loc neglijabile. Pentru caracteristicile de tip putere constante, erorile sînt practic independente de tensiune (figura 5.3). Erorile cele mai mari se obțin în cazul considerării consumatorului prin caracteristici de tip impedanță constantă în cazul consumatorilor industrial, figura 5.3.a și 5.3.c sau de tip liniar, pentru cazul din fig.5.3.b și 5.3.c. Caracteristicile liniare deși prezintă erori mari, au avantajul că în imediata apropiere a punctului de funcționare, erorile sînt relativ mici.

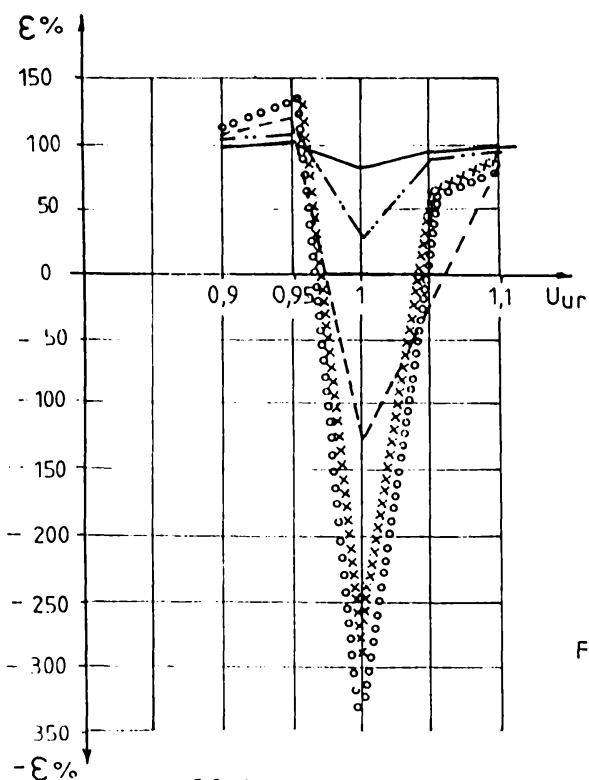
În general în jurul valorii tensiunii nominale (0,975-1,025)U_n, erorile ε sînt mici pentru reprezentarea consumatorului prin caracteristici liniare. Curbele prezentate pentru cazul analizat indică potrivit reprezentarea prin caracteristici de tip curent constant pentru consumatorul mixt la VD (figura 5.3.a), în timp ce la consumatorul industrial este potrivită reprezentarea prin caracteristici normale (figura 5.3.c), în fe-



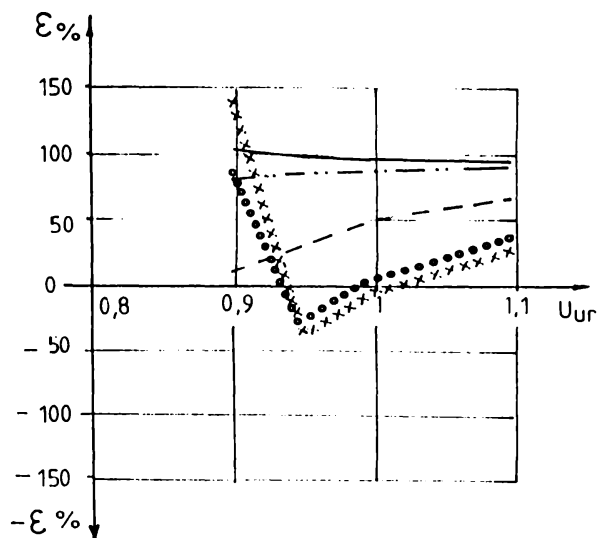
a) Tms SE , VD



b) Tms SE , VS



c) C9 Industrial



d.) Agrar

Fig. 5.3 Curba de variație a erorilor $\epsilon = f(U)$ în cazul reprezentării simplificată a consumatorilor

- 1 ———— consumator $P = K_{3P}, Q = K_{3Q}$
- 2 -·-·-·- consumator $P = K_{3P}, Q = K_{1Q}U^2$
- 3 ○○○○ consumator $P = K_{1P}U^2; Q = K_{1Q}U^2$
- 4 - - - - consumator $P = K_{2P}U; Q = K_{2Q}U$
- 5 ×××× consumator $P = R_P U + (1 - R_P), Q = R_Q U + (1 - R_Q)$

lul acesta asigurându-se erori minime.

Din curbele prezentate în figura 5.3 se observă că modul de considerare a caracteristicii de sarcină influențează valoarea erorii față de situația considerării unor caracteristici statice măsurate în special în plaja de tensiuni $(0,9...1,1)U_r$, în afara acestor limite erorile se păstrează practic de valori constante și apropiate, independent de simplificarea adoptată. În același timp se remarcă un maxim al acestor erori pentru $U_r=0,95$ în cazul consumatorilor de tip mixt (industrial+casnic+casnic edilitar) respectiv pentru $U_r=0,9$ în cazul consumatorilor de tip agrar; în cazul acestor consumatori obținându-se erori minime, cu mici excepții pentru $U_r=1$.

Din aceleași curbe se observă și faptul că erorile care se obțin prin reprezentări simplificate sînt mai mici în cazul consumatorilor de tip agrar $(-50...+140)\%$ față de cazul consumatorilor de tip industrial considerat.

Din cele prezentate se poate afirma că mărirea erorii introdusă în calculul stabilității statice a SEE simplificat considerat, prin înlocuirea caracteristicilor statice de sarcină ale consumatorului complex echivalent simplificate, față de situația considerării caracteristicilor obținute prin măsurători, este funcție de tipul consumatorului: industrial, agrar, etc (figura 5.3.a,d), de ora la care s-au determinat caracteristicile statice reale (VD, VS, etc) (figura 5.3.a,b).

Pentru o reprezentare mai sugestivă s-a trasat în fig.5.4 eroarea față de caracteristica măsurată, în punctul $U_r=1$, pentru diferite caracteristici de sarcină, în condițiile păstrării valorilor U , U_{Ry} și δ (fig.5.2) constante.

Trebuie precizat că aceste curbe ale erorilor s-au dat numai cu titlul informativ pentru a sublinia necesitatea considerării în calcule a caracteristicilor statice reale, înlocuirea acestora cu caracteristici simplificate conducînd la erori mari.

Concluzia care se desprinde din dezvoltările de mai sus este că nu se poate fixa o lege a acestei dependențe dar că se impune reprezentarea consumatorilor - în calcule de stabilitate statică - prin caracteristicile lor statice reale obținute prin măsurători și numai în situații fortuite, în absența acestora, prin caracteristici liniare.

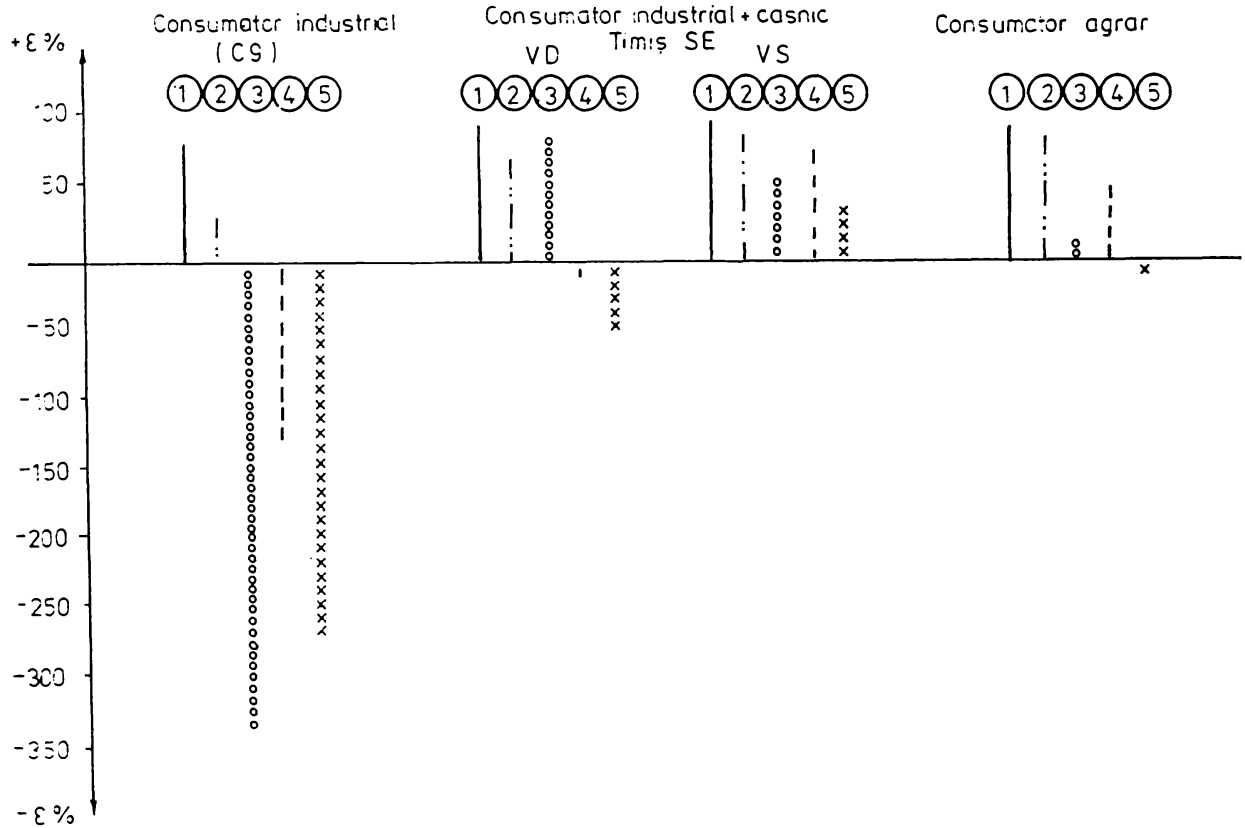


Fig.5.4. Eroarea introdusă prin considerarea unor caracteristici statice simplificate în locul caracteristicii reale a consumatorului complex, în punctul de funcționare $U_n=1$.

(1-caracteristici P,Q constant; 2-caracteristici "normale"; 3-caracteristici Z constant; 4-caracteristici I constant; 5-caracteristici liniare).

5.1.3. Calculul tensiunii critice și a rezervei de stabilitate statică având în vedere caracteristicile de putere funcție de tensiune ale consumatorilor

Tensiunea critică din punct de vedere al stabilității statice pentru un sistem electroenergetic redus, figura 5.2, rezultă din relația (5.10) impunând condiția limită ($\frac{dQ}{dU} = 0$) ;

$$U_{cr} = \frac{\sum_1^n \frac{U_e E \gamma Y \gamma}{\cos \delta \gamma} - K_{2P} \sum_1^n \text{tg} \delta \gamma - K_{2Q}}{2 \left(\sum_1^n N \gamma + K_{1Q} + K_{1P} \sum_1^n \text{tg} \delta \gamma \right)}, \quad (5.15)$$

iar rezerva de stabilitate se știe că se definește prin relația (1.2).

Pentru a urmări influența modului de reprezentare a sarcinii asupra acestor mărimi, fiind necesare numeroase calcule, s-a întocmit programul de calcul "RFZSTATIC" - program pentru analiza rezervei de stabilitate statică în funcție de modul de reprezentare al consumatorilor - a căror ordinogramă este dată în figura 5.5, iar programul este prezentat în anexa A-5.

Pentru calcul s-a considerat același sistem din figura 5.2, parametrii generatoarelor fiind cei indicați în tabelul nr. 5.2, iar consumatorul racordat la bare s-a considerat succesiv având diferite caracteristici simplificate.

TABELUL nr.5.4

Tensiunea critică și rezerva de stabilitate statică pentru sistemul din figura 5.2 (calculate cu programul "REZSTATIC")									
Nr. crt.	Caracterul consumat.	U_{cr} u.r.	Rezerva de stabilitate statică $R_u\%$ pentru tensiunea U u.r.						
			0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,10
1.	I=ct	0,00475	99,406	99,440	99,47	99,50	99,525	99,55	99,57
2.	P=ct., Q=ct.	0,92247	-15,308	-8,525	-2,496	2,898	7,753	12,146	16,14
3.	Z=ct	0,32805	58,993	61,405	63,55	65,47	67,20	68,76	70,177
4.	P=ct., Q=KU ²	0,75278	5,902	11,437	16,357	20,76	24,722	28,307	31,56

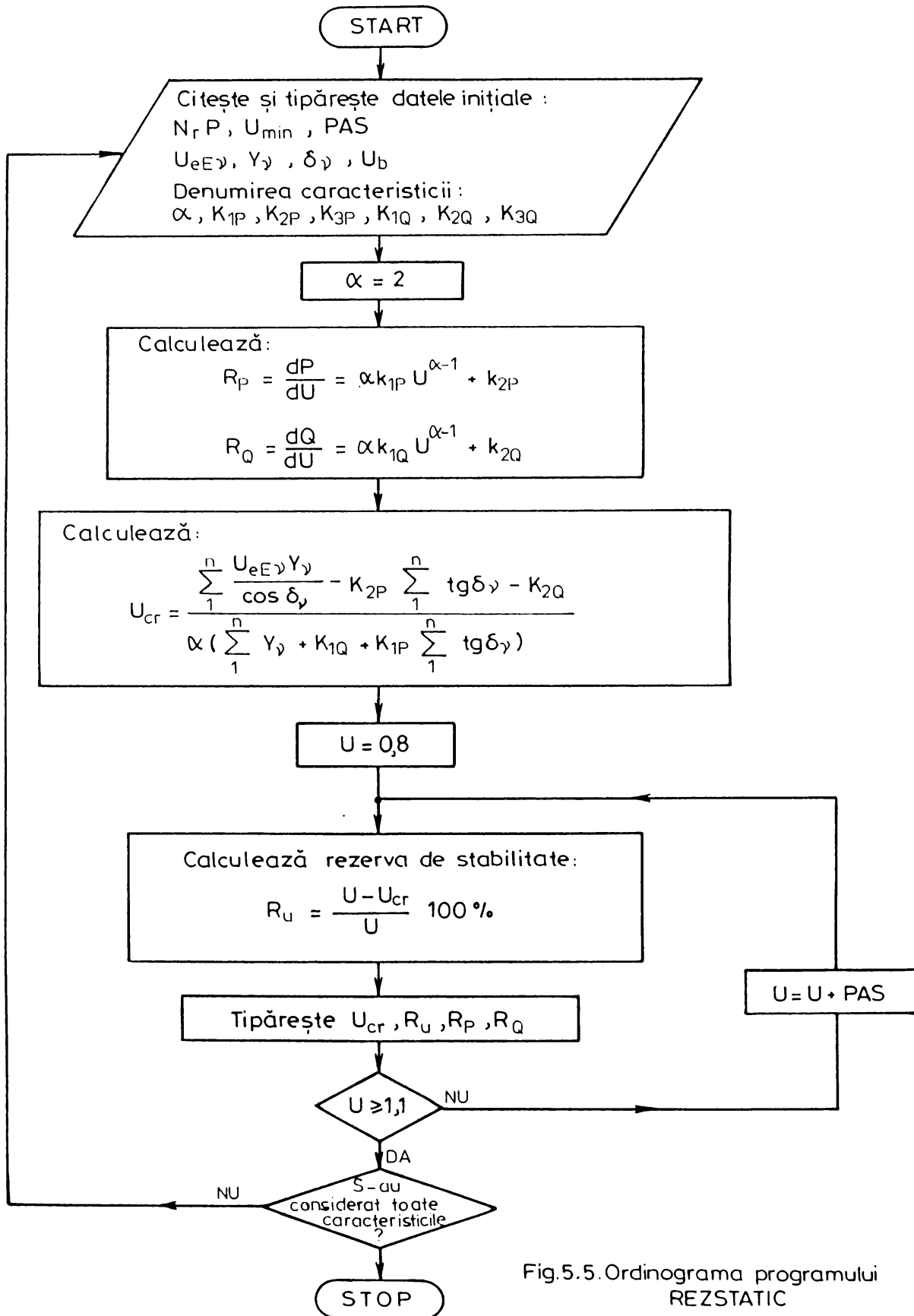


Fig.5.5. Ordinograma programului REZSTATIC

Din analiza rezultatelor se poate observa că există o mare dispersie a valorilor tensiunii critice din punctul de vedere al stabilității statice, aceasta depinzând mult de modul de reprezentare în calcul a consumatorului complex. Soluția se pretează la estimări ale stării unui sistem privind depărtarea funcționării acestuia față de regimul limită.

În figura 5.6 se prezintă dependența rezervei de stabilitate R_u față de tensiune pentru cazul consumatorilor considerați prin caracteristici simplificate.

Din aceste curbe se observă ușor că reprezentarea consumatorului complex echivalent prin caracteristici statice simplificate conduce la rezultate optimiste considerând caracteristici de tipul $Z=ct$ și mai ales $I=ct$, la rezultate pesimiste în cazul considerării caracteristicii de tip putere constantă. Caracteristicile de tip "normale" conducând la rezultatele intermediare.

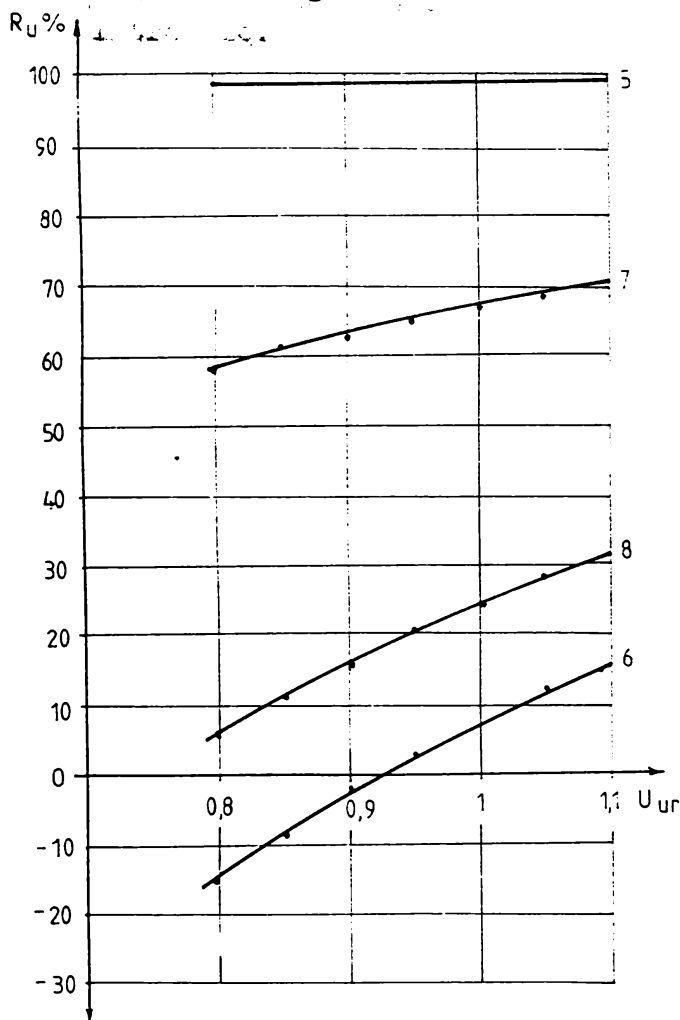


Fig.5.6. Dependența $R_u=f(U)$ pentru caracteristici simplificate.

Aceste estimări ale stării de stabilitate a sistemului pot fi acceptate numai într-o primă fază de calcul. În cazul sistemelor energetice și puternic încărcate este dese ori necesar să se funcționeze în zona din imediata apropiere a celei limită, ca urmare calculele acestea trebuie efectuate cât mai precis. Astfel de calcule, la baza cărora să fie admise cât mai puține ipoteze simplificatoare, impun folosirea calculatoarelor numerice pentru rezolvarea problemei.

5.2. Calculul stabilității statice a zonei din Sud-Vest a S.E.N., ținând cont de influența sarcinii

5.2.1. Algoritmul de calcul al stabilității statice

Pentru calculul stabilității statice s-a utilizat pachetul de programe PROGSTS, descris pe larg în /148/, elaborat pentru calculatorul Felix C256.

În cele 10 programe incluse în PROGSTS se rezolvă, pe etape, problemele legate de crearea fișierelor de date, stabilirea regimului permanent analizat, întocmirea modelului matematic, aprecierea stabilității statice, simularea răspunsului la mici perturbații și afișarea rezultatelor tabelar sau sub formă de grafice.

Programele sînt scrise majoritatea în limbaj FORTRAN iar pentru probleme delicate în ASSIRIS. Numele tuturor programelor începe cu literele "STS" de la Stabilitatea Statică.

- 1) STS PWN - calculează regimul staționar normal al rețelei electrice cu metoda Newton-Raphson;
- 2) STS GEN - crează fișierul de date cu parametrii GS exprimați în u.r. la nivelul S.E.E.;
- 3) STS CON - crează fișierul de date cu parametrii consumatorilor exprimați în u.r. la nivelul S.E.E.;
- 4) STS RET - calculează mărimile de stare ale GS și coeficienții din ecuațiile corespunzătoare bilanțului de putere activă, respectivă reactivă în nodurile rețelei electrice;
- 5) STS MAST - formează matricile de stare, intrare și ieșire ale sistemului de ecuații diferențiale liniare ce aproximează comportarea SEE la mici perturbații;
- 6) STS PREP - pregătește sistemul de ecuații diferențiale pentru integrarea numerică;
- 7) STS DYN - integrează sistemul de ecuații diferențial liniar utilizînd algoritmul bazat pe folosirea matricii de tranziție, /127/;
- 8) STS LIST - afișează răspunsul SEE la o perturbație, calculează și tipărește indicatorii de calitate.

Pentru calculul regimului staționar al rețelei s-au făcut următoarele ipoteze:

- Generatoarele din sistem și reglajele aferente de tensiune și turație s-au reprezentat prin sistemul de ecuații li-

niarizat în punctul de funcționare, valabile pentru regimul de mici perturbații, /123/, /148/;

- reprezentarea liniilor electrice, a transformatoarelor și autotransformatoarelor electrice se face prin intermediul impedanțelor și admitanțelor ce compun schema lor echivalentă pentru regimul staționar;

- consumatorii complecși echivalenți s-au considerat prin caracteristicile lor statice de putere funcție de tensiune, relațiile (5.1) respectiv (4.2);

- interconexiunea elementelor din rețeaua electrică se realizează prin intermediul bilanșului de putere în nodurile acesteia, puterile fiind exprimate prin relațiile binecunoscute:

$$P_{ret_1} = U_1^2 G_{11} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq 1}}^{NN} U_1 U_k \left\{ G_{1k} \cos(\delta_1 - \delta_k) + B_{1k} \sin(\delta_1 - \delta_k) \right\}, \quad (5.16)$$

$$Q_{ret_1} = U_1^2 B_{11} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq 1}}^{NN} U_1 U_k \left\{ G_{1k} \sin(\delta_1 - \delta_k) - B_{1k} \cos(\delta_1 - \delta_k) \right\}, \quad (5.17)$$

în care $Y_{1k} = G_{1k} + jB_{1k}$ sînt elementele matricii de admitanță nodala Y_n a rețelei electrice.

Prin liniarizarea ecuațiilor (5.16) și (5.17) în punctul de funcționare și eliminarea nodurilor fără injecție de puteri se obține modelul matematic al rețelei electrice la mici perturbații:

$$\begin{bmatrix} \overline{\Delta P}_{ret} \\ \overline{\Delta Q}_{ret} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left[\frac{\partial P_{ret}}{\partial \delta} \right] & \left[\frac{\partial P_{ret}}{\partial U} \right] \\ \left[\frac{\partial Q_{ret}}{\partial \delta} \right] & \left[\frac{\partial Q_{ret}}{\partial U} \right] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{\Delta \delta} \\ \overline{\Delta U} \end{bmatrix}. \quad (5.18)$$

Rezultatele obținute sînt afișate sub formă de tabele sau grafice, conținînd comentariile necesare pentru o ușoară înțelegere.

În studiu s-au considerat în regim stabil de funcționare, diferite cazuri referitoare la caracteristicile statice ale consumatorului complex echivalent.

Compararea comportării diferitelor modele pentru consumatorul complex echivalent s-a realizat cu ajutorul unor indici de calitate ai regimului perturbat obținut prin mărirea cu 1% a puterii consumate într-un nod mare consumator (nodul 15-Rovinari 400-figura 5.7). Prin acestia se poate sesiza cantitativ deose-

birile existente între diferitele cazuri considerate:

- 1) Valoarea medie a variabilelor,

$$V_{\text{med}} = \frac{1}{t_f} \int_0^{t_f} X(t) dt ; \quad (5.19)$$

- 2) Valoarea maximă a variabilelor, V_{max} ;

- 3) Valoarea minimă a variabilelor, V_{min} ;

- 4) Abaterea medie pătratică, σ :

$$\sigma^2 = \frac{1}{t_f} \int_0^{t_f} \left(\frac{X(t) - V_{\text{med}}}{V_{\text{med}}} \right)^2 dt, \quad (5.20)$$

în care $X(t)$ reprezintă răspunsul sistemului, iar t_f durata considerată în calcule.

Mărimile pentru care s-au calculat acești indici de calitate au fost: unghiul intern al generatorului sincron, θ ; unghiul între tensiunea la bornele GS și tensiunea centrului de inerție CI, δ ; tensiunea la bornele generatorului, U ; puterea activă, P și puterea reactivă, Q la bornele generatorului; accelerația rotorului, α ; viteza unghiulară, Ω ; cuplul mecanic, C_m ; tensiunea de excitație, U_{ex} ; tensiunea electromotoare, U_{eE} .

5.2.2. Sistemul electroenergetic considerată în calcule

Pentru evidențierea influenței caracteristicii statice de putere funcție de tensiune a consumatorului complex echivalent asupra stabilității statice a unui sistem electroenergetic, s-a considerat schema zonei de Sud-Vest din sistemul energetic național, figura 5.7. Referitor la structura sistemului considerat se fac următoarele precizări:

1. Sistemul cuprinde cinci noduri generatoare: Porțile de Fier 15A, Porțile de Fier 15B, Turcenii 24, Rovinari 24, Mintia 15;

2. Toate generatoarele sincrone din centrale s-au modelat printr-un singur GS echivalent avînd în vedere următoarele condiții de echivalare:

- puterea nominală a GS echivalent este egală cu suma puterilor nominale a GS reale de același tip;

- GS echivalent are aceeași tensiune nominală, rezis-

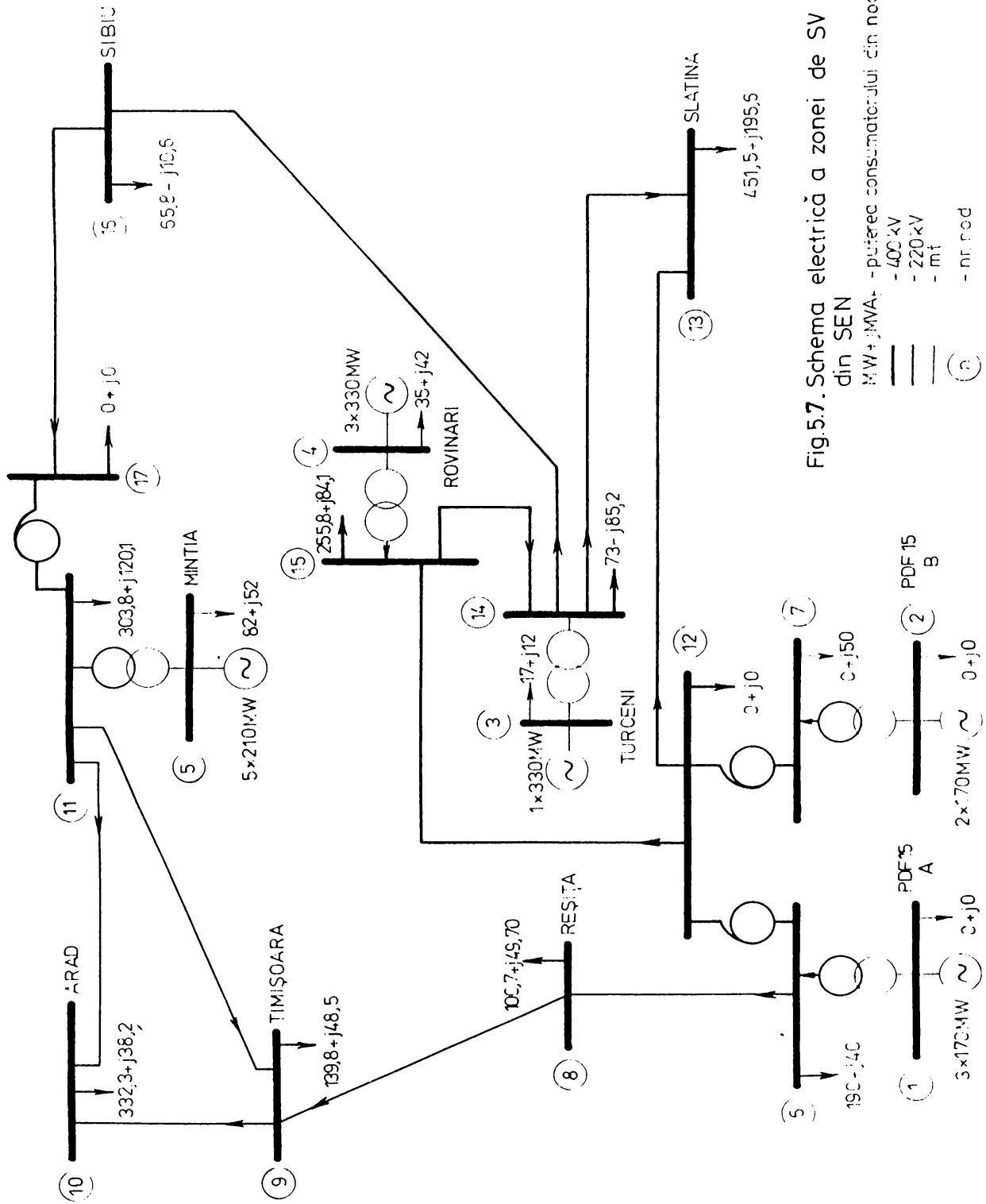


Fig.5.7. Schema electrică a zonei de SV din SEN

tență și reactanță, deci și constante de timp ale înfășurărilor, ca și GS reale;

- inerția GS echivalent este suma inerțiilor GS reale, deci constanta de timp mecanică echivalentă este suma constantelor de timp reale corespunzătoare.

3. S-a considerat rețeaua electrică de 220 kV și de 400 kV.

4. Sistemul conține 12 noduri consumatoare: Porțile de Fier 220 A, Porțile de Fier 220 B, Reșița, Timișoara, Arad, Mintia 200, Porțile de fier 400, Slatina, Turceni 400, Rovinari 400, Sibiu, Mintia 400.

5. Consumatorii s-au considerat prin caracteristicile lor statice de putere funcție de tensiune obținute pe baza determinărilor experimentale în SEN (vezi capitolul 4 și /86/, /120/, /160/) cât și prin caracteristici statice simplificate folosite în calcule practice, respectiv prin caracteristici liniare. Pentru studiu s-au considerat 37 cazuri din punct de vedere al caracteristicilor statice ale consumatorilor în vederea aprecierii influenței modului de considerare a sarcinii asupra rezultatelor calculelor de stabilitate statică a sistemului electroenergetic.

Parametrii generatoarelor sînt dați în tabelul nr.5.5, parametrii caracteristici nodurilor în tabelul nr.5.6, parametrii caracteristici elementelor de rețea ale schemei din figura 5.7 în tabelul nr.5.7, iar caracteristicile consumatorilor în tabelul nr. 5.8. În tabelul nr.5.9 se indică parametrii caracteristici consumatorului complex echivalent considerat cu caracteristici statice măsurate (cazul nr. 1 din tabelul nr. 5.8). Pe baza datelor din figura 5.7 și a celor din tabelul nr.5.8 au fost stabiliți parametrii caracteristicilor statice de sarcină putere funcție de tensiune pentru consumatorul complex echivalent din fiecare nod, corespunzător regimurilor considerate.

Pentru toate cazurile considerate, parametrii caracteristicilor statice ale consumatorilor complecși echivalenți s-au calculat din expresia matematică a caracteristicii statice și valorile tensiunii respectiv puterii consumatorilor din fiecare nod.

TABELUL nr.5.5.

Parametrii generatorelor sincrone (GS), a sistemelor de reglare automată a excitației (SRAB) și a sistemului de reglare automată a vitezei (SRAV) pentru centralele din zona SV a SEN							
Nr. crt.	Mărimea	Unitatea de măsură	Porțile de Fier A PDF 15A (nodul 1)	Porțile de Fier B PDF 15B (nodul 2)	Porțile de Turceni TURC 24 (nodul 3)	Hovinari HOVI 24 (nodul 4)	Mintia MINT 15 (nodul 5)
1.	2						
1.	n_{rGSxP_n}	MW	3x170	2x170	1x330	3x330	5x210
2.	S_n total	MVA	570	370	388	1164	1235
3.	$\cos \varphi_n$		0,9	0,9	0,85	0,85	0,85
4.	U_n	kV	15,75	15,75	24	24	15,75
5.	X_{dd}	u.r.n.	1,132	1,132	2,247	2,247	2,42
6.	X_{qq}	u.r.n.	0,70	0,7	2,247	2,247	2,42
7.	X_{dh}	u.r.n.	0,957	0,957	2,103	2,103	2,295
8.	X_{qh}	u.r.n.	0,525	0,525	2,103	2,103	2,295
9.	X_d^i	u.r.n.	0,350	0,350	0,288	0,288	0,25
10.	X_d^w	u.r.n.	0,260	0,260	0,200	0,200	0,170
11.	X_q^w	u.r.n.	0,188	0,188	0,188	0,188	0,1724
12.	$R_x 10^3$	u.r.n.	8,09	8,09	8,09	8,09	8,228
13.	$R_D 10^2$	u.r.n.	1,322	1,322	1,768	1,768	1,672
14.	$R_Q 10^2$	u.r.n.	0,429	0,429	1,14	1,14	1,148
15.	$R_F 10^3$	u.r.n.	0,591	0,591	1,23	1,23	1,174
16.	X_{rB}	u.r.n.	1,171	1,171	2,257	2,257	2,427
17.	X_{DD}	u.r.n.	1,122	1,122	2,194	2,194	2,365

Tabelul nr.5.5(continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8
18. X _{QQ}		u.r.n.	0,539	0,539	2,148	2,148	2,343
19. K _{fr}		%	3	3	1,5	1,5	1,5
20. T _m		s	6,05	6,05	6,1	6,1	6,34
21. U		%	8	8	5	5	5
22. T _b		s	2	2	0,1	0,1	0,2
22. m			1	1	0	0	0
24. K _{1T}			-1	-1	1	1	1
25. T _{1T}		s	2	2	0	0	0
26. K _{2T}			1	1	1	1	1
27. T _{2T}		s	1	1	0,3	0,3	0,3
28. K _R		u.r.n.	2,5	2,5	6	6	6
29. T _R		s	0,2	0,2	0,05	0,05	0,2
30. K _{ex}		u.r.n.	1	1	1	1	1
31. T _{ex}		s	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
32. K _Q		%	3	3	3	3	3
33. e _n		u.r.n.	0,0013072	0,0013072	0,0017745	0,0017745	0,001714

TABELUL nr.5.6

Parametrii caracteristici nodurilor schemei din fig.5.7							
Nr. crt.	Numele nodului	P_G MW	Q_G MVar	P_g MW	U kV	Q_{min} MVar	Q_{max} MVar
1.	PDF 15A	0	0	490	16,2	0	243,5
2.	PDF 15B	0	0	325	16,5	0	165,7
3.	TURC 24	-17	-12	170	24,25	-390	204,5
4.	ROVI 24	-35	-42	395	24,3	-116	613,2
5.	MINT 15	-82	-52	710	15,67	-145	650,6
6.	PDF 220 A	-190	-40	-	245,24	-	-
7.	PDF 220B	0	-50	-	238,94	-	-
8.	RESI 220	-100,7	-49,7	-	218,40	-	-
9.	TIMI 220	-339,8	-48,5	-	219,36	-	-
10.	ARAD 220	-332,3	-38,2	-	219,51	-	-
11.	MINT 220	-303,8	-120,1	-	237,78	-	-
12.	PDF 400	0	0	-	415,49	-	-
13.	SLAT 400	-451,5	-195,6	-	410,58	-	-
14.	TURC 400	-73	+85,2	-	420,91	-	-
15.	ROVI 400	-255,8	-84,1	-	419,93	-	-
16.	SIBIU 400	-65,8	+10,6	-	411,68	-	-
17.	MINT 400	0	0	-	395,68	-	-

TABELUL nr. 5.7

Parametrii elementelor de rețea ale schemei din fig.5.7, /43/							
Nr. crt	Latura (noduri limitrofe)	Tip	R Ω	X Ω	G/2 μs	B/2 μs	K_{tr}
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	1-6	T	0,2704	10,788	3,842	-29,22	15,3651
2.	2-7	T	0,4055	16,182	2,561	-19,48	14,597
3.	3-14	T	1,016	62,4	0,875	- 5,625	17,5

1	2	3	4	5	6	7	8
4.	4-15	T	0,3833	22,932	2,625	-16,875	17,5
5.	5-11	T	0,1774	5,06	12,04	-128,06	15,365
6.	6-12	T	1,2	40	1,312	-12,25	1,688
7.	7-12	AT	1,2	40	1,312	-12,25	1,753
8.	11-17	AT	0,85	46	0,5	-5	1,58
9.	6-8	L	14,14	100,1	0	305	-
10.	8-9	L	2,35	15,35	0	185	-
11.	9-10	L	1,8	11,65	0	141	-
12.	9-11	L	8,57	54,7	0	176,5	-
13.	10-11	L	4,7	47	0	237	-
14.	12-13	L	5,2	53,7	0	270,5	-
15.	12-15	L	2,8	28,8	0	144	-
16.	13-14	L	2,8	29	0	139,5	-
17.	14-15	L	1,8	18,3	0	92,5	-
18.	14-16	L	8,7	88,9	0	441	-
19.	16-17	L	4,29	43,2	0	217,5	-

Calcululele s-au efectuat în u.r. , mărimile de bază fiind prezentate în tabelul nr. 5.10.

Trebuie precizat că s-au utilizat pentru estimarea caracteristicilor măsurate a celor 17 noduri din sistemul energetic considerat rezultatele obținute prin măsurători făcute de autoarea prezentei lucrări, cât și rezultatele obținute de colective de la ISPE și DEN, adoptându-se pentru nodurile pentru care nu s-a dispus de rezultate experimentale, caracteristici obținute în noduri cu consum asemănător.

În tabelul nr.5.8 s-au notat "caracteristici măsurate" caracteristicile statice determinate experimental sau apreciate, obținute din măsurători parțiale sau globale pentru unii consumatori, sau apreciate ținând seama de compoziția similară a nodurilor cu noduri în care s-au făcut măsurători (vezi tabelul nr.5.9); "caracteristici teoretice" - caracteristici indicate

Caracteristici statice considerate pentru consumatorul complex echivalent

Nr. cazului	Consumatorul	Toți consumatorii din SEE:	Consumatorul	Consumatorul	Consumatorul	Consumatorul	Consumatorul
			MINTIA 5, caracterat. măsurate, restul consumatorilor	ROVI 15, caracterat. măsurate, restul consumatorilor			
		2	3	4	5	6	
1.		a)Nodul 5, nod de referință					
2.		caracteristici măsurate					
3.		"- PUTERE const.					
4.		"- IMPEDANTA const.					
5.		"- NORMALE					
6.		"- CURENT const.					
7.		"- LINIARE					
8.		"- TEORETICE					
9.		"- cu EF.REFL. <0					
10.			Caracteristici PUTERE const.				
			"- IMPEDANTA const.				

TABELUL nr.5.8(continuare 1)

1	2	3	4	5	6
11.	-	Caracteristici NORMALE	-	-	-
12.	-	"-CURENT const.	-	-	-
13.	-	"-LINIARE	-	-	-
14.	-	Toți NORMALI, MINTIA 5 putere const.	-	-	-
15.	-	-	caracteristici PUTERE const.	-	-
16.	-	-	"-IMPEDANTA const.	-	-
17.	-	-	"-NORMALE	-	-
18.	-	-	"-CURENT const.	-	-
19.	-	-	"-LINIARE	-	-
20.	-	-	Toți Normali, Rov.4 caract. măsurate	-	-
21.	-	-	-	Caracteristici PUTERE const.	-
22.	-	-	-	"-IMPEDANATA const.	-
23.	-	-	-	caracteristici NORMALE	-
24.	-	-	-	"- CURENT const.	-
25.	-	-	-	"- LINIARE	-

TABELUL nr.5.8 (continuare 2)

1	2	3	4	5	6
26.	-	-	-	Toți caract.putere const., Tmş. CURENT ct.	-
27.	-	-	-	Toți putere ct., Tmş. Z=ct.	-
28.	-	-	-	Toți putere ct., Tmş. Normale	-
29.	-	-	-	-	Caracteris. PUTERE const.
30.	-	-	-	-	"-IMPEDANTA const.
31.	-	-	-	-	"-NORMALE
32.	-	-	-	-	"-CURENT ct.
33.	-	-	-	-	"-LINIARE
34.	b) Modul 3 nod de referință (caz 34...37) Caracteristicii MASURATE	-	-	-	-
35.	"- PUTERE ct.	-	-	-	-
36.	"- Z=ct.	-	-	-	-
37.	-	Caract.putere const.	-	-	-

TABELUL nr.5.9

Nr. mod	Parametrii caracteristicilor statice funcție de tensiune a consumatorilor complecși echivalenți caracteristici măsurate (regimul I din tabelul nr.5.8)							Modul în care s-a obținut
	Num. mod	K _{2P}	K _{1P}	K _{2Q}	K _{1Q}	R _P u.r.	R _Q u.r.	
1.	PDF 15A	0	0	0	0	-	-	-
2.	PDF 15B	0	0	0	0	-	-	-
3.	Turceni 24	-12,83	0,28908	27,513	-0,510	1,7	5,61	/120/
4.	Rovinari 24	867,51	-17,884	-2268,57	46,982	-1,14	8,53	/122/
5.	Mintia 15	-5,2675	0,39905	-397,173	13,207	1,384	5,06	/122/
6.	PDF 220A	0,4757	0,00103	-10,6156	0,02404	1,266	7,2	/86/
7.	PDF 220B	0	0	0	0,000876	0	2	-
8.	Reșița	-17,798	0,0422	-72,33	0,17192	1,399	12,15	/120/
9.	Timișoara	54,0233	-0,122876	-74,069	0,1714	0,18	5,1	/122/
10.	Arad	-25,2810	0,06207	-13,1214	0,03155	1,3	4,19	/160/
11.	Mintia 220	108,304	-0,22725	-169,20775	0,3612	0,182	5,08	/122/
12.	PDF 400	0	0	0	0	0	0	-
13.	Slatina	-10,447	0,01674	-6,253	0,01088	3	5,63	/2/
14.	Turceni 400	-0,03243	0,000053	-18,643	0,02342	0,703	5,29	/160/
15.	Rovinari 400	140,6241	-0,167643	-86,8448	0,104402	-0,279	4,18	/122/
16.	Sibiu	1,90345	-0,001949	0,96134	-0,0010113	1,87	5,77	/86/
17.	Mintia 400	0	0	0	0	0	0	-

TABELUL nr.5.10

Mărimile de bază adoptate				
Nivelul de tensiune	U_{nom} kV	U_B kV	S_B MVA	Y_B S
1	400	400	100	0,000625
2	220	220		0,002066
3	24	24		0,173611
4	15,75	15,75		0,40312

În literatură fără referire specială la o anumită determinare experimentală într-un SEE dar în general avînd un efect reglant mai mic decît în cazul caracteristicilor "reale". În cazul 8 s-a considerat un consumator fictiv, rezultat din consumatorul real la care s-au modificat coeficienții ecuațiilor caracteristicilor statice astfel ca efectul reglant atît al puterii active cît și al celei reactive să rezulte negativ, pentru a se urmări influența semnului efectului de reglaj asupra stabilității statice a sistemului. Cazul respectiv nu este rupt de realitate pentru că și în unele măsurători /122/ s-au obținut pentru R_p valori negative.

Pentru consumatorul complex echivalent cu caracteristici statice măsurate, în tabelul nr.5.9 se indică parametrii caracteristicilor statice (coeficienții ecuației caracteristicilor statice și valoarea efectului reglant al sarcinii active respectiv reactive).

Pentru analiza stabilității statice a zonei considerate, s-a presupus consumatorul complex echivalent din noduri avînd diferite caracteristici statice, urmărindu-se influența acestor caracteristici pentru 37 cazuri diferite, în regia stabil de funcționare a sistemului electroenergetic.

Timpul de calcul este de aproximativ 20 minute.

5.2.3. Influența caracteristicilor consumatorului complex echivalent asupra stabilității statice a sistemului electroenergetic considerat. Rezultate obținute

5.2.3.1. Probleme generale

În urma calculului stabilității statice pentru zona de S.V. din S.E.E. (figura 5.7) considerînd consumatorii reprezentați prin diferite modele pentru caracteristicile statice, folosind

programul de calcul PROGSTS, s-au obținut variația în timp a principalelor mărimi ce caracterizează comportarea celor cinci generatoare din SEE considerat, în regim de mici perturbații, pentru exemplificare prezentându-se în figurile 5.9 ... 5.12 aceste curbe în cazul reprezentării tuturor consumatorilor complecși echivalenți prin caracteristici statice putere funcție de tensiune obținute experimental. Curbele de oscilație a principalelor mărimi pentru GS-PDF 15B avînd o variație similară cu cele pentru GS-PDF 15A, nu s-au mai reprezentat, deosebirile fiind de ordin cantitativ și rezultînd din tabelele nr. 5.11 și 5.12.

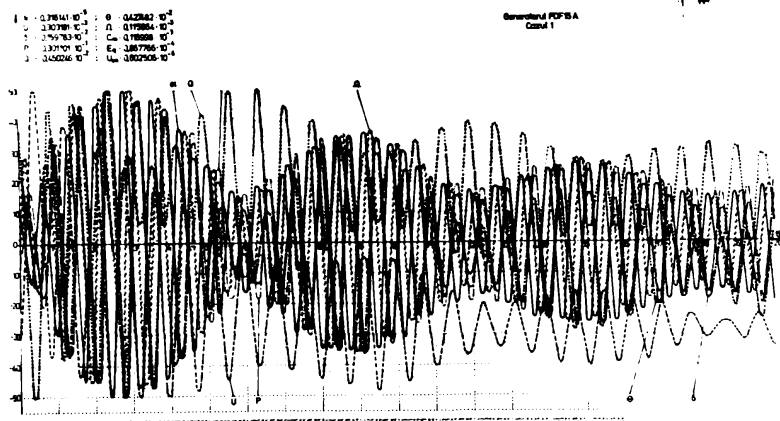


Fig.5.9.Variația în timp a principalelor mărimi GS-PDF 15A pentru regim stabil de funcționare Cazul 1: consumatorii reprezentați prin caracteristici măsurate

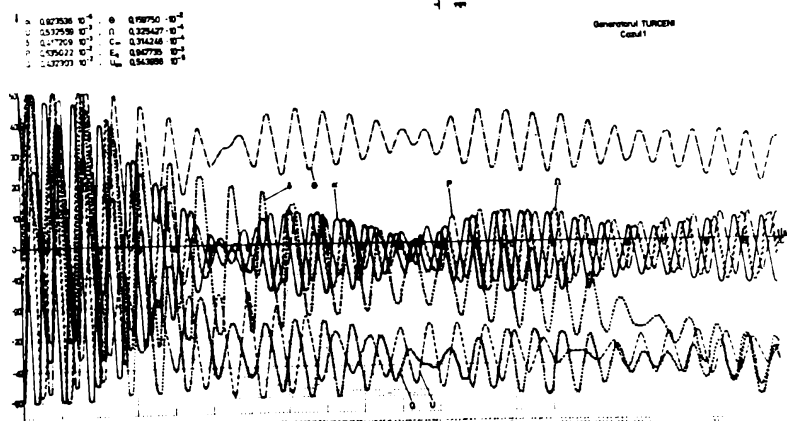


Fig.5.10.Idem fig. 5.9, dar pentru GS Turceni

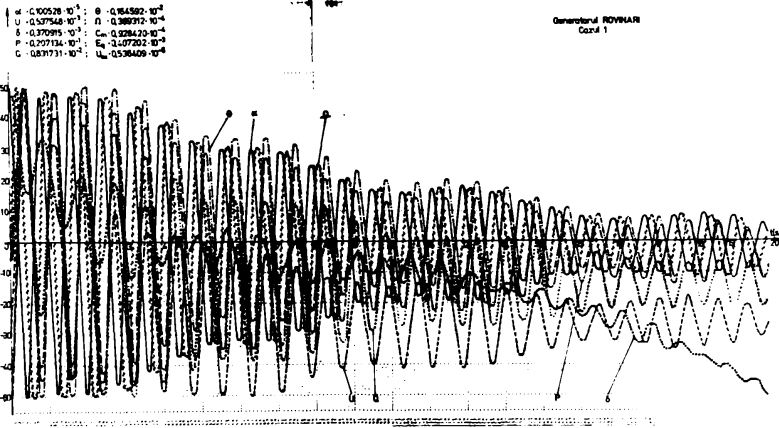


Fig.5.11.Idem fig.5.9, dar pentru GS-Rovinari

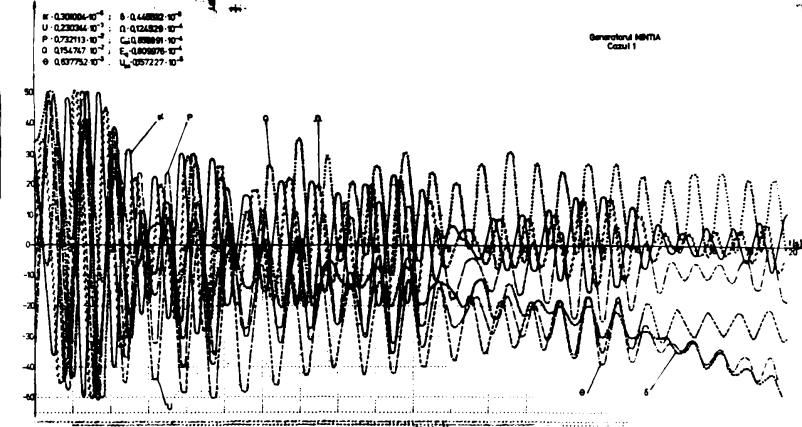


Fig.5.12.Variația în timp a principalelor mărimi la GS-Mintia pentru regim stabil de funcționare: Cazul 1: consumatori reprezentați prin caracteristici măsurate.

Se precizează că accelerațiile α , vitezele unghiulare Ω și unghiurile rotoarelor θ sînt raportate la mărimile corespunzătoare ale centrului de inerție al SEE.

Pentru a analiza influența caracteristicii statice putere funcție de tensiune a consumatorului complex echivalent asupra stabilității statice a SEE considerat, s-au presupus următoarele situații:

- toți consumatorii complecși echivalenți din SEE repre-

zențați prin același fel de caracteristici măsurate (experimentale) sunt simplificate;

- consumatorul complex echivalent de pe bara Mintia reprezentat prin caracteristici măsurate, restul consumatorilor reprezentați succesiv toți prin diferite caracteristici simplificate;

- consumatorul complex echivalent de pe bara Rovinari reprezentat prin caracteristici măsurate, restul consumatorilor succesiv prin diferite caracteristici simplificate;

- consumatorul complex echivalent de pe bara Timișoara reprezentat prin caracteristici măsurate sau simplificate, restul consumatorilor reprezentați succesiv prin diferite caracteristici simplificate;

- consumatorul complex echivalent de pe bara Slatina reprezentat prin caracteristici măsurate, restul consumatorilor reprezentați prin caracteristici simplificate.

Drept situație de referință s-a considerat cazul cu consumatori reprezentați prin caracteristici statice măsurate, obținute experimental, presupus ca cel mai apropiat de situația reală.

S-au urmărit în mod deosebit valorile maxime, minime și abaterile medii pătratice ale variabilelor θ, Ω, P, Q, U cât și valorile θ_{CI}, Ω_{CI} ale centrelor de inerție față de axa sincronă. Selecția acestor mărimi pentru a caracteriza regimul a fost dictată de considerentul că θ și Ω sînt mărimi ce caracterizează fenomenul electromagnetic la GS, iar P, Q, U sînt mărimi la bornele generatorului și valorile $\frac{dP}{dU}$ respectiv $\frac{dQ}{dU}$ caracterizează stabilitatea sistemului electroenergetic. Distanța față de limita de stabilitate statică se va aprecia prin valoarea raportelor $\frac{\theta_{maxGSi}}{\theta_{maxCI}}$ știut fiind că o valoare mai mare

a acestuia, indică un regim mai apropiat de limita de stabilitate. De asemenea cazul caracterizat prin valori mai mari pentru abaterile medii pătratice, prezintă oscilații mai mari, deci este mai puțin stabil.

Se va numi în continuare "optimist" cazul care aduce sistemul mai departe de limita de stabilitate ($\frac{\theta_{max}}{\theta_{CI_{max}}}$)_{real} $> \frac{\theta_{max}}{\theta_{CI_{max}}}$ și respectiv "pesimist" dacă ($\frac{\theta_{max}}{\theta_{CI_{max}}}$)_{real} $< \frac{\theta_{max}}{\theta_{CI_{max}}}$.

Studiind curbele de oscilații din figurile 5.9...5.12 se evidențiază următoarele aspecte:

- Ge eratoarele de la PDF15B și PDF15A sînt mai apropiate

te de limita de stabilitate (amplitudinea oscilațiilor e mai mare, amortizarea acestora durează mai mult față de situația GS de la Turceni, Rovinari sau Mintia).

- Pentru fiecare centrală viteza unghiulară Ω este defazată cu $\frac{\pi}{2}$ față de unghiul rotorului θ , ceea ce oglindește de fapt fenomenul fizic, Ω fiind derivata lui θ .

- Unghiul δ al tensiunii la borne față de axa sincronă variază practic sinfazic cu unghiul θ al rotorului.

- Abaterea puterii la borne P , urmărește variația abaterii unghiului θ .

- La scăderea tensiunii la borne U , tensiunea de excitație U_{ex} crește, evidențiindu-se astfel acțiunea SRAE.

- Variația vitezei unghiulare Ω și ale cuplului mecanic C_m reflectă acțiunea SRAV: la creșterea turației se produce o scădere a C_m cu întârzierea dată de constanta de timp a RAV.

5.2.3.2. Toti consumatorii din SEE reprezentați prin același fel de caracteristici statice de putere funcție de tensiune măsurate sau simplificate

În tabelul nr. 5.11 se prezintă valorile indicilor de calitate în regim stabil considerând consumatorii reprezentați conform cazurilor 1-8 din tabelul nr. 5.8 iar în tabelul nr. 5.12 se dau valorile θ_{max} ale fiecărui GS raportate la valoarea unghiului centrului de inerție θ_{CImax} . Pentru a ilustra oscilațiile principalelor mărimi caracteristice GS în cele opt cazuri considerate s-au prezentat în figurile 5.13...5.22 variația în

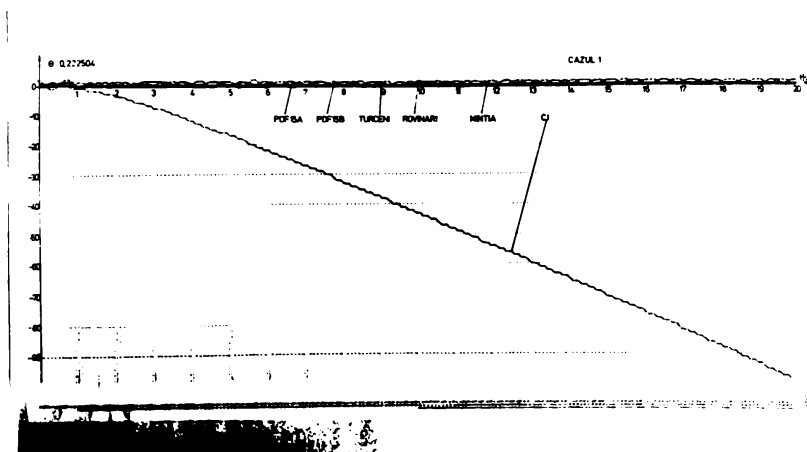


Fig.5.13.
Variația $\theta=f(t)$.
Cazul 1

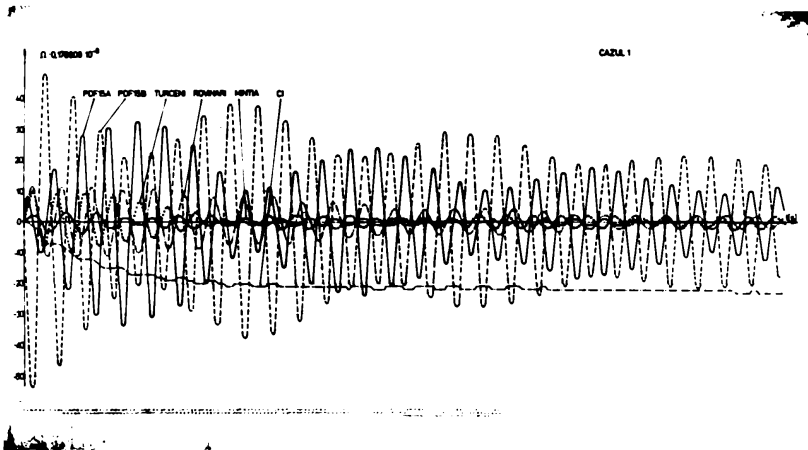


Fig.5.14.Variația $\Omega=f(t)$.Cazul 1.

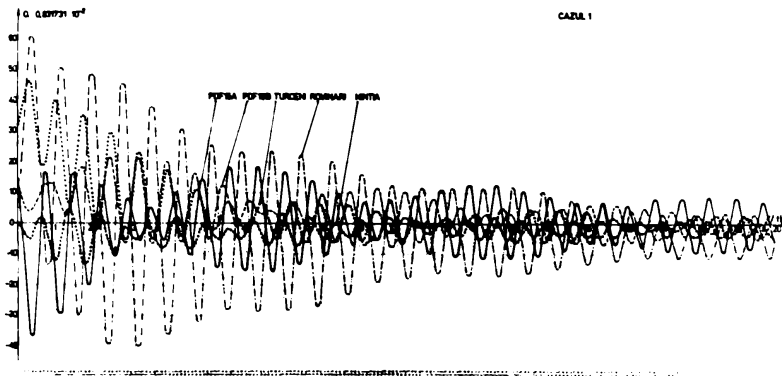


Fig.5.15.Variația $Q=f(t)$.Cazul 1.

timp a unora din mărimile analizate, considerate mai semnificative.

Analizând variația în timp a mărimilor din figurile 5.13..
...5.22 se constată următoarele fenomene:

În figura 5.13 - sînt prezentate oscilațiile unghiurilor rotoarelor GS față de centrul de inerție și a acestuia față de axa sincronă. Se observă că:

- GS nu oscilează sinfazic, ceea ce se explică prin caracteristicile mecanice și electrice diferite;

- Amplitudinile oscilațiilor față de centrul de inerție sînt mai mici la Mintia, Turceni și Rovinari în comparație cu

TABELUL nr. 5.11

Indici		θ · 10 ²						Σ · 10 ³						P						Q · 10 ³						U · 10 ³		OI														
		PDF	Turo.	Rovi.	Mint.	PDF	Turo.	Rovi.	Mint.	PDF	Turo.	Rovi.	Mint.	PDF	Turo.	Rovi.	Mint.	PDF	Turo.	Rovi.	Mint.	PDF	Turo.	Rovi.	Mint.	PDF	Turo.	Rovi.	Mint.	PDF	Turo.	Rovi.	Mint.	PDF	Turo.	Rovi.	Mint.	PDF				
		15A	15B	15A	15B	15A	15B	15A	15B	15A	15B	15A	15B	15A	15B	15A	15B	15A	15B	15A	15B	15A	15B	15A	15B	15A	15B	15A	15B	15A	15B	15A	15B	15A	15B	15A	15B					
1) Distribuție	21,02	24,025	21,466	7,67	4,57	2,762	9,02	1,71	1,29	0,009	1,516	1,731	0,361	11,25	4,43	1,55	1,78	3,09	5,02	0,45	2,452	4,21	4,85	4,20	1,82	1,9262	0															
2) Distribuție	23,30	24,09	19,62	9,84	6,21	2,915	0,99	1,01	2,29	0,079	1,561	1,723	0,233	10,44	4,022	2,92	2,05	2,462	1,01	2,14	2,07	7,44	9,44	7,54	2,92	2,88,98	9,17172															
3) Distribuție	23,76	24,04	1,025	0,12	4,83	6,492	9,04	1,74	2,07	0,814	1,608	1,72	0,471	14,78	0,15	2,18	2,27	3,42	3,75	0,08	3,47	2,21	6,49	2,94	3,22	1,9446	0															
4) Distribuție	23,44	24,07	1,764	0,52	5,01	2,10	5,024	1,77	2,09	0,043	1,538	1,72	0,287	9,67	2,10	2,19	1,29	2,44	2,14	0,05	2,09	2,36	6,18	2,25	3,11	1,0406	9,26665															
5) Distribuție	23,23	24,05	1,58	7,98	4,69	6,293	9,022	1,72	2,06	0,671	1,627	1,731	0,49	12,65	0,03	2,44	2,36	2,05	1,09	0,66	4,30	6,08	7,15	6,22	4,03	1,958	0															
6) Distribuție	21,09	24,02	4,327	7,87	4,35	2,76	9,402	1,71	2,04	0,091	1,519	1,721	0,338	11,17	4,25	1,52	1,77	3,02	2,07	0,52	2,452	4,28	4,72	4,25	1,69	1,9262	0															
7) Distribuție	20,16	24,01	3,16	11,9	5,438	4,97	9,14	2,09	2,35	7,58	1,312	1,74	0,221	7,1	14,58	2,4	1,87	2,75	9,15	1,3	0,43	4,29	4,96	4,22	1,88	1,94888	0															
8) Distribuție	21,7	24,19	1,33	8,81	1,17	5,109	2,44	1,59	1,19	0,64	1,51	1,59	0,208	2,12	2,04	2,11	0,62	0,48	2,19	1,12	0,64	0,94	0,66	1,2	0,5	2,7292																
9) Distribuție	21,9	24,17	1,33	9,5	1,06	5,97	0,65	1,58	2,12	0,05	1,56	1,64	0,308	10,5	4,10	7,17	2,35	1,10	4,08	0,02	0,87	1,14	1,07	1,44	1,5	2,344	0															
10) Distribuție	24,5	24,15	1,15	8,8	2,04	6,35	9,58	1,45	1,95	0,06	1,53	1,46	0,308	9,89	6,16	4,66	1,03	0,68	2,93	1,59	1,08	1,31	1,32	1,9	1,6	2,12,5	7,77377															
11) Distribuție	24,2	24,52	1,13	10,6	0,79	5,05	9,54	1,55	2,08	0,64	1,57	1,66	0,305	9,62	3,07	4,04	0,97	0,64	3,03	3,44	0,65	0,97	0,84	1,33	0,6	2,06	0,0585035															
12) Distribuție	23,9	24,0	1,13	8,00	1,88	6,21	9,58	1,5	1,95	0,73	1,53	1,53	0,308	9,48	4,08	5,5	1,31	0,756	2,05	3,25	0,94	1,31	1,35	1,91	1,2	2,02,4	5,94564															
13) Distribuție	21,7	24,12	1,13	8,01	0,94	5,08	9,48	1,59	1,91	0,64	1,51	1,59	0,308	9,4	2,9	3,06	0,68	0,52	3,1	1,15	0,63	0,91	0,63	1,17	0,5	2,149,4	5,92107															
14) Distribuție	22,01	24,16	1,13	8,16	0,81	5,94	9,49	1,58	1,89	0,65	1,51	1,58	0,308	9,51	3,15	3,25	0,62	0,49	3,4	1,16	0,87	0,97	0,71	1,29	0,58	2,209,2	4,22904															
15) Distribuție	100,18	148,6	106,5	406	14,3	5,104	9,40	1,58	5,165	0,29	5,10	5,1	5,817	11,55	12,68	347,15	125,7	239	7,57	12,7	2,0,8	0,15	0,15	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		
16) Distribuție	8,45	12,4	2,4	3,15	1,05	2,34	3,48	0,49	0,79	0,185	0,238	0,636	0,09	4,27	1,23	0,75	0,497	0,244	1,49	0,26	0,75	0,78	0,74	0,94	0,37	641,57	0,70938															
17) Distribuție	8,67	12,32	2,2	2,93	1,56	2,37	3,42	0,40	0,88	0,272	0,637	0,628	0,06	4,02	1,2	1,41	0,789	0,66	1,04	0,42	1,36	1,52	1,66	1,63	1,41	85,0	9,12902															
18) Distribuție	8,34	12,42	2,13	2,1	1,26	2,46	3,42	0,42	0,429	0,176	0,67	0,6	0,69	3,66	2,28	1,05	0,637	0,728	1,16	0,13	0,61	1,05	1,16	1,26	0,77	1206,2	1,26292															
19) Distribuție	0,61	12,41	2,25	3,26	1,05	2,37	3,48	0,42	0,63	0,488	0,639	0,637	0,09	3,99	0,89	0,91	0,578	0,727	0,88	0,75	0,87	1,11	1,15	1,19	0,63	30,83	0,06276															
20) Distribuție	0,88	12,42	2,07	2,25	1,2	2,42	3,46	0,40	0,81	0,406	0,64	0,62	0,07	4,28	1,65	1,15	0,87	0,724	0,81	0,62	0,97	1,2	1,22	1,28	0,85	347,9	1,063															
21) Distribuție	8,43	12,41	2,46	3,14	0,96	2,33	3,48	0,49	0,79	0,18	0,627	0,635	0,089	4,062	1,21	0,746	0,499	0,657	1,51	0,26	0,944	0,82	0,81	0,89	0,34	63,15	9,776957															
22) Distribuție	0,47	12,43	2,46	3,12	0,92	2,34	3,48	0,48	0,78	0,187	0,62	0,63	0,08	4,11	1,33	0,77	0,583	0,634	1,43	0,26	0,57	0,85	0,86	0,95	0,38	790,8	9,70077															
23) Distribuție	0,05	11,0	2,16	2,12	0,92	2,35	3,48	0,55	1,33	0,179	1,119	7,41	8,24	246	270,3	74	27	61,6	161	27,5	136,6	90,94	115	86	47	64315,15	304,614															

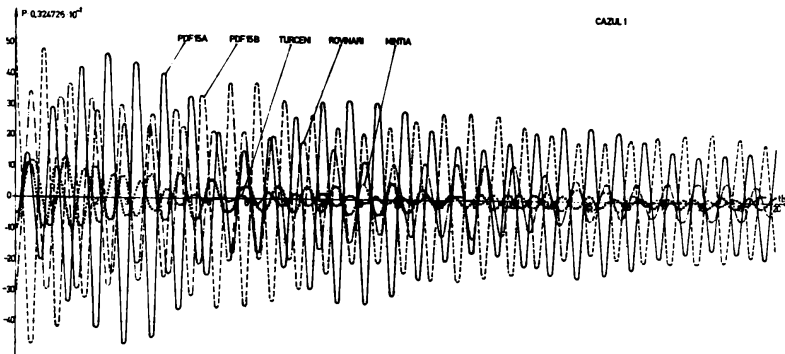


Fig.5.16. Variația $P=f(t)$. Cazul 1.

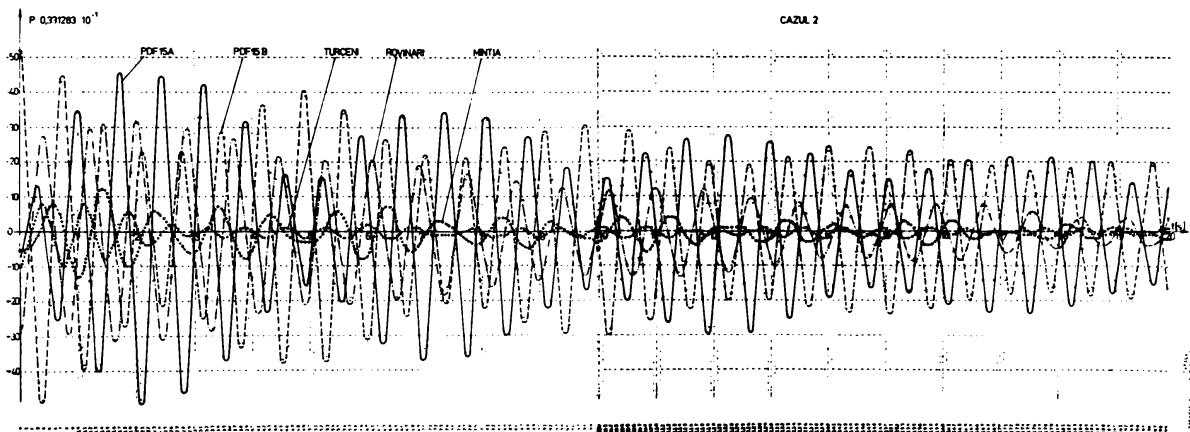


Fig.5.17. Variația $P=f(t)$. Cazul 2.

PDF15A și PDF15B, lucru explicabil dacă se are în vedere raportul dintre constantele de inerție ale GS din centralele respective.

2) Urmărind modul de variație a vitezelor unghiulare Ω (fig.5.14) se observă că rotoarele GS de la PDF15A și PDF15B prezintă o variație mult mai pronunțată decât la Mintia, Rovinari și Turceni (în primele momente de cca. 4 ori) datorită accelerațiilor mai importante la care sînt supuse, cît și datorită inerției lor mecanice mai reduse.

3) In figura 5.15 se prezintă variația în timp a puterilor reactive la bornele GS. Se observă că abateri importante ale puterii debitate de PDF15A sînt relativ rapid amortizate, iar abateri mai mici ale puterii GS de la Mintia sînt mai încet amortizate.

4) Modul de variație al puterii active debitate de GS și prezentate în figurile 5.16...5.19 pentru cîteva din cazurile analizate, arată oscilații mult mai mari pentru GS la PDF 15A și PDF 15B în comparație cu Turceni și Rovinari.

5) Variația în timp a tensiunilor la bornele GS, prezentată pentru cîteva cazuri în figurile 5.20...5.22, evidențiază o variație sinfazică pentru toate cele cinci centrale, iar diferențele între valori sînt relativ mici pentru GS de la PDF15B și Rovinari. Acest fenomen se explică prin cuplajul electric strîns între aceste centrale, ca urmare a unei legături directe prin LEA de 400 kV.

Studiind aceste oscilații se evidențiază următoarele aspecte:

In cazul caracteristicilor simplificate de tipul "putere activă și reactivă constante" respective de tip "normale" rezultatele sînt optimiste, în timp ce în cazul consumatorilor de tipul "impedanță const." și "curent const.", rezultatele sînt în majoritate ușor pesimiste, "cazul considerării caracteristicilor "liniare" conducînd la rezultatele cele mai apropiate de situația reală.

TABELUL nr.5.12

-----Valori caracteristice regim stabil-----								
Nr. crt.	Cazul	mărimi max/θ _{GI} max						
		GS	PDF15A	PDF15B	Turc.	Rov.	Mint.	
1	2	3	4	5	6	7		
1.	Toți consumatorii caracteristici măsurate		10,847	18,0007	1,2120	3,9614	2,3632	
2.	Toți consumatorii caracteristici, P,Q const.		0,0806	0,1347	0,00719	0,038	0,0244	
3.	Toți consumatorii caracteristici Z=const.		11,974	17,578	0,955	4,117	2,434	
4.	Toți consumatorii caracteristici "Normali"		0,206	0,335	0,0171	0,0822	0,0481	

TABELUL nr.5.12(continuare)

1	2	3	4	5	6	7
5.	Toți consumatorii caracteristici $I=ct.$	11,804	17,723	0,803	4,055	2,3857
6.	Toți consumatorii caracteristici liniare	10,8512	18,008	1,2157	3,966	2,3715
7.	Toți consumatorii caracteristici teoretice	10,8466	17,9	1,155	3,858	2,305
8.	Toți consumatorii caracteristici cu efect reglant negativ	0,00006	0,00012	0,000017	0,0000394	0,0018

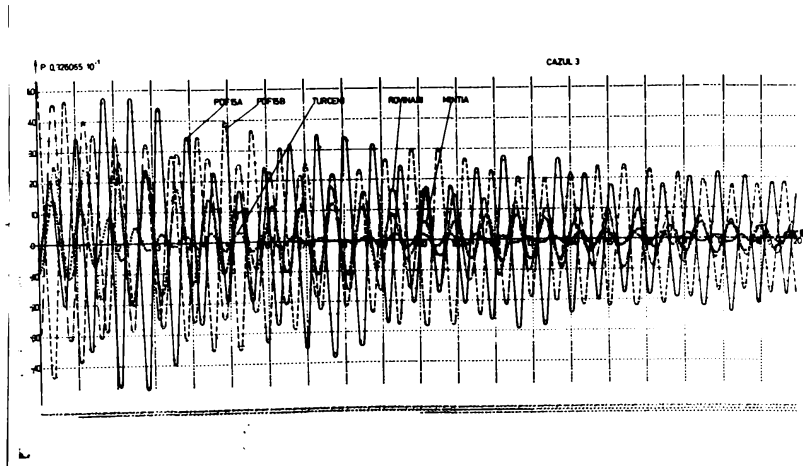


Fig.5.18.
Variația $P=f(t)$.
Cazul 3.

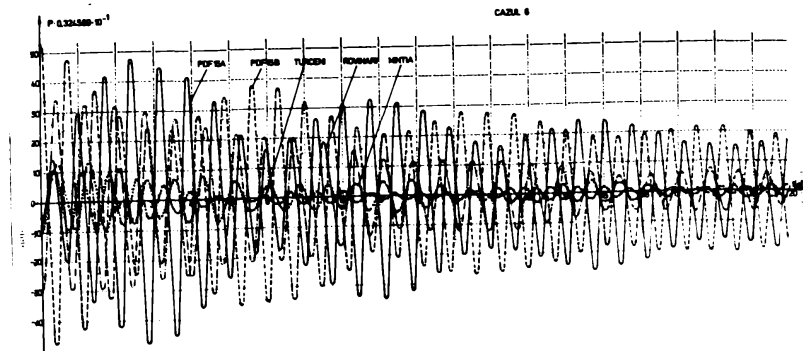


Fig.5.19.
Variația $P=f(t)$.
Cazul 6.

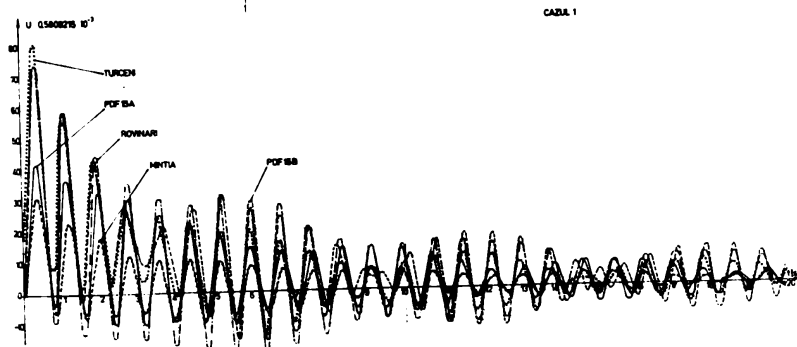


Fig.5.20.
Variația $U=f(t)$.
Casul 1.

- Situația menționată se referă la SEE în ansamblu. Analizând însă situația fiecărei centrale se observă că în cazurile Z constant și I constant situația este pesimistă mai ales pentru GS de la PDFA, Rovinari și ușor optimistă pentru cele de la Mintia, în timp ce pentru GS de la PDFB și Turceni, rezultatele sînt optimiste, ceea ce conduce la concluzia că analiza trebuie făcută de la caz la caz, pentru fiecare GS, neputîndu-se accepta în general verdictul dat în literatură că o anumită metodă conduce la rezultate pesimiste sau optimiste.

- Efectul reglant al sarcinii influențează rezultatul în sensul că cu cît efectul reglant este mai mic, sistemul devine mai stabil (a se vedea valorile $\frac{\theta_{MAX}}{\theta_{CImax}}$ din tabelul nr.

5.11 pentru cazul cu caracteristici măsurate, respectiv cazul 2 sau 7. . .

- Inversarea semnului efectului reglant are o pronunțată influență asupra calculului de stabilitate statică conducînd la rezultate foarte distanțate de situația obținută pe cale experimentală (vezi tabelul nr.5.1b și nr.5.12).

- Se observă analizînd datele din aceste tabele că generatoarele PDFA și PDFB se află mai aproape de limita de stabilitate statică în comparație cu generatoarele de la Turceni, Rovinari sau Mintia, situație ce a ieșit în evidență și din a-

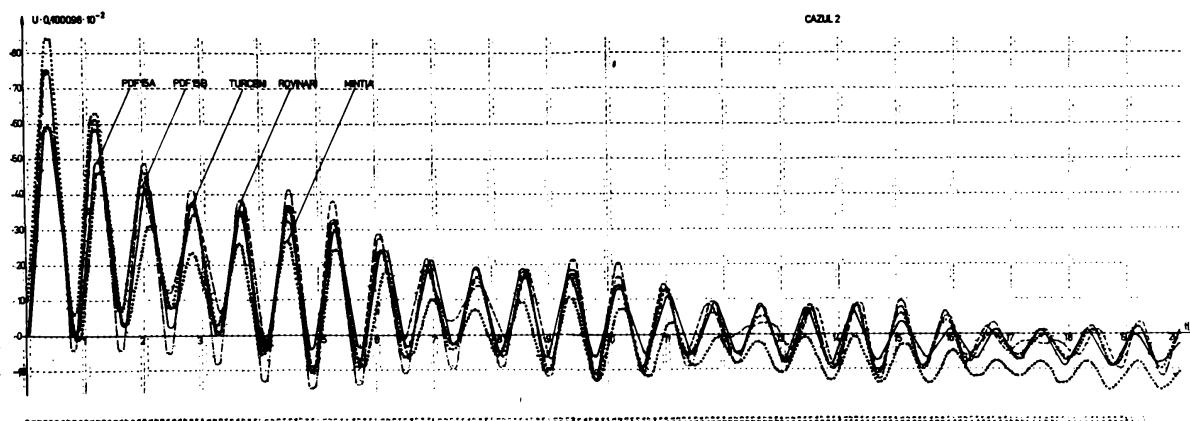


Fig.5.21. Variația $U=f(t)$. Cazul 2.

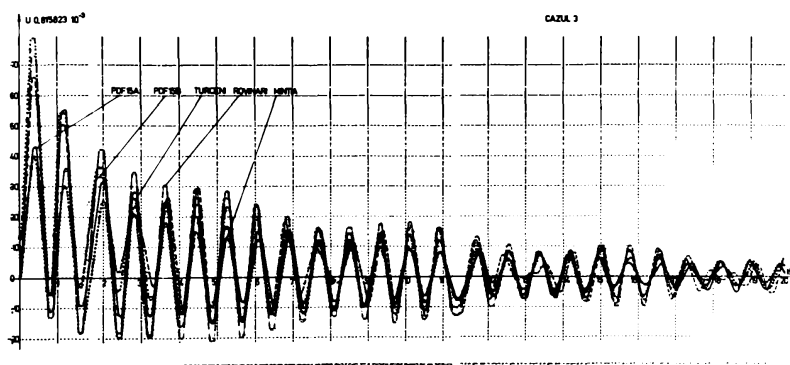


Fig.5.22
Variația $U=f(t)$.
Cazul 3

naliza curbelor de oscilație obținute - figurile 5.9 -5.22 .

- Comparînd valorile indicilor de calitate ai GS din SEE considerat, se observă că în toate cazurile comportarea relativă a GS din SEE rămîne aceeași: astfel dacă în situația considerării consumatorului prin caracteristici de tipul L, Q -constant, GS de la Mintia se află cel mai departe de limita de stabilitate statică, în toate celelalte cazuri în această situație se află GS de la Turceni, de unde se poate trage concluzia că prezintă importanță modul de reprezentare a consuma-

torului pentru aprecierea distanței de limita de stabilitate a GS.

- Se observă că rezultatele obținute pentru cazurile "P,Q=const." și "Normale" sînt relativ apropiate, diferența datorîndu-se efectului reglant al puterii reactive.

- Efectul reglant al puterii active are o pronunțată influență, cazul "Z=const." ($R_p=2$) modificînd mult rezultatele față de cazul caracteristici "normale" ($R_p=0$).

5.2.3.3. Influența reprezentării consumatorului de pe bara Mintia

S-a considerat sarcina de pe bara Mintia avînd în vedere că pentru calcule s-a presupus nodul Mintia 5 - nod de echilibrare.

În vederea analizei modului de considerare a caracteristicii statice putere-funcție de tensiune a consumatorului racordat pe bara Mintia, s-a presupus în SEE considerat toți consumatorii reprezentați succesiv prin cele cinci cazuri simplificate cu excepția consumatorului de pe bara Mintia 5 care s-a considerat cu caracteristici măsurate, iar apoi consumatorul de la Mintia reprezentat prin caracteristici P,Q=const., toți ceilalți consumatori fiind reprezentați prin caracteristici normale. Rezultatele calculelor sînt prezentate în tabelele nr.5.13 și tabelul nr. 5.14.

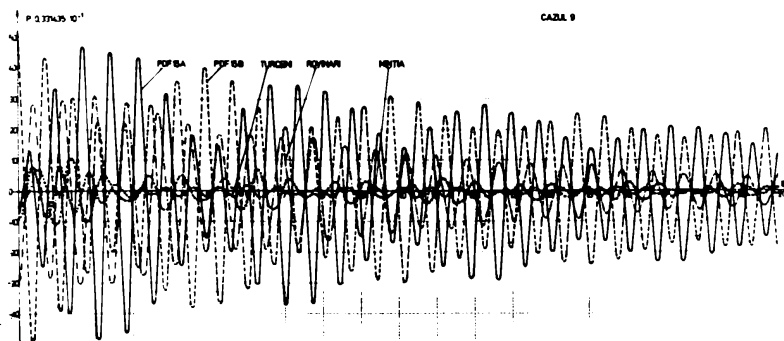


Fig.5.23.
Variația $P=f(t)$.
Cazul 9

TABLEAU no. 5.13

Valori la limită de calitate. Regim stabil. Toți coeficienții au excepția celor de la Minimax 5 (15) reprezentare
 prin caracteristicii admurate (pas. 9...13), respectiv P, Q, ct. (pas. 14).

Măsură	P x 10 ³		Q x 10 ³		R x 10 ³		S x 10 ³		T x 10 ³		U x 10 ³	V x 10 ³	W x 10 ³														
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max																	
(9) P ₁	21,45	34,48	1,67	9,3	5,7	6,05	0,95	1,01	2,19	0,78	15,92	17,33	2,67	10,04	3,01	2,78	2,12	2,68	0,69	1,08	5,64	7,26	0,22	7,36	3,10	1,954	0,23577
(10) P ₂	23,30	34,30	1,09	8,08	4,62	6,45	9,03	1,78	2,06	0,77	16,06	17,3	4,66	14,61	7,56	2,15	2,23	3,42	3,74	1,02	3,48	5,29	6,48	5,80	3,04	1,905	0
(11) P ₃	21,60	34,06	1,78	8,3	4,8	3,94	9,05	1,78	2,04	0,61	15,66	17,33	2,09	9,48	3,12	2,34	2,0	2,05	2,27	0,75	3,04	5,73	5,15	5,50	2,94	1,931	0,27913
(12) P ₄	23,30	34,08	1,58	7,98	4,63	6,40	9,03	1,77	2,05	0,67	16,30	17,31	3,07	12,55	5,32	2,42	2,33	2,87	1,90	0,52	4,24	6,02	7,07	6,44	3,71	1,968	0
(13) P ₅	21,40	34,05	2,35	7,6	4,59	3,76	8,05	1,71	1,99	0,81	15,28	17,3	3,58	11,20	4,35	1,52	1,77	3,02	3,07	0,53	2,42	4,28	4,79	4,26	1,76	1,935	0
(14) P ₆	21,40	34,06	1,8	6,5	5,90	9,03	1,77	2,11	0,84	15,57	17,33	2,87	9,71	3,12	2,15	1,99	2,89	2,34	0,87	3,92	5,58	6,26	5,56	3,25	127,11	2,7268	
(15) P ₇	23,33	36,55	-13,3	-0,9	-1,35	-6,06	-9,60	-1,56	-2,12	-0,75	-15,8	-16,4	-3,05	-10,1	-3,40	-6,9	-2,19	-1,01	-3,59	-0,67	-0,41	-0,48	-1,02	-1,46	-0,79	-0,4	-0,79283
(16) P ₈	24,06	35,60	-13,3	-0,82	-2,4	-6,30	-9,25	-1,46	-1,95	-0,8	-15,3	-14,73	-3,06	-9,86	-5,64	-4,8	-1	-0,67	-3,06	-1,42	-1,03	-1,3	-1,28	-1,90	-1,46	-4,175	-76,941
(17) P ₉	22,40	35,30	-13,6	-0,79	-0,94	-6,0	-9,33	-1,55	-2,03	-0,82	-15,9	-16,6	-3,05	-9,43	-2,91	-4,6	-0,96	-0,60	-2,07	-3,10	-0,84	-1	-0,84	-1,34	-0,37	-15,166	-0,69121
(18) P ₁₀	23,90	36	-13,5	-0,80	-1,04	-6,22	-9,38	-1,56	-1,95	-0,73	-15,4	-15,4	-3,06	-9,48	-4,02	-5,4	-1,25	-0,75	-2,03	-2,78	-0,93	-1,31	-1,34	-1,90	-0,12	-3,156	-58,476
(19) P ₁₁	21,72	34,9	-13,6	-0,81	-0,94	-5,88	-9,40	-1,59	-1,91	-0,84	-15,70	-16,08	-3,06	-9,48	-3,06	-3,06	-0,43	-0,52	-3,50	-1,13	-0,63	-0,91	-0,63	-1,17	-0,53	-2,148	-59,473
(20) P ₁₂	22,44	35,50	-13,6	-0,80	-1,10	-5,94	-9,34	-1,55	-2,11	-0,84	-15,48	-16,61	-3,06	-9,48	-3,1	-4,50	-0,47	-0,66	-3,07	-3,06	-0,66	-0,47	-0,43	-0,33	-0,63	-2,136	-0,5943
(21) P ₁₃	21,72	34,4	2,12	3,57	8,28	2,39	3,43	8,12	8,07	8,23	6,44	6,23	8,67	4,41	3,45	3,33	8,78	8,59	8,75	3,26	3,26	3,4	1,24	1,24	0,89	-7,463	-0,16646
(22) P ₁₄	21,72	34,4	2,12	3,57	8,28	2,39	3,43	8,12	8,07	8,23	6,44	6,23	8,67	4,41	3,45	3,33	8,78	8,59	8,75	3,26	3,26	3,4	1,24	1,24	0,89	-7,463	-0,16646
(23) P ₁₅	21,72	34,4	2,12	3,57	8,28	2,39	3,43	8,12	8,07	8,23	6,44	6,23	8,67	4,41	3,45	3,33	8,78	8,59	8,75	3,26	3,26	3,4	1,24	1,24	0,89	-7,463	-0,16646
(24) P ₁₆	21,72	34,4	2,12	3,57	8,28	2,39	3,43	8,12	8,07	8,23	6,44	6,23	8,67	4,41	3,45	3,33	8,78	8,59	8,75	3,26	3,26	3,4	1,24	1,24	0,89	-7,463	-0,16646
(25) P ₁₇	21,72	34,4	2,12	3,57	8,28	2,39	3,43	8,12	8,07	8,23	6,44	6,23	8,67	4,41	3,45	3,33	8,78	8,59	8,75	3,26	3,26	3,4	1,24	1,24	0,89	-7,463	-0,16646
(26) P ₁₈	21,72	34,4	2,12	3,57	8,28	2,39	3,43	8,12	8,07	8,23	6,44	6,23	8,67	4,41	3,45	3,33	8,78	8,59	8,75	3,26	3,26	3,4	1,24	1,24	0,89	-7,463	-0,16646

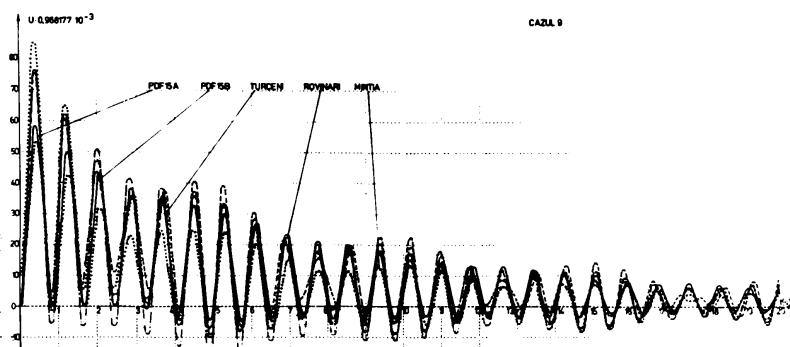


Fig.5.24.
Varietatea $U=f(t)$.
Cazul 9.

TABELUL nr.5.14

Valori caracteristice						
Nr. crt. ca- zul	mărimea	$\theta_{max}/\theta_{CImax}$				
		GS	PDFA	PDFB	Turc.	Rov.
1	2	3	4	5	6	7
1.	(9) Toți consumatorii P,Q=const. Mint.5-caracteristici măsurate	19,975	17,85	0,856	4,76	2,916
2.	(10) Toți consumatori Z=const., Mintia 5-caracteristici măsurate	11,88	17,5854	0,954	4,071	2,33
3.	(11) Toți consumatorii caracteristici normale; Mintia 5 caracteristici măsurate	11,20	18,05	0,915	4,3	2,486
4.	(12) Toți consumatorii caract.I=ct. Mintia 5, caracteristici măsurate	11,84	17,72	0,804	4,045	2,35
5.	(13) Toți consumatori caract.Liniere Mint.5 caract.măsurate	10,85	18,006	1,216	3,966	2,371

TABELUL nr.5.14(continuare)

1	2	3	4	5	6	7
6.	(14)Toți consumatorii caract. normale; Mint.5 caract. P,Q=ct.	0,168	0,274	0,014	0,0677	0,03973

Analizând aceste rezultate se observă că:

- În cazul considerării tuturor consumatorilor din SEE cu excepția celor de la Mintia 5- de tip Z=const., I=const. sau liniar, iar cel de la Mintia cu caracteristici măsurate, situația practic este neschimbată cu cazurile când și consumatorul de pe bara Mintia se reprezenta prin caracteristici de tip Z=const., I=const., respectiv liniare.

- În schimb, în cazul când toți consumatorii din SEE cu excepția celor de la Mintia 5 sînt reprezentați prin caracteristici P,Q const., respectiv prin caracteristici normale, în timp ce consumatorul de la Mintia se reprezintă prin caracteristici reale, situația se schimbă mult față de cazul când și consumatorul de la Mintia s-ar reprezenta prin caracteristici P,Q const. respectiv normale. Considerînd consumatorul din Mintia prin caracteristici măsurate, în această situație rezultatele se apropie de cele din situația când toți consumatorii din SEE se reprezintă prin caracteristici măsurate.

- Considerarea consumatorului Mintia 5 prin caracteristici de tip P,Q const., în timp ce toți ceilalți consumatori sînt reprezentați prin caracteristici normale conduce la rezultate intermediare între cazurile 2 și 4 din tabelul nr.5.12.

5.2.3.4. Influența reprezentării consumatorului de pe bara Rovinari

S-a presupus în SEE considerat diferite cazuri, în care toți consumatorii, cu excepția celui din nodul 15-Rovinari, sînt reprezentați succesiv prin caracteristici simplificate, consumatorul 15-Rovinari fiind reprezentat prin caracteristici măsurate și cazul când consumatorul din nodul 4 Rovinari este reprezentat prin caracteristici măsurate restul consumatorilor fiind reprezentați prin caracteristici normale. Rezultatele calculelor sînt prezentate în tabelele nr.5.15 , 5.16 și pentru exemplificare - figura 5.25. S-a considerat consumatorul de pe bara Rovinari avînd în vedere că acesta este practic sarcina locală pentru centrula Rovinari.

TABELUL nr. 5-15

Valoarea indicilor de calitate Regim stabil. Toți consumatorii cu excepția celor de la Rovinari 15 - reprezentanți prin caracteristicile simplificate. Cel de la Rovinari 15 (400 KV) reprezentat prin caracteristicile măsurate (pot. 15...19) respectiv toți caracteristicile normale. Rov. 4(24 KV) caracteristicile măsurate		Rov. 4(24 KV)		Rov. 4(24 KV)		Rov. 4(24 KV)		Rov. 4(24 KV)		Rov. 4(24 KV)		Rov. 4(24 KV)															
Indice	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27														
(15) Toți consumatorii	21,05	24,07	1,75	9,36	5,94	0,95	1,79	2,24	0,8	15,17	17,33	2,79	10,01	3,005	2,62	2,06	2,63	1,25	1,17	5,3	6,87	7,70	6,8	5,33	457,01	9,3104	
(16) Toți consumatorii	23,98	24,07	1,04	0,10	5,11	6,50	9,06	1,75	2,07	0,99	16,3	17,3	4,25	13,4	7,91	2,09	2,16	3,36	0,13	3,3	5,15	6,15	5,58	2,92	19 662	0	
(17) Toți consumatorii	24,36	24,06	1,01	0,36	4,89	5,67	9,04	1,77	2,06	0,62	15,15	17,33	2,03	9,45	2,97	2,07	1,95	2,00	2,45	0,04	3,74	5,41	5,98	5,31	2,99	249,82	5,00396
(18) Toți consumatorii	23,41	24,07	1,49	7,93	4,35	6,40	9,05	1,77	2,05	0,69	16,4	17,31	3,70	11,7	5,43	2,3	2,23	2,90	1,01	0,64	4,01	5,79	6,70	6,03	3,60	1,9354	0
(19) Toți consumatorii	21,01	24,05	2,35	7,68	4,60	5,76	9,05	1,71	1,99	0,61	15,2	17,3	3,59	11,17	4,36	1,55	1,70	3,82	5,08	0,53	2,42	4,28	4,79	4,25	1,70	1,9354	0
(20) Toți consumatorii	21,21	24,06	1,01	0,35	4,94	5,04	9,04	1,77	2,06	0,62	15,14	17,33	2,05	9,44	3,02	2,05	1,93	2,90	2,65	0,06	3,73	5,4	5,97	5,16	3	190,49	3,90061
(21) Toți consumatorii	22,44	26,34	13,45	9,13	1,61	5,07	9,64	1,59	2,21	0,77	15,15	15,15	2,05	10,35	3,02	0,4	1,02	2,47	3,17	7,14	0,62	0,91	0,92	1,23	0,78	2,225	0,500926
(22) Toți consumatorii	24,78	25,25	13,45	0,40	2,03	6,49	9,52	1,42	1,94	0,92	15,15	15,15	2,05	9,15	6,65	4,35	0,92	0,92	2,10	1,42	1,02	1,02	1,13	1,64	1,61	2021,7	72,4094
(23) Toți consumatorii	24,28	24,80	13,45	0,79	1,09	5,96	9,29	1,53	2,05	0,62	15,15	15,15	2,05	9,44	3,0	4,45	0,91	0,62	2,10	0,62	0,92	0,78	1,20	0,92	2,200	0,52736	
(24) Toți consumatorii	23,72	25,62	13,45	0,17	4,05	6,24	9,25	1,49	1,93	0,71	15,17	15,17	2,06	9,46	4,02	2,05	1,12	0,73	2,63	0,05	1,23	1,17	1,70	1,12	2570,7	47,3255	
(25) Toți consumatorii	21,71	24,32	13,45	0,11	2,17	7,90	9,40	1,29	1,91	0,64	14,2	15,19	2,05	9,40	2,90	2,09	0,29	0,47	1,12	0,95	0,95	0,60	1,21	0,92	1074,2	20,1001	
(26) Toți consumatorii	22,12	22,20	13,45	0,79	1,42	5,33	9,52	1,55	2,04	0,63	15,15	15,15	2,05	9,49	3,02	4,44	0,9	0,59	3,04	2,27	0,62	0,94	0,72	1,21	0,90	6,206	0,42433
(27) Toți consumatorii	21,06	12,33	2,21	3,12	1,26	2,38	2,43	0,43	0,06	0,43	0,29	0,13	0,60	3,92	1,08	1,27	0,17	0,70	0,10	0,10	0,10	1,20	1,40	1,40	140,1	14,01	
(28) Toți consumatorii	21,06	12,36	2,25	3,12	1,02	2,48	2,41	0,43	0,23	0,42	0,46	0,14	0,83	4,25	1,03	0,97	0,62	0,81	1,07	0,70	1,0	1,09	1,17	0,17	11,013	11,000	
(29) Toți consumatorii	21,06	12,36	2,25	3,12	1,02	2,48	2,41	0,43	0,23	0,42	0,46	0,14	0,83	4,25	1,03	0,96	0,56	0,74	0,11	0,70	0,04	1,08	1,1	1,14	0,11	7,437	1,09992
(30) Toți consumatorii	21,06	12,36	2,25	3,12	1,02	2,48	2,41	0,43	0,23	0,42	0,46	0,14	0,83	4,25	1,03	1,07	0,66	0,76	0,01	0,64	0,90	1,12	1,21	1,27	0,02	7,437	0,78
(31) Toți consumatorii	21,06	12,36	2,25	3,12	1,02	2,48	2,41	0,43	0,23	0,42	0,46	0,14	0,83	4,25	1,03	0,75	0,40	0,04	1,49	0,27	0,56	0,4	0,83	0,31	0,25	205,01	0,5575
(32) Toți consumatorii	21,06	12,36	2,25	3,12	1,02	2,48	2,41	0,43	0,23	0,42	0,46	0,14	0,83	4,25	1,03	0,96	0,55	0,72	0,96	0,73	0,84	1,07	1,11	1,11	0,61	60,66	0,8634

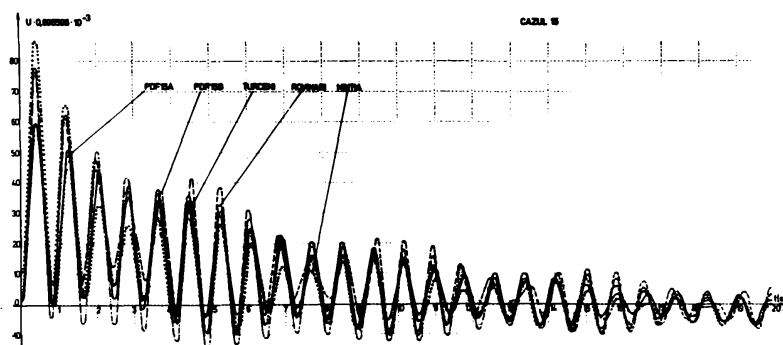


Fig.5.25.
 Variația $U=f(t)$.
 Cazul 15.

TABELUL nr. 5.16

Valori caracteristice							
Nr. crt.	mărimi- Ca- zrul	$\delta_{max} / \delta_{CI_{max}}$					
		GS	PDFA	PDFB	Turc	Rov.	Mint
1.	(15) Toți consumatorii caract. P, Q = const., Rov.15 caract. măsurate		0,04606	0,0763	0,00383	0,020492	0,01295
2.	(16) Toți consumatorii caract. Z=ct. Rov.15 caract. măsurate		12,168	17,736	0,9363	4,16276	2,5999
3.	(17) Toți consumatorii caract. "normale", Rov.15 caract. măsurate		0,0855	0,13954	0,007245	0,03348	0,0196
4.	(18) Toți consumatorii caracteristici I=const., Rov.15 caract. măsurate		11,977	17,842	0,7624	4,0555	2,226
5.	(19) Toți consumatorii caracteristici "liniare", Rov.15 caract. măsurate		10,8557	18,0067	1,21578	3,9661	2,37265
6.	(20) Toți consumatorii caracteristici "normale", Rov.4 caract. măsurate		0,11134	0,183	0,009497	0,04386	0,02591

0.000000

Analizând aceste rezultate se observă că:

- În cazul considerării tuturor consumatorilor din SEE cu excepția celor de la Rovinari 15 cu caracteristici statice de tip "liniare" iar cel de la Rovinari 15 cu caracteristici de tip "măsurate" rezultatele sînt practic aceleași ca în cazul considerării tuturor consumatorilor prin caracteristici liniare .

- Considerarea tuturor consumatorilor din SEE cu excepția celor de la Rovinari 15 de tip $I=const$ sau $Z=const$. în timp ce consumatorul Rovinari 15 este considerat prin caracteristicile sale statice măsurate, conduce la rezultate aproximativ egale cu cele din situația cînd toți consumatorii se consideră prin caracteristici de tipul $I=const$, respectiv $Z=const$.

- Reprezentarea tuturor consumatorilor din SEE cu excepția celor de la Rovinari 15 prin caracteristici de tip $P, Q=const$. respectiv "normale", consumatorul de la Rovinari 15 fiind reprezentat prin caracteristici măsurate, conduce la rezultate ușor optimiste (vezi tabelele nr. 5.15 și 5.11) față de cazul considerării tuturor consumatorilor din SEE prin caracteristici statice de tip $P, Q const$. respectiv normale. Efectul favorabil e mai pronunțat în cazul reprezentării tuturor consumatorilor prin caracteristici normale. De precizat însă că și în aceste cazuri rezultatele sînt mult diferite de situația considerării tuturor consumatorilor prin caracteristici măsurate.

- Considerarea consumatorului Rovinari 4 (racordat pe bara 4) cu caracteristici măsurate, în timp ce toți ceilalți consumatori din SEE sînt reprezentați prin caracteristici "normale" conduce la rezultate asemănătoare cu cazul cînd toți consumatorii se reprezintă prin caracteristici normale, dar consumatorul Rovinari 15 prin caracteristici măsurate.

5.2.3.5. Influența reprezentării consumatorului de bara Timișoara

S-a considerat consumatorul de pe bara Timișoara pe de o parte pentru că pentru acest consumator s-a dispus de caracteristici ridicate experimentale chiar în cadrul acestei lucrări și pe de altă parte, s-a avut în vedere faptul că în SEE considerat consumatorul de pe bara Timișoara 9 este un consumator relativ depărtat de o centrală electrică . Ca și

În cazurile anterioare, s-au considerat succesiv consumatorii din SEE reprezentați prin diferite caracteristici simplificate, în timp ce consumatorul Timișoara a fost reprezentat prin caracteristici statice măsurate, respectiv prin diferite caracteristici simplificate. Rezultatele calculelor se prezintă în tabelul nr.5.17 și tabelul nr.5.18.

În figura 5.26 s-a prezentat pentru exemplificare curba de oscilație a tensiunii pentru cazul 25.

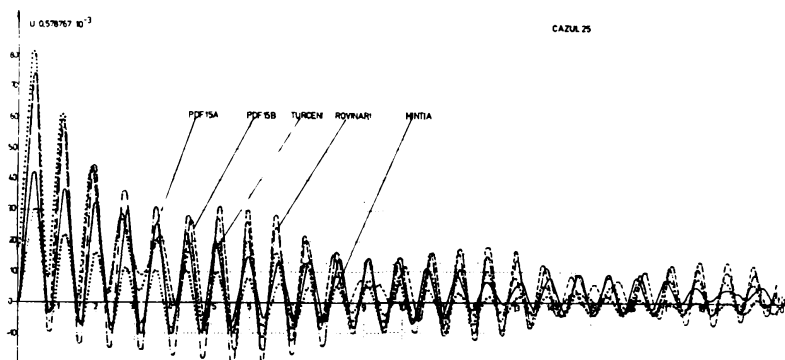


Fig.5.26.
Variație $U=f(t)$.
Cazul 25

Analizând aceste rezultate se observă, că:

- Dacă se consideră consumatorul de pe bara Timișoara reprezentat prin caracteristici statice măsurate, toți ceilalți consumatori din SEE considerat fiind reprezentați prin consumatori de tipul $P, Q = \text{const.}$, rezultatele obținute din punctul de vedere al aprecierii distanței față de limita stabilității statice sînt asemănătoare cu cele din cazul considerării tuturor consumatorilor din SEE prin caracteristici "normale".

- Considerînd consumatorul de pe bara Timișoara de tip "măsurate" restul consumatorilor fiind numai de tip $Z = \text{const.}$ sau respectiv $I = \text{const.}$, se obțin rezultate similare cu cazurile considerării tuturor consumatorilor prin caracteristici statice de tip $Z = \text{const.}$, respectiv de tip $I = \text{const.}$

- Considerînd consumatorul din Timișoara prin caracteris-

TABELUL nr.5.18

Nr. crt.	mări- mea Ca- zul	$\theta_{max}/\theta_{CI_{max}}$				
		GS	PDFA	PDFB	Turc.	Rovi.
1.	(21) Toți consumat. caract. P,Q const. Tmş.9 caract. măsurate	0,209245	0,338374	0,0165	0,090385	0,055514
2.	(22) Toți consumat. caract. Z-const. Tmş.9 caract. măsurate	11,786765	17,64221	1,00724	4,03646	2,332851
3.	(23) Toți consumat. caract. "normale" Tmş.9 caract. măsurate	0,390426	0,6322	0,032755	0,15228	0,0805971
4.	(24) Toți consumat. caract. I=const. Tmş.9 caract. măsurate	11,65992	17,79865	0,8905	4,14381	2,432308
5.	(25) Toți consumat. caract. "liniară" Tmş.9 caract. măsurate	10,84859	18,005114	1,21402	3,96193	2,36853
6.	(26) Toți consumat. caract. P,Q=ct. Tmş.9 caract. I=ct.	11,077993	17,90506	0,836003	4,7289	2,88817
7.	(27) Toți consumat. caract. P,Q=ct. Tmş.9 caract. Z const.	11,42576	17,91863	0,74271	4,496963	2,630654
8.	(28) Toți consumat. caract. P,Q ct. Tmş.9 caract. "normale"	0,0852866	0,135354	0,010862	0,03733	0,023575

TABELUL nr. 5.17

Valoarea indicatorilor de calitate. Teji caracteristici cu excepția celor de la Finisajele 9 - reprezentanți prin caracteristici simplificată, cei de la Finisajele prin caracteristici elaborate (pentru 21-25) respectând condițiile de caracteristici simplificată (p. 26-28)

Căsuță	Materi- ală	0 · 10 ²		Q · 10 ³		P · 10		Q · 10		U · 10 ²		0,01 x 10 ²	0,01 x 10 ⁴															
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.																	
Card	PPV15A PPV15B Tura. Rovi. Min.	PPV15A	PPV15B	Tura. Rovi. Min.	PPV15A	PPV15B	Tura. Rovi. Min.	PPV15A	PPV15B	Tura. Rovi. Min.	PPV15A	PPV15B	Tura. Rovi. Min.															
(21)	21,56	34,87	1,7	9,31	5,72	6,05	0,96	1,06	2,22	0,77	15,93	17,33	2,05	10,07	3,71	2,66	2,12	2,63	0,91	1,05	5,33	7,04	7,96	7,14	4,74	103,44	231,925	
(22)	21,30	34,40	1,99	7,98	4,61	6,39	9,03	1,73	2,06	0,78	15,98	17,36	4,66	14,45	7,72	2,12	2,21	3,39	3,64	7,35	3,49	5,31	6,46	5,98	3,17	1,977	0	
(23)	21,53	34,06	1,80	8,39	4,89	5,91	9,05	1,77	2,06	0,62	15,66	17,32	2,88	9,57	0,09	2,113	1,94	2,86	2,35	0,79	3,18	5,40	0,61	5,46	2,88	55,14	1,35094	
(24)	22,04	34,87	1,74	0,11	4,77	0,30	9,02	1,76	2,05	0,07	16,15	17,31	3,96	12,31	5,17	2,41	2,28	2,865	2,16	0,64	4,2	6,01	7,03	6,4	3,75	1,959	0	
(25)	22,0	34,05	2,35	7,67	4,59	5,76	9,05	1,71	1,99	0,6	15,19	17,31	3,66	11,38	4,36	1,31	1,76	3,82	5,07	0,53	2,4	4,28	4,8	4,25	1,76	1,936	0	
(26)	21,57	34,87	1,65	9,21	5,63	6,67	0,95	1,01	2,17	0,76	15,95	17,32	2,93	10,66	3,07	2,01	2,15	2,63	0,73	1,26	5,0	7,23	0,2	7,36	5,33	1,9476	0	
(27)	22,23	34,87	1,45	8,75	5,12	6,26	0,99	1,01	2,06	0,7	16,22	17,26	3,04	9,76	3,04	2,79	2,25	2,63	1,22	1,56	5,3	7,08	0,05	7,23	4,91	1,946	0	
(28)	21,97	34,87	2,8	9,61	6,08	3,94	0,93	1,01	2,27	0,93	15,75	17,35	2,83	10,3	3,03	2,78	2,07	2,63	0,8	1,12	5,60	7,26	8,20	7,34	5,34	275,6	3,28667	
(29)	22,96	36,47	12,5	9,07	1,41	7,99	9,02	11,51	2,28	0,74	15,7	16,5	3,05	10,17	3,16	6,80	1,99	0,98	3,50	6,07	0,5	0,84	0,99	1,48	0,75	2441	0,611	
(30)	23,01	35,64	12,5	9,05	1,13	8,23	9,155	11,46	1,95	0,73	15,2	16,8	3,06	9,05	4,34	4,67	1,00	0,87	3,20	1,35	0,99	1,25	1,25	1,06	1,39	4218,4	75,05	
(31)	22,35	35,47	12,5	9,05	1,13	8,23	9,155	11,46	1,95	0,73	15,2	16,8	3,06	9,05	4,34	4,67	1,00	0,87	3,20	1,35	0,99	1,25	1,25	1,06	1,39	2,404	0,6107	
(32)	22,35	35,97	13,54	0,01	5,4	6,12	9,58	11,56	1,95	0,72	15,2	16,5	3,05	9,54	3,72	3,36	1,22	0,78	2,0	2,96	0,09	1,31	1,32	1,08	1,1	2603,4	54,796	
(33)	21,73	34,91	12,69	0,01	0,94	9,08	9,40	11,59	1,96	0,63	15,12	15,9	2,06	9,5	2,9	3,08	0,43	0,51	3,5	1,13	0,63	0,98	0,63	1,16	0,54	2145,5	35,17	
(34)	23,45	36,55	13,45	0,04	1,07	9,08	9,68	11,56	2,18	0,79	15,8	16,4	3,05	1	3,49	0,01	2,18	0,96	3,48	6,89	0,53	1,05	1,11	1,14	0,98	203,6	5,444	
(35)	23,67	36,44	12,54	0,01	1,04	9,62	11,55	12,06	0,69	15,9	16,3	3,05	1,52	3,20	0,34	2,04	0,92	2,96	6,05	0,79	1,26	1,28	1,69	1,13	1,175	314,9	11,75	
(36)	12,3	36,62	12,5	9,36	1,67	9,97	9,64	11,54	2,29	0,88	15,7	16,5	3,05	1,04	3,19	0,85	2,18	1,17	3,05	7,0	0,43	0,91	0,97	1,41	0,76	23,44	0,5655	
(37)	44,73	34,05	2,42	2,39	2,93	3,43	0,442	0,88	0,23	0,432	0,28	0,68	0,68	1,02	1,02	0,26	0,69	0,73	1,27	1,15	1,34	1,20	1,51	0,92	23,2	0,4398		
(38)	0,62	12,46	2,4	3,42	1,04	2,44	3,47	0,44	0,79	0,23	0,46	0,49	0,64	2,10	1	0,63	0,79	1,2	2,90	0,79	1,02	1,14	1,24	0,7	1283,5	14,96		
(39)	0,66	12,44	2,42	3,34	1,02	2,38	3,47	0,42	0,83	0,24	0,46	0,48	0,68	2,08	0,97	0,57	0,73	1,04	0,65	1,03	1,13	1,18	0,6	18115	0,363			
(40)	0,66	12,41	2,1	3,5	1,59	2,42	3,45	0,41	0,83	0,19	0,49	0,52	0,68	2,08	0,79	0,48	0,68	0,73	0,87	0,64	0,94	1,18	1,30	1,37	0,77	0,9515	9,799	
(41)	0,64	12,44	2,4	3,38	0,98	2,34	3,48	0,43	0,79	0,18	0,47	0,48	0,67	2,08	0,75	0,50	0,85	1,52	0,27	0,54	0,81	0,85	0,88	0,35	654,07	7,705		
(42)	0,72	12,35	2,3	3,53	0,94	2,39	3,44	0,39	0,86	0,22	0,46	0,49	0,66	2,08	0,76	0,4	0,64	0,67	0,77	1,48	1,22	1,44	1,57	0,15	0,15	0,15	0,15	1,1289
(43)	0,72	12,49	2,41	3,47	1,10	2,41	3,44	0,39	0,85	0,23	0,46	0,49	0,66	2,08	0,75	0,4	0,64	0,67	0,77	1,48	1,22	1,44	1,57	0,15	0,15	0,15	0,15	1,1289
(44)	0,69	12,32	2,2	3,42	1,40	2,38	3,42	0,41	0,88	0,23	0,46	0,49	0,66	2,08	0,75	0,4	0,64	0,67	0,77	1,48	1,22	1,44	1,57	0,15	0,15	0,15	0,15	1,1289

tici statice măsurate; restul consumatorilor din SEE prin caracteristici statice de tip "liniară", rezultatele sînt similare cu cele considerînd toți consumatorii reprezentați prin caracteristici măsurate.

- Rezultatele obținute în cazul considerării tuturor consumatorilor din SEE, cu excepția celor de pe bara Timișoara, de tipul P,Q const., iar consumatorul de la Timișoara fie de tipul I const., fie de tipul Z const., vor fi apropiate cu rezultatele obținute considerînd toți consumatorii prin caracteristici statice de tipul I=const. respectiv Z=const.

- Considerînd consumatorul din Timișoara prin caracteristici statice "normale", ceilalți consumatori fiind presupuși cu caracteristici de tipul P,Q const., rezultatele sînt similare cu cazul considerării tuturor consumatorilor din SEE prin caracteristici P,Q const. Această observație conduce din nou la concluzia că efectul reglant al puterii active R_p are un rol important în estimarea limitei stabilității statice a unui SEE (vezi și paragraful 5.2.3.2).

- Se observă că, modificările caracteristicii consumatorului de pe bara Timișoara influențează în foarte mică măsură rezultatele studiului de stabilitate statică a SEE.

5.2.3.6. Influența reprezentării consumatorului de pe bara Slatina

S-a considerat consumatorul de pe bara Slatina pentru că este consumatorul de puterea cea mai mare din SEE studiat, fiind în același timp relativ departe de un centru de producere a energiei electrice.

Ca și în cazurile anterioare, s-au considerat succesiv consumatorii complecși echivalenți din SEE reprezentați prin diferite caracteristici statice simplificate, în timp ce consumatorul de pe bara Slatina s-a considerat reprezentat prin caracteristici măsurate. Rezultatele calculelor se prezintă în tabelele nr. 5.19 și 5.20.

Analizînd aceste rezultate se constată că:

- Dacă se consideră consumatorul complex echivalent de pe bara Slatina reprezentat prin caracteristici statice măsurate, toți ceilalți consumatori din SEE considerat fiind reprezentați prin consumatori de tipul P,Q=const, rezultatele obținute din punctul

Valorile indicilor de calitate. Toți consumatorii
bara Slatina reprezentați prin caracteristici simplificate,

Indice	mări- mea	$\Theta \times 10^2$					P				
		Ca- zul	GS	PDFA	PDFB	Turc.	Rovi.	Mint.	PDFA	PDFB	Turc.
Valori maxime	(29) Toți P,Q ct. Slatina măsurate			19,452	34,891	2,348	10,445	54,197	1,497	1,7311	0,696
	(30) Toți consumat. Z.ct. Slatina măsurate			23,051	34,882	2,393	7,892	4,56	1,574	1,7296	0,467
	(31) Toți Normale, Slatina măsurate			20,398	34,865	2,598	9,457	5,916	1,497	1,7311	0,354
	(32) Toți I.ct. Slatina măsurate			22,214	34,879	2,408	8,175	9,186	1,564	1,730	0,428
	(33) Toți liniare Slatina măsurate			21,01	34,854	2,352	7,673	4,59	1,519	1,7306	0,358
Valori minime	(29) Toți P,Q ct. Slatina măsurate			8,144	83,625	13,54	10,321	2,3	1,437	1,5694	0,308
	(30) Toți Z.ct. Slatina măsurate			23,808	35,313	13,508	8,818	1,72	1,525	1,476	0,306
	(31) Toți Normale Slatina măsurate			21,416	35,617	13,602	9,356	1,585	1,492	1,596	0,308
	(32) Toți I.ct. Slatina măsurate			22,738	35,678	13,525	8,809	1,615	1,493	1,514	0,307
	(33) Toți liniare Slatina măsurate			21,72	34,916	13,633	8,811	0,989	1,516	1,597	0,306
G	(29) Toți P,Q ct. Slatina măsurate			21,91	21,905	2,345	4,06	13,65	0,657	0,6374	0,186
	(30) Toți Z.ct. Slatina măsurate			8,817	12,48	2,3116	3,063	1,227	0,635	0,6286	0,092
	(31) Toți normale Slatina măsurate			8,431	12,32	2,422	3,489	1,371	0,626	0,6296	0,087
	(32) Toți I.ct. Slatina măsurate			8,672	12,37	2,265	3,338	1,242	0,631	0,627	0,088
	(33) Toți liniare Slatina măsurate			8,438	12,41	2,417	3,148	1,026	0,627	0,635	0,089

TABELUL nr.5.19

cu excepția celor de pe
cel de la Slatina reprezentat prin caracteristici măsurate

		U x 10 ³					θ _{CI} x 10
Rov.	Min.	PDFA	PDFB	Turc.	Rov.	Min.	
2,071	2,091	577,1	422,23	458,8	368,9	1,5844	0,196335
1,458	0,792	30,135	47,97	58,36	53,68	29,33	0,197838
1,167	0,452	34	49,7	56,6	51,32	30,97	0,194557
1,338	0,657	35,14	51,97	61,53	56,60	36,29	0,196873
1,117	0,435	24,23	42,76	47,86	42,54	16,95	0,19354
1,127	0,401	1,096	1,197	0,923	8,49	3,497	1,79646
0,989	0,556	9,62	11,48	10,77	1,675	14,952	382,76
1,068	0,333	6,52	10,93	10,9	15,72	10,934	119,822
0,999	0,393	8,11	12,05	11,03	17,08	11,71	337,774
0,949	0,289	6,40	9,367	6,56	11,998	5,33	199,21
0,667	0,552	145	103,5	113,4	91,62	402,7	459,216
0,4553	0,236	6,987	9,24	10,13	11,3	6,85	117,504
0,4325	0,119	6,86	10,04	11,31	11,68	7,14	40,655
0,452	0,163	7,77	9,97	10,8	11,86	7,185	104,204
0,406	0,1208	5,55	8,33	8,32	9,02	3,45	61,5016

TABELUL nr. 5.20

Nr. crt.	mărirea Ca- zul	Valori caracteristice				
		GS	PDFA	PDFB	Ture	Rov1
1.	(29) Toți consumat. caract. P, Q ct. Slatina caract. măsurate	9,90776	17,76637	1,195874	5,32009	2,76042
2.	(30) Toți consumat. caract. Z ct. Slatina, caract. măsurate	11,651452	17,631547	1,2096	3,9890213	2,304916
3.	(31) Toți consumat. caract. Normale Slatina caract. măsurate	10,484331	17,9205	1,3354	4,8610946	3,04075
4.	(32) Toți consumat. caract. I ct. Slatina caract. măsurate	11,283416	17,71675	1,223225	4,1525	4,666104
5.	(33) Toți consumatorii caract. liniare Slatina caract. măsurate	10,855637	18,00863	1,215118	3,9645	2,3712

de vedere al aprecierii distanței față de limita stabilității statice sînt ușor optimiste, în schimb aproximarea acestora prin caracteristici $P=const.$, $Q=KU^2$ conduce la rezultate mai apropiate deși toate optimiste față de cele obținute considerînd toți consumatorii prin caracteristici măsurate.

- Si în această situație considerarea tuturor consumatorilor complecși prin caracteristici liniare, cu excepția celui de la Slatina conduce la rezultatele cele mai apropiate de situația cu caracteristici măsurate.

- Considerînd consumatorul de la Slatina prin caracteristici măsurate, restul consumatorilor fiind reprezentați prin caracteristici de tip $Z=const.$ sau de tip $I=const.$, se obțin rezultate ușor pesimiste.

- În general se poate spune că reprezentarea consuma-

torului complex în nodul Slatina influențează sensibil rezultatele calculelor de stabilitate statică.

5.2.3.7. Influența considerării nodului de echilibrare

În vederea analizei influenței alegerii nodului de echilibrare asupra rezultatelor calculelor în tabelul nr.5.20 se prezintă rezultatele obținute prin același calcul ca în paragrafele anterioare, dar ca nod de echilibrare în loc de nodul nr. 5 (Mintia) s-a considerat nodul 3 (Turceni). Se observă că rezultatele nu sînt sensibil influențate de schimbarea nodului de echilibrare (vezi tabelul nr.5.21), ceea ce de fapt era de așteptat.

5.2.4. Concluzii privind influența reprezentării consumatorului complex echivalent asupra calculelor de stabilitate statică într-un

SEE

La funcționarea în regim permanent, forma de reprezentare a consumatorului complex echivalent prin diferite caracteristici statice putere funcție de tensiune măsurate sau simplificate influențează în mare măsură rezultatele calculelor de stabilitate statică a SEE.

Se observă o mare dispersie a rezultatelor obținute înlocuind caracteristicile statice putere funcție de tensiune măsurate ale consumatorului complex echivalent prin caracteristici simplificate, ceea ce impune utilizarea în calculele de stabilitate statică a caracteristicilor statice măsurate. O eventuală simplificare poate fi admisă, în lipsa caracteristicilor măsurate, prin considerarea caracteristicilor de tip "liniare", care se pot scrie ușor, considerînd efectul reglant de valoare cunoscută de la consumatori cu componență asemănătoare, la care s-au făcut măsurători.

Considerarea în calcule a consumatorului complex echivalent prin caracteristici liniare reprezintă o simplificare față de reprezentarea prin caracteristici măsurate din următoarele motive:

- caracteristicile statice se exprimă prin relații simple, liniare;

TABELUL nr.5.21

Indice	P										θ CI					θ max/θ CImax				
	ca mări					măsurate					ca mări					măsurate				
	GS	PDFB	Turc.	Rovi.	Mint.	x10 ²	PDFB	Turc.	Rovi.	Mint.	PDFB	Turc.	Rovi.	Mint.	PDFB	Turc.	Rovi.	Mint.		
(34) Total P, Q, ct. Mint. măsurate	1,59	1,73	2,87	1,0	0,38	1,95	34,9	1,67	9,3	5,7	21,5	34,9	1,67	9,3	11,0	17,9	0,85	4,77	2,93	
(35) Total P, Q, ct. Mint. măsurate	1,52	1,73	3,6	1,17	0,44	1,94	34,85	2,34	7,64	4,56	21,0	34,85	2,34	7,64	10,85	18,0	1,21	3,95	2,36	
(36) Total P, Q, ct. Z ct.	1,56	1,73	2,83	1,64	0,40	307	34,8	1,85	9,83	6,30	20,9	34,8	1,85	9,83	0,07	0,11	0,006	0,03	0,02	
(37) Total P, Q, ct. Z ct.	1,61	1,73	4,71	1,48	0,81	1,98	34,9	1,9	8,17	4,83	23,7	34,9	1,9	8,17	11,9	17,6	0,95	4,12	2,43	
(34)	1,58	1,64	0,05	1,0	0,36	12,5	36,5	13,5	8,9	1,36	23,3	36,5	13,5	8,9	-	-	-	-	-	
(25)	1,52	1,59	3,06	0,95	0,29	1994	34,9	13,6	8,8	1,0	21,7	34,9	13,6	8,8	-	-	-	-	-	
(36)	1,56	1,64	3,05	1,05	0,41	2,33	36,7	13,5	9,5	1,76	23,0	36,7	13,5	9,5	-	-	-	-	-	
(37)	1,53	1,47	3,06	0,99	0,62	4327	35,6	13,5	8,82	39,0	24,3	35,6	13,5	8,82	-	-	-	-	-	
(34)	0,64	0,63	0,67	0,4	0,1	3,2	12,3	2,17	3,57	1,28	8,72	12,3	2,17	3,57	-	-	-	-	-	
(25)	0,63	0,64	0,89	0,41	0,12	616	12,4	2,4	3,1	1,02	8,44	12,4	2,4	3,1	-	-	-	-	-	
(36)	0,64	0,63	0,68	0,40	0,12	97,6	12,31	2,22	3,63	1,49	8,66	12,31	2,22	3,63	-	-	-	-	-	
(37)	0,64	0,63	0,89	0,46	0,26	1315	12,55	2,2	3,3	1,9	9,04	12,55	2,2	3,3	-	-	-	-	-	

- exprimarea este funcție de efectul reglant al puterii active, respectiv reactive, efect care are aceeași valoare pentru un anumit tip de consumator și poate fi estimat prin analogie cu consumatorii similari la care s-au făcut măsurători.

Analiza rezultatelor obținute indică existența unor puncte sensibile în SEE (în schema considerată pentru calcul erau nodurile Mintia și Slatina) în care, în mod obligatoriu consumatorii trebuie introduși prin caracteristici statice reale, în celelalte noduri din SEE aceștia putându-se eventual considera prin caracteristici simplificate. Punctele (nodurile) sensibile trebuie identificate calculând stabilitatea statică a SEE cu diferite caracteristici statice ale consumatorilor. Odată stabilite aceste puncte, se va introduce în calcule caracteristica statică măsurată (stabilită prin experimentări în SEE), în celelalte puncte considerându-se consumatorii prin caracteristici liniare, eventual de tip $I=const.$

Calcululele au evidențiat de asemenea marea influență a efectului reglant al puterii active R_p asupra aprecierii stabilității SEE.

De precizat că nu toate GS din SEE se comportă identic din punctul de vedere al stabilității statice, deci nu se poate generaliza soluția, nu se poate preciza că un anumit mod de reprezentare a caracteristicii statice al consumatorilor mai mult sau mai puțin simplificat ar rezolva optim problema sau ar conduce la rezultate optimiste respectiv pesimiste. Numai reprezentarea în calcule a consumatorilor prin caracteristici reale obținute prin măsurători, redau corect starea SEE, apreciază corect depărtarea acestuia față de limita stabilității statice.

5.3. Concluzii

Sintetizând rezultatele obținute prin dezvoltările din cadrul capitolului 5 se pot trage următoarele concluzii:

- Expresia caracteristicilor statice putere funcție de tensiune a consumatorului complex echivalent din SEE introdusă în calculele de stabilitate statică are o deosebită influență asupra rezultatelor calculelor. Un calcul exact impune exprimarea caracteristicilor prin relații obținute prelucrând măsurătorile efectuate în SEE.

Comparând concluziile obținute în cazul considerării unui SEE simplificat (paragraful 5.1) cu cele obținute în cazul unui SEE real (paragraful 5.2) se observă că rezultatele sînt numai parțial în concordanță și anume numai cu privire la faptul că reprezentarea consumatorilor prin caracteristici de tip "liniar" conduce, în domeniul de funcționare cu tensiuni apropiate de tensiunea nominală, la rezultate foarte puțin diferite de cele obținute prin considerarea caracteristicilor statice măsurate. Concluziile diferite obținute în cazul considerării consumatorului complex echivalent prin caracteristici de tip $Z=const.$, $P, Q=const.$ respectiv "normale" atenționează asupra posibilității reducerii SEE complexe la SEE simplificate de tip GS echivalent, consumator echivalent, etc., reduceri admise numai în calculele din prima treaptă de selecție a regiunilor periculoase, cum de altfel se și procedează în practică, /55/. Calculul stabilității statice în continuare se va face adoptînd schema electrică completă a SEE și reprezentînd toți consumatorii prin caracteristici simplificate, identificînd punctele sensibile din SEE iar apoi în final se va calcula considerînd consumatorii din aceste puncte prin caracteristici măsurate, ceilalți consumatori din SEE reprezentîndu-i prin caracteristici liniare.

Trebuie menționat să nu se pot da rețete, ci situația trebuie analizată concret în funcție de schema electrică a SEE, dar în mod cert vor exista în orice SEE noduri în care consumatorii trebuie înlocuiți prin caracteristici reale, obținute prin măsurători, pentru ca rezultatele să corespundă situației din realitate.

Capitolul 6

CONCLUZII GENERALE

6.1. Conținutul lucrării

Tendențele actuale de dezvoltare foarte rapidă a sistemelor electroenergetice impun studii din ce în ce mai largi în vederea proiectării și exploatării optime a acestora.

Problema stabilității statice a sistemelor electroenergetice este în strînsă legătură cu preocupările existente privind studiul regimurilor de funcționare ale sistemelor electroenergetice.

Tema tezei de doctorat urmărește studiarea influenței reprezentării consumatorilor din SEE asupra calculelor de stabilitate statică în vederea delimitării aplicabilității soluțiilor simplificate folosite în calcule clasice.

Teza cuprinde o parte teoretică (capitolele 1, 2, 3 și 5) și o parte practică (capitolul 4) cu experimentări efectuate în SEN, fiecare parte cu contribuții originale după cum s-a menționat în dezvoltările anterioare și se sistematizează în cele ce urmează.

6.2. Concluzii în urma analizei rezultatelor teoretice și experimentale

Din concluziile expuse în teză, se menționează următoarele:

- Reprezentarea caracteristicii consumatorilor prin caracteristici statice de putere funcție de tensiune simplificate, introduce în calcule erori mari în raport cu situația considerării consumatorilor prin caracteristici experimentale, ceea ce impune limitarea aplicabilității acestor simplificări de calcul.

- Considerarea caracteristicilor statice simplificate pot conduce la concluzii eronate, în sensul unei aprecieri prea optimiste sau din contră, prea pesimiste față de situația reală, ceea ce prezintă o deosebită importanță în cazul SEE care funcționează în apropierea limitei de stabilitate statică.

Dacă rezultatele optimiste sînt inadmisibile din punctul de vedere al aprecierii stabilității statice, rezultatele pesimiste obținute utilizînd reprezentarea în calcule a consumatorilor prin caracteristici simplificate nu permite utilizarea întregii rezerve de stabilitate statică a SEE respectiv.

Avînd în vedere dispersia rezultatelor obținute considerînd caracteristicile statice putere funcție de tensiune ale consumatorului complex echivalent simplificate, se impune utilizarea în calculele de stabilitate statică a caracteristicilor statice obținute prin determinări experimentale în sistemul electroenergetic. În cazul în care nu se dispune de astfel de date, se va putea admite numai considerarea caracteristicilor liniare, care se pot scrie ușor considerînd efectul reglant de valoare cunoscută de la consumatori cu componentă asemănătoare la care s-au făcut măsurători.

- De precizat că există noduri "sensibile" în sistem în care rezultatele calculelor de stabilitate statică sînt mult afectate de modul în care se consideră caracteristica statică a consumatorului, noduri care trebuie identificate în fiecare schemă completă a SEE. Acest lucru se poate face adoptînd pentru început diferite caracteristici simplificate pentru consumatorii complecși echivalenți din SEE. În faza următoare de calcul se vor considera consumatorii din aceste noduri "sensibile" prin caracteristici obținute prin măsurători, iar restul consumatorilor vor fi reprezentați prin caracteristici liniare.

- Aprecierea exactă a limitei stabilității statice a SEE necesită deci considerarea în calcule a caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune obținute prin măsurători și impune utilizarea calculatoarelor numerice pentru calculul stabilității statice a SEE.

- Considerarea caracteristicilor obținute experimental complică însă calculul, atît modelul matematic al consumatorului cît și implicit mărește durata rulării programului față de cazul considerării caracteristicilor simplificate.

- În reprezentarea caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune ale pierderilor de putere în rețea nu se pot neglija caracteristicile sarcinii și nici elementele transversale

ale rețelei.

- La reprezentarea caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune ale motorului asincron trebuie considerat gradul de încărcare al acestuia care influențează considerabil valoarea (implicit expresia) puterii reactive a motorului.

- Considerarea saturației fierului motorului asincron, influențează sensibil valoarea reactanței de magnetizare, modificând implicit expresia caracteristicii statice putere reactivă funcție de tensiune a motorului, ducând la o caracteristică cu efect reglant mai pronunțat.

- Dispersia mare a caracteristicilor statice obținute experimental impune stabilirea unor caracteristici statice medii bazate pe prelucrarea statistică a rezultatelor experimentale.

- Determinarea experimentală a caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune pentru consumatorul complex echivalent racordat în nodurile SEE se poate face relativ ușor și rapid, fără a perturba funcționarea consumatorilor.

- Măsurătorile, pe viu, în SEE sînt de mare interes nu numai pentru calcule de stabilitate statică ci și pentru calcule de regimuri de funcționare, cu atît mai mult cu cît astfel de rezultate sînt prezentate relativ puțin în literatură de specialitate.

- Date fiind modificările componentei consumatorului complex echivalent, se recomandă experimentări și stabilirea caracteristicilor statice medii de putere funcție de tensiune perioadice, asigurîndu-se astfel calcule și rezultate corecte, corespunzătoare sistemului electroenergetic real.

- Existența unor astfel de determinări periodice în noduri cu diferiți consumatori, ar permite folosirea caracteristicilor statice medii putere funcție de tensiune nu numai în exploatarea SEE, ci și în calcule de proiectare.

- Caracteristicile statice de putere funcție de tensiune pentru consumatorii complecși echivalenți dintr-un SEE determinate prin măsurători în cadrul lucrării, sînt în concordanță cu datele existente în literatură obținute prin măsurători în alte sisteme energetice.

6.3. Contribuții teoretice și experimentale

Se prezintă în continuare o sinteză a elementelor considerate contribuții originale la problema studiată :

- Sistematizarea și prezentarea unei imagini de ansamblu asupra considerării consumatorului complex echivalent din SEE în calcule de stabilitate statică.

- Modelizarea matematică a caracteristicii statice a motorului asincron, considerând gradul de încărcare al acestuia.

- Includerea saturației în modelizarea caracteristicii statice putere funcție de tensiune a motorului asincron, folosind reprezentarea caracteristicii de mers în gol.

- Modelul matematic a caracteristicii statice pentru consumatorul casnic.

- Modelizarea matematică a caracteristicii statice de putere funcție de tensiune pentru pierderile de putere în rețea considerând și caracteristicile sarcinii și elementele transversale ale rețelei (reactanța capacitivă X_c a liniilor electrice de transport).

- Modelul matematic propus pentru exprimarea caracteristicilor statice putere funcție de tensiune pentru consumatorul complex din SEE prin expresii liniare bazată pe efectul reglant al sarcinii.

- Rezultatele experimentale obținute prin măsurători în zona de SV a SEN în vederea stabilirii caracteristicilor statice de sarcină putere funcție de tensiune pentru consumatorul complex echivalent.

- Metoda de estimare a expresiei caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune ale consumatorilor complecși echivalenți pe baza caracteristicilor determinate experimental.

- Algoritmul de calcul al programului CSPU.

- Programul de calcul al caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune, programul CSPU.

- Expresia criteriului $\frac{dQ}{dU}$ de apreciere a stabilității statice într-un sistem electroenergetic simplificat, în cazul considerării caracteristicii statice măsurate a consumatorului

complex echivalent.

- Aprecierea erorii introduse prin considerarea unor caracteristici simplificate în locul caracteristicilor statice experimentale în calculul derivatei $\frac{dQ}{dU}$.

- Algoritmul programului de calcul REZSTATIC.

- Programul de calcul a tensiunii critice și a rezervei de stabilitate statică, având în vedere caracteristicile de putere funcție de tensiune ale consumatorilor, programul REZSTATIC.

- Analiza influenței modului de reprezentare a sarcinii în calculul de stabilitate statică pentru zona de SV a SEN pe baza considerării a 37 de cazuri de reprezentare a caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune pentru consumatorul complex echivalent în regim stabil de funcționare a SEN. Evidențierea existenței într-un SEN a unor noduri, numite în lucrare „sensibile” în care modificarea caracteristicii statice a sarcinii influențează sensibil stabilitatea statică a sistemului, noduri în care aceasta trebuie considerată prin caracteristici statice stabilite experimental.

- Se demonstrează posibilitatea aplicării în calcule la studiul stabilității statice a SEN pe CN a consumatorilor prin caracteristici măsurate sau liniarizate - analizându-se rezultatele în comparație cu cele obținute considerând caracteristici statice simplificate pentru caracteristicile statice ale consumatorului complex echivalent.

Rezultatele obținute contribuie la rezolvarea unor probleme actuale de cercetare-proiectare în domeniul SEN. Intre acestea se încadrează și problema calculelor de STS a SEN complexe.

6.4. Perspective de cercetare în viitor

- Estimarea caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune medii, prin metoda propusă, pe baza măsurărilor efectuate și în alte noduri caracteristice din sistem.

- Continuarea cercetărilor teoretice, în domeniul neabordat de această lucrare, considerând caracteristici statice de putere funcție de tensiune și frecvență.

- Aplicarea concluziilor prezentei teze la calcule de stabilitate a SEN.

ANEXE DE CALCUL

Anexa A-1

Parametri motoarelor electrice asincrone trifazate de uz general de la 0,06 la 132 kW, pe baza datelor de catalog, conf.STAS 1764-70.

Pu- te- rea kW	$\cos \varphi_n$	$b_n = \frac{M_{max}}{M_n}$	$X_\sigma = \frac{1}{b_n \cos \varphi_n}$	$B_0 = \frac{\sin \varphi_n (b_n - \sqrt{b_n^2 - 1}) \cos \varphi_n}{\cos \varphi_n}$	$X_m = \frac{1}{B_0}$
1	2	3	4	5	6
15	0,82	2,2	0,2772	0,3753	2,665
15	0,79	1,8	0,3516	0,3735	2,6774
15	0,74	1,8	0,3754	0,448	2,232
18,5	0,83	2,2	0,274	0,3582	2,790
18,5	0,795	1,8	0,3494	0,3654	2,737
18,5	0,75	1,8	0,3704	0,4339	2,305
22	0,835	2	0,2722	0,3495	2,861
22	0,80	1,8	0,3472	0,3573	2,799
22	0,765	1,8	0,363	0,412	2,427
30	0,84	2,2	0,2706	0,34066	2,935
30	0,81	1,8	0,343	0,3407	2,935
30	0,78	1,8	0,356	0,3892	2,570
37	0,845	2,2	0,269	0,3316	3,016
37	0,82	1,8	0,340	0,3236	3,09
37	0,79	1,8	0,3516	0,3735	2,677
40	0,845	2,2	0,269	0,3316	3,016
40	0,825	1,8	0,337	0,3148	3,177
40	0,795	1,8	0,3494	0,36545	2,736
45	0,85	2,2	0,2674	0,32245	3,1
45	0,83	1,8	0,3347	0,3060	3,27
45	0,8	1,8	0,3472	0,3573	2,799
55	0,85	2,2	0,2674	0,3244	3,100
55	0,835	1,8	0,3327	0,2970	3,367
55	0,805	1,8	0,345	0,3490	2,865

Anexa A-1(continuare)

1	2	3	4	5	6
75	0,855	2,2	0,266	0,3130	3,195
75	0,84	1,8	0,3307	0,2878	3,475
75	0,81	1,8	0,343	0,3407	2,935
90	0,855	2,2	0,266	0,313	3,194
90	0,845	1,8	0,329	0,278	3,597
90	0,815	1,8	0,341	0,3323	3,010
100	0,86	2,2	0,2643	0,30355	3,294
100	0,845	1,8	0,329	0,2785	3,590
100	0,82	1,8	0,339	0,3236	3,090
110	0,86	2,2	0,2643	0,3035	3,295
110	0,845	1,8	0,329	0,2785	3,590
110	0,83	1,8	0,3347	0,306	3,268
132	0,865	2,2	0,263	0,294	3,400
132	0,85	1,8	0,327	0,269	3,717
132	0,83	1,8	0,3347	0,306	3,268

Anexa A-2

APROXIMAREA UNEI FUNCTII PRINTR-UN POLINOM

Fiind dată o funcție $f(x)$ de variabilă reală x , se pune problema ca într-un interval dat de variație a lui x , funcția $f(x)$ să fie înlocuită cu un polinom. Funcția este cunoscută empiric (prin măsurători) adică numai prin tabloul valorilor b_0, b_1, \dots, b_n pe care le ia pentru valorile a_0, a_1, \dots, a_n ale variabilei.

Pentru rezolvare se poate folosi metoda lui Lagrange /8/, care constă în înlocuirea valorilor (a_i, b_i) în expresia polinomului :

$$P(x) = \sum_{i=0}^n b_i \frac{\prod_{\substack{s=0 \\ s \neq i}}^n (x - a_s)}{\prod_{\substack{s=0 \\ s \neq i}}^n (a_i - a_s)} \quad (A-1)$$

unde n reprezintă gradul polinomului. Formula (A-1) se numește formula de interpolare a lui Lagrange.

Avînd în vedere că aplicînd-o nu se poate face un calcul numeric rapid, se preferă metoda mai simplă, folosită și în prezenta lucrare pentru obținerea expresiilor caracteristicilor statice de putere, care constă în următoarele :

Se scrie polinomul $P(x)$ sub forma :

$$P(x) = B_0 + B_1(x-a_0) + B_2(x-a_0)(x-a_1) + \dots + B_n(x-a_0)(x-a_1)\dots(x-a_{n-1})$$

și

$$P(a_0) = b_0 = B_0.$$

Se întocmește tabelul

x	$P(x)$	$Q_x = \frac{P(x)-b_0}{x-a_0}$	$R(x) = \frac{Q(x)-B_1}{x-a_1}$	$S_x = \frac{R(x)-B_2}{x-a_2}$
a_0	$b_0 = B_0$			
a_1	b_1	$\frac{b_1-b_0}{a_1-a_0} = q_1 = B_1$		
a_2	b_2	$\frac{b_2-b_0}{a_2-a_0} = q_2$	$\frac{q_2-q_1}{a_2-a_1} = r_2 = B_2$	
a_3	b_3	$\frac{b_3-b_0}{a_3-a_0} = q_3$	$\frac{q_3-q_1}{a_3-a_1} = r_3$	$\frac{r_3-r_2}{a_3-a_2} = s_3 = B_3$
a_n	b_n	$\frac{b_n-b_0}{a_n-a_0} = q_n$	$\frac{q_n-q_1}{a_n-a_1} = r_n$	$\frac{r_n-r_2}{a_n-a_2} = s_n$

Pentru exemplificare se prezintă calculul efectuat în vederea obținerii expresiei analitice a caracteristicii statice de putere reactivă în funcție de tensiune din fig.4.4.

Se citește din curba $Q_x = f(U_x)$, fig.4.4:

$$a_0 = 98 \quad ; \quad b_0 = 91$$

$$a_1 = 99 \quad ; \quad b_1 = 95$$

$$a_2 = 100 \quad ; \quad b_2 = 100$$

$$B_1 = \frac{95-91}{99-98} = 4 \quad ; \quad q_2 = \frac{100-91}{100-98} = 4,5$$

$$B_2 = \frac{4,5-4}{100-99} = 0,5$$

$$Q = 91+4U - 4,98+0,5U^2 - 0,5,98U - 0,5,99U + 0,5,98,99$$

Deci

$$Q = 0,5 U^2 - 94,5 U + 4550, [\%].$$

Anexa A-3

ESTIMAREA PARAMETRILOR /8/, /37/, /38/, /181/

Dacă se consideră rezultatele măsurătorii (a celor n citiri): $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$,

valoarea cea mai probabilă este media aritmetică a acestora :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (A-2)$$

x_i fiind valoarea unei măsurători.

Avînd în vedere că estimățiile variază în precizie, e important ca o estimăție să fie însoțită de o descriere a preciziei, adică de o indicație cît de aproape poate fi estimăția de parametrul pe care trebuie să-l estimeze.

Abaterea medie pătratică (dispersia unui șir de măsurători) este

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (A-3)$$

unde \bar{X} este valoarea adevărată (necunoscută).

Necunoscîndu-se \bar{X} se va calcula abaterea medie pătratică a șirului de măsurători cu formula lui Bessel, (relația A-4) :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (A-4)$$

Eroarea medie pătratică a rezultatului \bar{X} este

$$S = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (\text{A-5})$$

Pentru a defini intervalul de încredere se consideră o repartiție ce depinde de un singur parametru necunoscut θ și se presupune că (X_1, \dots, X_n) este o selecție din această măsurătoare. Fie $\underline{\theta}(X_1, \dots, X_n)$ și $\bar{\theta}(X_1, \dots, X_n)$ două statistici astfel încât $\underline{\theta} < \bar{\theta}$. Dacă $\underline{\theta}$ și $\bar{\theta}$ pot fi astfel alese pentru un α dat încât

$$P(\underline{\theta} < \theta < \bar{\theta}) = 1 - \alpha \quad (\text{A-6})$$

atunci $(\underline{\theta}, \bar{\theta})$ este denumit interval de încredere pentru parametrul θ .

$\underline{\theta}$ și $\bar{\theta}$ poartă numele de limita inferioară și respectiv limita superioară de încredere pentru θ . Ele depind numai de $(1 - \alpha)$ numit coeficient de încredere. Se observă că $(\underline{\theta}, \bar{\theta})$ este o variabilă aleatoare astfel încât probabilitatea ca intervalul $(\underline{\theta}, \bar{\theta})$ să conțină valoarea parametrului θ este $(1 - \alpha)$.

Coeficientul α este numit coeficient de încredere și în cazul repartițiilor normale reduse (sau standard) se definește din :

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-a}^a e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (\text{A-7})$$

În tabele (de ex. tab.1.a /37/ se află valoarea funcției

$$\phi(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^a e^{-\frac{x^2}{2}} dx, \quad (\text{A-8})$$

care dă proporția cazurilor în care se poate obține o medie de selecție la o anumită distanță de \bar{X} .

Se observă că relația (A-7) se poate pune sub forma :

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-a}^a e^{-\frac{x^2}{2}} dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^a e^{-\frac{x^2}{2}} dx - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-a} e^{-\frac{x^2}{2}} dx = \phi(a) - \phi(-a) \quad (\text{A-9})$$

Dar

$$\phi(-a) = 1 - \phi(a) \quad (A-10)$$

Deci

$$\alpha = 2\phi(a) - 1$$

sau

$$\phi(a) = \frac{\alpha+1}{2} \quad (A-11)$$

Considerînd variabila aleatoare X repartizată normal cu abaterea medie pătratică σ și coeficient de încredere α , se poate scrie relația (A-7), iar din tabelul 1 a /37/ rezultă a.

Intervalul de încredere pentru parametrul θ (care reprezintă valoarea reală) va fi: (θ^+, θ^-) , unde :

$$\theta^+ = \bar{X} + a \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\theta^- = \bar{X} - a \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Pentru exemplificare se prezintă calculul efectuat în vederea obținerii răspunsului mediu, abaterii medii pătratice și a intervalului de încredere pentru răspunsul puterii active pe bara de 10 kV la vârful de seară (ora 21).

Datele de calcul sînt centralizate în tabelul A 3.

Tabelul A-3

i	$\Delta P/\Delta U = X_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	4	2,176	4,7349
2	0,36	-1,464	2,1432
3	2	0,176	0,0309
4	2	0,176	0,0309
5	1	-0,824	0,6789
6	0	-1,824	3,3269
7	1	-0,824	0,6789
8	0	-1,824	3,3269
9	6	4,176	17,4389
10	2	0,176	0,0309
11	3,5	1,676	2,8089
12	2	0,176	0,0309

Tabelul A-3(continuare)

i	$\Delta P / \Delta U \quad X_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
13	0	-1,824	3,3269
14	1,5	-0,324	0,1049
15	2	0,176	0,0309
Total	$\bar{X} = 1,824$		38,7238

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} = \frac{38,7238}{14} = 2,765986$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = 1,6631$$

$$s = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{1,6631}{\sqrt{15}} = 0,42942$$

Se admite un interval de încredere de 50% ($\alpha = 0,5$)

$$\phi(a) = \frac{\alpha+1}{2} = \frac{1,5}{2} = 0,75$$

Din tabele $a \approx 0,675$.

Deci intervalul de încredere :

$$\left(\bar{X} - a \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{X} + a \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

$$(1,824 - 0,28985 ; 1,824 + 0,28985)$$

adică

$$(1,53414 ; 2,11385)$$

Anexa A - 4
(continuare)

```

C      9*      C
96      79 DJL3I=LN
97      Y(I)=H*(*)+B(L)*U(I)+B(3)*U(T)*AL
98      75 CONTINUE
99      SIGMA=
100     JO 3L 5M*H
101     SIGMA=
102     SIGMA(K)=
103     DO 3L T=1,N
104     SIG=SIG+(Z(K+I)-Y(I))*0.2
105     72 CONTINUE
106     SIGMA(K)=SORT(SIG)/N
107     IPRINT(50,*) GO TO 20
108     WRITE(7,*) K,SIGMA(K)
109     73 FORMAT(1H,*,3,'SIGMA(',I2,')=',F10.6)
110     74 SIGMA=SIGMA+SIGMA(K)
111     72 CONTINUE
112     SIGMA=M+SIGMA/T/P
113     SJL=SIGMA
114     WRITE(14,*) SIGMA*AL
115     72 FORMAT(75,*,J=*,F22.6,*,AL=*,F10.6)
116     74 CONTINUE
117     GO TO 1
118     75 SJM=SJL
119     DO 3L T=1,N
120     IF(SJ(T)-G(SJM)) GO TO 34
121     SJM=SJL
122     M=1
123     76 CONTINUE
124     WRITE(7,*) XXX(M),YYY(M),ZZZ(M),ALT(M),FRFT(M),SJM
125     75 FORMAT(//1H,*,2,'CARACTERISTICA STATICA ESTIMATA',/2,*,F10.6)
126     /TL,*,F22.6,*,*,F12.6,*,*,F12.6,*,*,F12.6,*,*,F12.6,*/
127     /TL,*,F22.6,*,*,F22.6,*,*,F22.6,*/
128     STOP
129     END

```

FORTRAN CC.CC CU120400 24/04/86 13.27.55

Anexa A-5

PROGRAMUL DE CALCUL REZSTATIC

```

*      JER CC122AAA DATPDSO,PA=1VASCUI
*      FILE FORTRAN CC.CC
*      STARTEL
*      FORTRAN CC.CC
*      FORTRAN CC.CC
*      (E12AAA 24/04/86 13.27.55)
C      1      C
C      2      C
C      3      C
C      4      C
C      5      C
C      6      C
C      7      C
C      8      C
C      9      C
C      10     C
C      11     C
C      12     C
C      13     C
C      14     C
C      15     C
C      16     C
C      17     C
C      18     C
C      19     C
C      20     C
C      21     C
C      22     C
C      23     C
C      24     C
C      25     C
C      26     C
C      27     C
C      28     C
C      29     C
C      30     C
C      31     C
C      32     C
C      33     C
C      34     C
C      35     C
C      36     C
C      37     C
C      38     C
C      39     C
C      40     C
C      41     C
C      42     C
C      43     C
C      44     C
C      45     C
C      46     C
C      47     C
C      48     C
C      49     C
C      50     C
C      51     C
C      52     C
C      53     C
C      54     C
C      55     C
C      56     C
C      57     C
C      58     C
C      59     C
C      60     C
C      61     C
C      62     C
C      63     C
C      64     C
C      65     C
C      66     C
C      67     C
C      68     C
C      69     C
C      70     C
C      71     C
C      72     C
C      73     C
C      74     C
C      75     C
C      76     C
C      77     C
C      78     C
C      79     C
C      80     C
C      81     C
C      82     C
C      83     C
C      84     C
C      85     C
C      86     C
C      87     C
C      88     C
C      89     C
C      90     C
C      91     C
C      92     C
C      93     C
C      94     C
C      95     C
C      96     C
C      97     C
C      98     C
C      99     C
C      100    C
C      101    C
C      102    C
C      103    C
C      104    C
C      105    C
C      106    C
C      107    C
C      108    C
C      109    C
C      110    C
C      111    C
C      112    C
C      113    C
C      114    C
C      115    C
C      116    C
C      117    C
C      118    C
C      119    C
C      120    C
C      121    C
C      122    C
C      123    C
C      124    C
C      125    C
C      126    C
C      127    C
C      128    C
C      129    C
C      130    C
C      131    C
C      132    C
C      133    C
C      134    C
C      135    C
C      136    C
C      137    C
C      138    C
C      139    C
C      140    C
C      141    C
C      142    C
C      143    C
C      144    C
C      145    C
C      146    C
C      147    C
C      148    C
C      149    C
C      150    C
C      151    C
C      152    C
C      153    C
C      154    C
C      155    C
C      156    C
C      157    C
C      158    C
C      159    C
C      160    C
C      161    C
C      162    C
C      163    C
C      164    C
C      165    C
C      166    C
C      167    C
C      168    C
C      169    C
C      170    C
C      171    C
C      172    C
C      173    C
C      174    C
C      175    C
C      176    C
C      177    C
C      178    C
C      179    C
C      180    C
C      181    C
C      182    C
C      183    C
C      184    C
C      185    C
C      186    C
C      187    C
C      188    C
C      189    C
C      190    C
C      191    C
C      192    C
C      193    C
C      194    C
C      195    C
C      196    C
C      197    C
C      198    C
C      199    C
C      200    C
C      201    C
C      202    C
C      203    C
C      204    C
C      205    C
C      206    C
C      207    C
C      208    C
C      209    C
C      210    C
C      211    C
C      212    C
C      213    C
C      214    C
C      215    C
C      216    C
C      217    C
C      218    C
C      219    C
C      220    C
C      221    C
C      222    C
C      223    C
C      224    C
C      225    C
C      226    C
C      227    C
C      228    C
C      229    C
C      230    C
C      231    C
C      232    C
C      233    C
C      234    C
C      235    C
C      236    C
C      237    C
C      238    C
C      239    C
C      240    C
C      241    C
C      242    C
C      243    C
C      244    C
C      245    C
C      246    C
C      247    C
C      248    C
C      249    C
C      250    C
C      251    C
C      252    C
C      253    C
C      254    C
C      255    C
C      256    C
C      257    C
C      258    C
C      259    C
C      260    C
C      261    C
C      262    C
C      263    C
C      264    C
C      265    C
C      266    C
C      267    C
C      268    C
C      269    C
C      270    C
C      271    C
C      272    C
C      273    C
C      274    C
C      275    C
C      276    C
C      277    C
C      278    C
C      279    C
C      280    C
C      281    C
C      282    C
C      283    C
C      284    C
C      285    C
C      286    C
C      287    C
C      288    C
C      289    C
C      290    C
C      291    C
C      292    C
C      293    C
C      294    C
C      295    C
C      296    C
C      297    C
C      298    C
C      299    C
C      300    C
C      301    C
C      302    C
C      303    C
C      304    C
C      305    C
C      306    C
C      307    C
C      308    C
C      309    C
C      310    C
C      311    C
C      312    C
C      313    C
C      314    C
C      315    C
C      316    C
C      317    C
C      318    C
C      319    C
C      320    C
C      321    C
C      322    C
C      323    C
C      324    C
C      325    C
C      326    C
C      327    C
C      328    C
C      329    C
C      330    C
C      331    C
C      332    C
C      333    C
C      334    C
C      335    C
C      336    C
C      337    C
C      338    C
C      339    C
C      340    C
C      341    C
C      342    C
C      343    C
C      344    C
C      345    C
C      346    C
C      347    C
C      348    C
C      349    C
C      350    C
C      351    C
C      352    C
C      353    C
C      354    C
C      355    C
C      356    C
C      357    C
C      358    C
C      359    C
C      360    C
C      361    C
C      362    C
C      363    C
C      364    C
C      365    C
C      366    C
C      367    C
C      368    C
C      369    C
C      370    C
C      371    C
C      372    C
C      373    C
C      374    C
C      375    C
C      376    C
C      377    C
C      378    C
C      379    C
C      380    C
C      381    C
C      382    C
C      383    C
C      384    C
C      385    C
C      386    C
C      387    C
C      388    C
C      389    C
C      390    C
C      391    C
C      392    C
C      393    C
C      394    C
C      395    C
C      396    C
C      397    C
C      398    C
C      399    C
C      400    C
C      401    C
C      402    C
C      403    C
C      404    C
C      405    C
C      406    C
C      407    C
C      408    C
C      409    C
C      410    C
C      411    C
C      412    C
C      413    C
C      414    C
C      415    C
C      416    C
C      417    C
C      418    C
C      419    C
C      420    C
C      421    C
C      422    C
C      423    C
C      424    C
C      425    C
C      426    C
C      427    C
C      428    C
C      429    C
C      430    C
C      431    C
C      432    C
C      433    C
C      434    C
C      435    C
C      436    C
C      437    C
C      438    C
C      439    C
C      440    C
C      441    C
C      442    C
C      443    C
C      444    C
C      445    C
C      446    C
C      447    C
C      448    C
C      449    C
C      450    C
C      451    C
C      452    C
C      453    C
C      454    C
C      455    C
C      456    C
C      457    C
C      458    C
C      459    C
C      460    C
C      461    C
C      462    C
C      463    C
C      464    C
C      465    C
C      466    C
C      467    C
C      468    C
C      469    C
C      470    C
C      471    C
C      472    C
C      473    C
C      474    C
C      475    C
C      476    C
C      477    C
C      478    C
C      479    C
C      480    C
C      481    C
C      482    C
C      483    C
C      484    C
C      485    C
C      486    C
C      487    C
C      488    C
C      489    C
C      490    C
C      491    C
C      492    C
C      493    C
C      494    C
C      495    C
C      496    C
C      497    C
C      498    C
C      499    C
C      500    C
C      501    C
C      502    C
C      503    C
C      504    C
C      505    C
C      506    C
C      507    C
C      508    C
C      509    C
C      510    C
C      511    C
C      512    C
C      513    C
C      514    C
C      515    C
C      516    C
C      517    C
C      518    C
C      519    C
C      520    C
C      521    C
C      522    C
C      523    C
C      524    C
C      525    C
C      526    C
C      527    C
C      528    C
C      529    C
C      530    C
C      531    C
C      532    C
C      533    C
C      534    C
C      535    C
C      536    C
C      537    C
C      538    C
C      539    C
C      540    C
C      541    C
C      542    C
C      543    C
C      544    C
C      545    C
C      546    C
C      547    C
C      548    C
C      549    C
C      550    C
C      551    C
C      552    C
C      553    C
C      554    C
C      555    C
C      556    C
C      557    C
C      558    C
C      559    C
C      560    C
C      561    C
C      562    C
C      563    C
C      564    C
C      565    C
C      566    C
C      567    C
C      568    C
C      569    C
C      570    C
C      571    C
C      572    C
C      573    C
C      574    C
C      575    C
C      576    C
C      577    C
C      578    C
C      579    C
C      580    C
C      581    C
C      582    C
C      583    C
C      584    C
C      585    C
C      586    C
C      587    C
C      588    C
C      589    C
C      590    C
C      591    C
C      592    C
C      593    C
C      594    C
C      595    C
C      596    C
C      597    C
C      598    C
C      599    C
C      600    C
C      601    C
C      602    C
C      603    C
C      604    C
C      605    C
C      606    C
C      607    C
C      608    C
C      609    C
C      610    C
C      611    C
C      612    C
C      613    C
C      614    C
C      615    C
C      616    C
C      617    C
C      618    C
C      619    C
C      620    C
C      621    C
C      622    C
C      623    C
C      624    C
C      625    C
C      626    C
C      627    C
C      628    C
C      629    C
C      630    C
C      631    C
C      632    C
C      633    C
C      634    C
C      635    C
C      636    C
C      637    C
C      638    C
C      639    C
C      640    C
C      641    C
C      642    C
C      643    C
C      644    C
C      645    C
C      646    C
C      647    C
C      648    C
C      649    C
C      650    C
C      651    C
C      652    C
C      653    C
C      654    C
C      655    C
C      656    C
C      657    C
C      658    C
C      659    C
C      660    C
C      661    C
C      662    C
C      663    C
C      664    C
C      665    C
C      666    C
C      667    C
C      668    C
C      669    C
C      670    C
C      671    C
C      672    C
C      673    C
C      674    C
C      675    C
C      676    C
C      677    C
C      678    C
C      679    C
C      680    C
C      681    C
C      682    C
C      683    C
C      684    C
C      685    C
C      686    C
C      687    C
C      688    C
C      689    C
C      690    C
C      691    C
C      692    C
C      693    C
C      694    C
C      695    C
C      696    C
C      697    C
C      698    C
C      699    C
C      700    C
C      701    C
C      702    C
C      703    C
C      704    C
C      705    C
C      706    C
C      707    C
C      708    C
C      709    C
C      710    C
C      711    C
C      712    C
C      713    C
C      714    C
C      715    C
C      716    C
C      717    C
C      718    C
C      719    C
C      720    C
C      721    C
C      722    C
C      723    C
C      724    C
C      725    C
C      726    C
C      727    C
C      728    C
C      729    C
C      730    C
C      731    C
C      732    C
C      733    C
C      734    C
C      735    C
C      736    C
C      737    C
C      738    C
C      739    C
C      740    C
C      741    C
C      742    C
C      743    C
C      744    C
C      745    C
C      746    C
C      747    C
C      748    C
C      749    C
C      750    C
C      751    C
C      752    C
C      753    C
C      754    C
C      755    C
C      756    C
C      757    C
C      758    C
C      759    C
C      760    C
C      761    C
C      762    C
C      763    C
C      764    C
C      765    C
C      766    C
C      767    C
C      768    C
C      769    C
C      770    C
C      771    C
C      772    C
C      773    C
C      774    C
C      775    C
C      776    C
C      777    C
C      778    C
C      779    C
C      780    C
C      781    C
C      782    C
C      783    C
C      784    C
C      785    C
C      786    C
C      787    C
C      788    C
C      789    C
C      790    C
C      791    C
C      792    C
C      793    C
C      794    C
C      795    C
C      796    C
C      797    C
C      798    C
C      799    C
C      800    C
C      801    C
C      802    C
C      803    C
C      804    C
C      805    C
C      806    C
C      807    C
C      808    C
C      809    C
C      810    C
C      811    C
C      812    C
C      813    C
C      814    C
C      815    C
C      816    C
C      817    C
C      818    C
C      819    C
C      820    C
C      821    C
C      822    C
C      823    C
C      824    C
C      825    C
C      826    C
C      827    C
C      828    C
C      829    C
C      830    C
C      831    C
C      832    C
C      833    C
C      834    C
C      835    C
C      836    C
C      837    C
C      838    C
C      839    C
C      840    C
C      841    C
C      842    C
C      843    C
C      844    C
C      845    C
C      846    C
C      847    C
C      848    C
C      849    C
C      850    C
C      851    C
C      852    C
C      853    C
C      854    C
C      855    C
C      856    C
C      857    C
C      858    C
C      859    C
C      860    C
C      861    C
C      862    C
C      863    C
C      864    C
C      865    C
C      866    C
C      867    C
C      868    C
C      869    C
C      870    C
C      871    C
C      872    C
C      873    C
C      874    C
C      875    C
C      876    C
C      877    C
C      878    C
C      879    C
C      880    C
C      881    C
C      882    C
C      883    C
C      884    C
C      885    C
C      886    C
C      887    C
C      888    C
C      889    C
C      890    C
C      891    C
C      892    C
C      893    C
C      894    C
C      895    C
C      896    C
C      897    C
C      898    C
C      899    C
C      900    C
C      901    C
C      902    C
C      903    C
C      904    C
C      905    C
C      906    C
C      907    C
C      908    C
C      909    C
C      910    C
C      911    C
C      912    C
C      913    C
C      914    C
C      915    C
C      916    C
C      917    C
C      918    C
C      919    C
C      920    C
C      921    C
C      922    C
C      923    C
C      924    C
C      925    C
C      926    C
C      927    C
C      928    C
C      929    C
C      930    C
C      931    C
C      932    C
C      933    C
C      934    C
C      935    C
C      936    C
C      937    C
C      938    C
C      939    C
C      940    C
C      941    C
C      942    C
C      943    C
C      944    C
C      945    C
C      946    C
C      947    C
C      948    C
C      949    C
C      950    C
C      951    C
C      952    C
C      953    C
C      954    C
C      955    C
C      956    C
C      957    C
C      958    C
C      959    C
C      960    C
C      961    C
C      962    C
C      963    C
C      964    C
C      965    C
C      966    C
C      967    C
C      968    C
C      969    C
C      970    C
C      971    C
C      972    C
C      973    C
C      974    C
C      975    C
C      976    C
C      977    C
C      978    C
C      979    C
C      980    C
C      981    C
C      982    C
C      983    C
C      984    C
C      985    C
C      986    C
C      987    C
C      988    C
C      989    C
C      990    C
C      991    C
C      992    C
C      993    C
C      994    C
C      995    C
C      996    C
C      997    C
C      998    C
C      999    C
C      1000    C

```

FORTRAN CC.CC (E12AAA 24/04/86 13.27.55)

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

1. Abdulaev N.D., Petrov Iu.P., Sintez regulatorov vzbujdenia dlia sinhronnih mašin s ucetom sluciainovo haraktera nagruzki. Elektricesstvo, U.R.S.S., nr.1, 1981, pag.64-65.
2. Albert Hermina ș.a., Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale. Edit.Tehnică, București, 1978.
3. Albert Hermina, Pierderi de putere și energie în rețelele electrice. Determinare. Măsuri de reducere. Edit.Tehnică, București, 1984.
4. Aldred A.S., Electronic analogue computer simulation of multi-machine power system networks. Proc. of IEE, Part A, Tom 109, fasc.45, iunie 1962, pag.195-202.
5. Aldred A.S., Schakshaft G., The effect of a voltage regulator on the steady-state and transient stability of a synchronous generator. Proc.of IEE, Part.A, Tom 105, fasc.22, 1958, pag. 420-427.
6. Altalib H.Y., Krause P.C., Dynamic equivalents by combination of reduced order models of system components. PAS-95, nr.5, 1976, pag.1534-1544.
7. Andronescu P., Bazele electrotehnicii, vol.II, Edit.Didactică și Pedagogică, București, 1973.
8. Angot A., Compléments de mathématiques pour l'ingénierie en électrotechnique et en télécommunication. Trad. din lba.franceză. Edit. Tehnică, București, 1965.
9. Anisimova N.D., Ob ucete harakteristic nagruzok pri opredelenii propusknoi sposobnosti elektroperedaci sverhvisokovo napriajenija. Elektricesstvo, U.R.S.S., nr.6, iunie 1973, pag.6-9.
10. Anisimova N.D., Seluhina T.I., Issledovanie statičeskoj ustoicivosti predelinih po majnosti regimov elektriceskih sistem. IAN, En.,tr., Anul 11, fasc.1, 1973, pag.54-65.
11. Antoniu I.S., Bazele electrotehnicii, vol.I, Edit.Didactică și Pedagogică București, 1974.
12. Arie E., Arie A., Relativ la criteriile practice de calcul a stabilității statice. Bul.I.P.B., București, Tom 18, fasc.3-4, iul.-dec., 1956, pag.281-299.
13. Arie E., Ionescu S., Approximations introduites par les schémas équivalents dans l'étude des régimes permanents et de la stabilité statique des systèmes électriques. Rev. Roumain Electr.-Energ., București, Tom 2, fasc.1, 1957, pag.709-745.

14. Arie E., Nicolae P., Comparație între diferite tipuri de scheme echivalente. *Energetica*, București, Tom 6, fasc.1, ian.1958, pag.268-274.
15. Azarev D.I., *Matematicheskoe modelirovanie elektricheskikh sistem*. Gosenergoizdat, U.R.S.S., 1962.
16. Azarev V.D.I. ș.a., Vfiianie sposobov predstavlenia nagruzok na rasceti staticheskoi ustoicevosti slojnih energosistem. *Elektricheskie stanții*, U.R.S.S., Tom 43, fasc.10, oct.1972, pag.13-16.
17. Barbier C., ș.a., Utilisation des calculatrices numeriques pour l'étude de la stabilité des réseaux de transport d'énergie. *R.G.E.*, nr.7-8, iul.-aug.1968, pag.719-736.
18. Barbier C., ș.a., Tentative classification and terminologies relating stability problems of power systems *CIGRE Electra*, nr.56, ian.1979, pag.57-76.
19. Barinov V.A., Issledovanie staticheskoi ustoicevosti elektroenergeticheskikh sistem po velikine i oženka sobstvennih znaceniï matrits. *I.A.N.*, En., tr., nr.3, 1976, pag.21-31.
20. Bercovici M., Arie A., Poată A., *Rețele electrice. Calculul electric*. Edit. Tehnică, București, 1974.
21. Berg G.J., Power system load representation. *Proc. of IEE*, vol.120, fasc.3, martie 1973, pag.344-347.
22. Berg G.J., System and load behaviour following loss of generation. Experimental results and evaluation. *Proc. of IEE*, vol.119, fasc.10, oct.1972, pag.1483-1486.
23. Birolini A., Clemen I., Simulation sur l'ordinateur analogique d'une installation hydroélectrique en marche insolée sur charge chimique symétrique. *Bul. ASE*, Tom 63, sept.1972, pag.1147-1156.
24. Borisov P.I., Raschiotî regimov elektricheskii setei s usciotom zavistnosti mošcinosti nagruzok ot napriajeniia. *Izv. VUZ Energ.*, fasc.6, iunie 1959, pag.190-199.
25. Brameller A., Dehnéad J.K., Some improved methods for digital network analysis. *Proc. of IEE*, Tom 109, fasc.43, febr.1962, pag.109-116.
26. Brandwajn W., Representation of magnetic saturation in the synchronous machine model in a electromagnetic transients program. *PAS-99*, nr.5, 1980, pag.1996-2002.
27. Brașovan M., *Acțiunări electromecanice*, Edit. Didactică și Pedagogică, București, 1967.
28. Brereton D.S., ș.a., Representation of Induction Motor Loads During Power-System Stability Studies. *PAS-76*, part.III, aug.1957, pag.451-461.

29. Brown H.E., s.a. A study of stability equivalents, PAS-88, nr.3, 1969, pag.200-207.
30. Burrunge P.E., Barton I.H., Investigation of a power synchron system analysis and experimental results. PAS-89, nr.4, apr.1970, pag.633-637.
31. Buta A., Energetica generală. Litografia I.P.T.V.T., Timișoara, 1983.
32. Cazacu C., Jucan T., Programarea în limbajul FORTRAN .Calculatorul Feix C 256. Edit.Junimea, Iași ,1978.
33. Câmpeanu A., Mașini electrice. Edit.Scrisul Românesc,Craiova, 1977.
34. Chang A.A., Adibi M.M., Power system dynamic equivalents, PAS-89, nr.6, 1970, pag.1737-1744.
35. Chari M., Csendes E.J., Load characteristics of synchronous generators by finite element method. PAS-100, nr.1, ianuarie 1981, pag.1-13.
36. Cioc I. s.a. , Mașini electrice. Indrumar de proiectare, vol.II. Edit.Scrisul Românesc, Craiova, 1981.
37. Ciucu G., Craiu V., Introducere în teoria probabilităților și statistica matematică. Edit.Didactică și Pedagogică, București, 1971.
38. Ciucu G., Craiu V., Teoria estimăției și verificarea ipotezelor statistice. Edit.Didactică și Pedagogică, București, 1968.
39. Colombo A. s.a., Determination of the dynamic response of electrical system by means of a digital program.PAS-87, nr.6, 1968, pag.1411-1418.
40. Concordia C., Ihara S., Load representation in power system stability studies, PAS -101, nr.4, 1982, pag.969-977.
41. Concordia C., s.a., Definition des termes usuels concernant la stabilité des machines synchrones interconnectées. CIGRE 1966, Complement au rapp.324.
42. Constantinescu J., Homos M., Metode practice de calcul pentru studiul stabilității statice a sistemelor electroenergetice complexe. Energetica, București, Tom 25, fasc.9, sept. 1977, pag.328-336.
43. Colectiv RSEE-IPTVT, Criterii îmbunătățite privind reglajul tensiunii și puterii reactive în sistem cu aplicație la îmbunătățirea reglajului de tensiune în Modul Porțile de Fier. Contract de cercetare științifică IPTVT-nr.33/1978-1981, beneficiar CNE Porțile de Fier.
44. Clarke Edith, Analiza circuitelor sistemelor electroenergetice. Trad. selectivă din lba.engleză (S.U.A.) Edit.Tehnică, București, 1973.

45. Crețu G., Aspecte privind alimentarea cu energie electrică a marilor consumatori, cu referire specială la consumatorii cu șocuri. Energetica, București, tom 17, fasc.1, ian.1969, pag.29-38.
46. Crișan O., ș.a., Considerații privind determinarea caracteristicilor statice ale consumatorilor complecși din cadrul sistemelor electroenergetice. Bul.I.P.T.V.T.-El., tom 24(38) fasc.2, iul.-dec. 1979, pag.138-150.
47. Crișan O., Sisteme electroenergetice. Edit.Didactică și Pedagogică, București, 1979.
48. Crișan O., Ecuațiile de funcționare pentru mașina sincronă liniarizată. Sistematizarea și ordonarea convențiilor și ipotezelor. Ecuațiile în coordonate de fază. Electrotehnica-Automatică, București, Tom 24, fasc.7, oct.1976, pag. 217-231.
49. Dandeno P.L., Kundur P., Simulation of the non-linear dynamic response of interconnected synchronous machines; Part II, Network solution procedures and comparisons of particular computational methods, PAS-91, nr.5, sept./oct. 1972, pag.2069-2075.
50. Dandeno P.L., Kundur P., A non-iterative transient stability program including the effects of variable load-voltage characteristics. PAS-92, nr.5, 1973, pag.1478-1484.
51. Dandeno P.L. ș.a., Effects of synchronous machine modeling in large scale system studies. PAS-92, nr.2, 1973, pag. 574-582.
52. Danilevici Iu.P.ș.a., Parametrii mașinilor de curent alternativ. Edit.Tehnică, București, 1968.
53. Despotovich S.T., A fast procedure for testing steady state stability by the method of small oscillations. Simpozionul de analiză și sinteza rețelelor electrice, Comunicări, vol.II, București, oct.1967, lucrarea 5.2.
54. Dimo P., Analiza nodală a sistemelor electroenergetice. Edit.Acad.R.S.R., București, 1968.
55. Dimo P., ș.a., Calculul și proiectarea sistemelor electroenergetice, Edit.Tehnică, București, 1971,
56. Dimo P., Importanța caracteristicii sarcinii în cercetarea problemelor de stabilitate statică. Energetica, București, Tom 5, fasc.2, febr.1957, pag.70-71.
57. Dimo P., Analiza sistemelor electroenergetice prin separarea nodurilor și utilizarea curenților de scurtcircuit. Edit.Tehnică, București, 1959.
58. Dimo P., Separarea nodurilor cu utilizarea curenților de scurtcircuit, metodă unitară pentru analiza sistemelor electroenergetice; analizorul grafic. Studii și cercetări de energetică, București, Tom 8, fasc.3, 1958, pag.451-476.

59. Dimo P., Modele KBI și indicatori de stare. Sisteme energetice interconectate. Edit. Academiei RSE, București, 1979.
60. Dimo P., Separarea nodurilor cu utilizarea curenților de scurtcircuit. Metodă unitară pentru analiza sistemelor electroenergetice. Partea II-a. Stabilitatea statică și reglaj. Studii și cercetări de energetică, București, Tom 9, nr.2, 1959, pag.287-303.
61. Dimo P., Schemă radială, structură simplă tip, reprezentativă. Studii și cercetări de energetică și electrotehnică, București, Tom 14, fasc.1, 1964, pag.203-208.
62. Dimo P., Etude de la stabilité statique et du réglage de la tension d'un point de jonction d'un réseau, par la méthode de l'analyse graphique associé aux calculateurs numériques. R.G.E., Tom 70, fasc.11, nov.1961, pag.552-556.
63. Dimo P., O "filozofie" nouă în cercetarea stabilității sistemelor energetice în timp real. Energetica, București, Tom 21, fasc.1, ian.1973, pag.28-30.
64. Dimo P., Revoluție în conceptele cercetării sistemelor electroenergetice. Energetica, București, Tom 25, fasc.8, aug. 1977, pag.267-279.
65. Demmel H.W., Sato N., Fast transient stability solutions, PAS-91, nr.4, 1972, pag.1643-1650.
66. Dordea T., Mașini electrice. Edit.Didactică și Pedagogică, București, 1970.
67. Dordea T., Asupra ecuațiilor mașinilor electrice de curent alternativ. Studii și cercetări de energetică și electrotehnică, București, Tom 16, fasc.1, 1966, pag.17-31.
68. Dougherty J.W., Minnich S.M., Finite element modeling of large turbine generators. Calculations versus load tests data. PAS-100, nr.8, august 1981, pag.3921-3929.
69. Drăgan C., Analiza consumului propriu tehnologic și a posibilităților de minimizare a acestuia pe LEA 400 kV Brașov-Gutinaș. Simpozionul Național al rețelelor electrice, ediția III-a.Timișoara, 1984, vol.III, pag.50-58.
70. Edelman H., Calculul electric al rețelelor interconectate. Trad. din lba germană. Edit.Tehnică, București, 1966.
71. Eremia M., ș.a., Analiza asistată de calculator a regimurilor sistemelor electroenergetice. Edit.Tehnică, București, 1985.
72. Fedorova I.A., O vliianie nekotorih himiceskih proivodstv na staticeskie karakteristiki uzlov nagruzki energheticeskih sistem. Izv. VUZ Energ., fasc.7, iulie 1964, pag.88-91.
73. Fedorova I.A., Vliianie nekotorih vidov mestnoi nagruzki na ustoiçivosti dalinih elektroperedaci. Elektricastvo, Moscova, fasc.4, apr.1954, pag.7-10.

74. Fokin Iu.A., Arsamakov I.I., *Experimentalnoe issledovanie nagruzok krupnih gorodskih podstantii s kompleksnim sostavom potrebiteli*. *Elektricesstvo*, Moscova, fasc.10, oct.1972, pag.23-28.
75. Fokin Iu.A., *Rascetnie nagruzki gorodskih elektriceskih setei napriajenim više 1000 V*. *Elektricesstvo*, Moscova, fasc.2, febr.1968, pag.45-52.
76. Fred C., s.a., *Power system static state estimation Part II. Aproximate model*. PAS-89, fasc.1, ian.1970, pag.125-130.
77. Frowd R.I., Podmore R., *Syntheses of dynamic load models for stability studies*. PAS-101, fasc.1, ian.1982, pag.127-135.
78. Funk G., *Die Spannungsabhängigkeit von Drehstromlasten*. *Elektrizitätswirtschaft*, Frankfurt am Main, Tom 68, fasc.8, aug.1969, pag.276-284.
79. Gellings C.W., Taylor B.W., *Electrical load curve syntheses. A computer simulation of an electrical load shape*. PAS-100 fasc.1, ian.1981, pag.82-91.
80. Gheorghe O. s.a., *Aspecte noi ale cercetării stabilității sistemelor cu ajutorul calculatoarelor cifrice. Studii și cercetări în energetică*. București, nr.4, 1971, pag.315-331.
81. Gherman G., Cîrnu I., *Aproximarea curbilor de magnetizare cu funcții spline de ajustare*. *Electrotehnica*, București, nr.1, ian.1981, pag.13-16.
82. Goruskin, *Efectuarea calculului energetic cu mașini de calcul*. Edit. Tehnică, București, 1963.
83. Gougeuil J.C., Baudry J.C., *Etude de la stabilité de fonctionnement des fortes charges asynchrones R.G.E.*, Tom 73, fasc.7-8, iul.-aug., 1964, pag.387-407.
84. Gougeuil J.C., Maury F., *Analyse des influences de différents facteurs sur la stabilité des réseaux R.G.E.*, Tom 83, fasc.3, mart.1974, pag.161-169.
85. Gove R.M., *Geometric construction of the stability limits of synchronous machines*. Proc. of IEE, tom 112, fasc.5, mai 1965, pag.977-985.
86. Groza L., s.a., *Studiu preliminar privind stabilirea treptelor de reducere a nivelelor de tensiune în sistem în vederea scăderii puterilor electrice absorbite*. Lucrare ISPE nr.8026, București, apr.1973.
87. Groza L., *Aplicarea unui criteriu simplificat pentru determinarea stabilității statice a sistemelor energetice*. A 5-a sesiune de comunicări tehnico-științifice ISPE, București, 1965, pag.30-37.
88. Groza L., *Introducerea unor mărimi și indici caracterizând starea de funcționare a unui sistem electroenergetic*. Teză de doctorat, Institut Politehnic București, 1969.

89. Groza L., Formule practice pentru calcule de rețele electrice cu referire specială la variațiile de tensiune. Energetica, București, Tom 11, fasc.8, aug.1963, pag.416-421.
90. Groza L. ș.a., Contribuții la îmbunătățirea condițiilor de funcționare a sistemului electroenergetic din punct de vedere al stabilității și reglajului. Bul.șt. și tehnic al sesiunii ISPE, București, martie 1969.
91. Groza L., Marinescu S., Comportarea rețelelor electrice la diverse tipuri de perturbații. Bul.șt. și tehnic al sesiunii ISPE, București, martie 1969.
92. Groza L., Urmărirea funcționării agregatelor mari în sistemul electroenergetic, cu referire specială la stabilitatea statică. Energetica, București, tom 18, fasc.9, sept.1970, pag.383-387.
93. Gurevici Iu.E., Libova L.E., Ob opredelenii karakteristik nagruzki no napriajenim metodom pasivnogo eksperimenta. Elektricesstvo, Moscova, fasc.2, febr.1972, pag.21-24.
94. Guseinov F.G., Rahmanov N.R. Ekvivalentirovanie nagruzok elektriceskih sistem pri issledovaniah staticeskoj i dinamiceskoj ustojicivosti. Elektricesstvo, Moscova, fasc.6, iunie 1973, pag.14-17.
95. Hammos I.J., Quatrième conférence internationale sur l'étude par ordinateurs des reseaux électriques, Grenoble 1972. R.G.E., tom 82, fasc.2, febr.1973, pag.116-121.
96. Hammos T.J., Winning D.J., Comparison of synchronous machine models in the study of transient behaviour of electrical power systems, Proc. of IEE nr.10, 1971, pag.1442-1458.
97. Hannakam L., Nachbildung der Asynchronmaschine mit einachsigen Läufers auf dem elektronischem analogrechner. Archiv für Elektrotechnik, Berlin, Tom 49, fasc.6, iunie 1965, pag. 365-375.
98. Heinrich I., Partea electrică a centralelor și stațiilor electrice, vol.II, Litografia I.P.Timișoara, 1973.
99. Hora R.A., Metode moderne de calcul și proiectare a sistemelor electrice. Trad. din lba engleză, Edit.Tehnică, București, 1970.
100. Hortopan E., Aplicații ale mașinilor de calcul în tehnica curenților tari. Electrotehnica, București, Tom 8, fasc.4, aprilie 1960, pag.116-124.
101. Iacobescu Gh. ș.a., Rețele și sisteme electrice. Edit.Didactică și Pedagogică, București, 1979.
102. Iliceto F., Capasso A., Dynamic equivalents of asynchronous motor loads in system stability study. PAS-93, nr.5, 1974, pag.1650-1659.
103. Iliev S., Vlienie sposoba uceta nagruzki na dinamiceskuiu ustojicivosti slojnih energheticeskih sistem. Elektricesstvo, U.S.S.S., nr.6, iunie 1974, pag.76-79.

104. Iliev S., Opîtno opredeliane na staticesnite karakteristiki na kompleksen tovar pri naşi uslovia. Energhatika, R.P.Bulgaria, Tom 22, fasc.2, febr.1971, pag.10-13.
105. Ilişeva P.N. ş.a., Utilizarea CEN pentru calculul stabilităţii sistemelor energetice. Simpozionul de analiza şi sinteza reţelelor electrice, Comunicări vol.II, Bucureşti, oct.1967, lucrarea 5.6.
106. Ionescu S. ş.a. Un nou algoritm de calcul pentru determinarea regimurilor staţionare de funcţionare a sistemului energetic cu ajutorul calculatoarelor electronice cifrice. Studii şi cercetări de energetică şi electrotehnică, Bucureşti, Tom 17, fasc.2, 1967, pag.399-415.
107. Ionescu S., Ungureşanu B., Metodă numerică pentru studiul stabilităţii statice a sistemelor electroenergetice complexe. Energetica, Bucureşti, Tom 15, fasc.4, apr.1967, pag.161-169.
108. Ionescu S., Caracteristici de funcţionare ale motorului asincron la tensiuni aplicate variabile şi frecvenţa constantă pentru anumite valori ale cuplului electromagnetic. Studii şi cercetări de energetică, Bucureşti, Tom 9, fasc.2, 1959, pag.337-347.
109. Ionescu S., Reprezentări nodale pentru analiza stabilităţii statice cu considerarea influenţei reglajului de tensiune. Energetica, Bucureşti, Tom 18, fasc.9, sept.1970, pag.390-396.
110. Ionescu T., Baciş A., Reţele electrice de distribuţie. Edit.Tehnică, Bucureşti, 1981.
111. Ionescu G.T., Neagoe Marina, Determinarea pe bază de măsurători a caracteristicilor graficelor de sarcină la consumatori de energie electrică din mediul urban. Simpozionul Naţional de reţele electrice. Ediţia III, Timişoara, 1984, vol.III, pag.9-21.
112. Iordănescu I. ş.a., Algoritm de calcul al stabilităţii dinamice a sistemelor electroenergetice cu ajutorul maşinilor electronice cifrice. Energetica, Bucureşti, Tom 15, fasc.2, febr.1967, pag.65-72.
113. Iordănescu I., Metode matematice moderne pentru studiul sistemelor energetice şi rezolvarea lor cu ajutorul calculatoarelor analogice şi al instalaţiilor hibrid. Energetica, Bucureşti, Tom 15, fasc.1, ian.1967, pag.14-22.
114. Iordănescu I., Mijloace de analiză a sistemelor energetice de la masa de curent continuu la maşina electronică cifrică. Posibilităţile lor în tehnica actuală. Simpozionul de analiza şi sinteza reţelelor electrice, Bucureşti, oct.1967, art.4.3.
115. Itoafa Al., Comparatie între metoda "analizei grafice" şi metodele clasice cunoscute în problemele de stabilitate statică. Studii şi cercetări de energetică, Bucureşti, Tom 10, fasc.3, 1959, pag.505-528.

116. Ivaşcu Cornelia, Modelarea caracteristicii consumatorilor. Referat susţinut în şedinţa colectivului de catedră al catedrei de Utilizările energiei electrice de la Facultatea de electrotehnică, Timişoara, 25 nov.1968.
117. Ivaşcu Cornelia, Influenţa caracteristicii consumatorilor asupra stabilităţii statice a sistemelor electroenergetice. Referat susţinut în şedinţa colectivului de catedră al Catedrei de Utilizările energiei electrice de la Facultatea de Electrotehnică, Timişoara, 11 dec.1969.
118. Ivaşcu Cornelia, Consideraţii privind studiul influenţei caracteristicii consumatorilor asupra stabilităţii statice a sistemelor electroenergetice. Bul.I.P.T.V. El. Timişoara, Tom 15(29), fasc.1, ian.-iunie 1970, pag.123-130.
119. Ivaşcu Cornelia, Reprezentarea sarcinii în studiul de stabilitate statică a sistemelor electroenergetice. Lucrare comunicată la sesiunea ştiinţifică jubiliară "60 de ani de învăţămînt electrotehnic în Iaşi", 21-23 dec.1972.
120. Ivaşcu Cornelia, Caracteristicile statice ale sarcinii. Cercări efectuate în judeţul Timiş. Energetica, Bucureşti, Tom 21, fasc.7, iulie 1973, pag.343-348.
121. Ivaşcu Cornelia, Moga M., L'effet de réglage de la puissance du consommateur complexe en fonction de la tension déterminé à base des caractéristiques statiques expérimentales. Bul. IPTV El. Timişoara, Tom 30(44), 1985, pag.61-64.
122. Ivaşcu Cornelia, Moga M., Milea L., Identificarea caracteristicilor statice de putere funcţie de tensiune ale unor consumatori complecşi din sistemul electroenergetic. Lucrările sesiunii ştiinţifice a Institut. Politehnic Iaşi, mai 1986, vol.13, pag.249-255.
123. Ivaşcu Cornelia, Luştrea B., Effects of load characteristics on the static stability of power systems. Sub tipar la Bul. IPTVT El. Timişoara
124. Ivaşcu Cornelia, O formă simplă de exprimare a caracteristicii statice putere funcţie de tensiune a motorului asincron. Sub tipar
125. Jdanov P.S., Stabilitatea sistemelor electrice. Trad. din lba.rusă. Edit.Energetică de stat, Bucureşti, 1952.
126. Jukov L.A., Halilov Ci.S., Opređenis zapasov ustoiçivosti elektroperedaci pri ucete sluciainih variaçii nagruzki sistemî. JAN, En.tr.fasc.6, nov.-dec.1967, pag.50-55.
127. Kalpathi R.D., Krishna-Murthy M.R., Polyphase induction machine with a slitted ferromagnetic rotor II-Analysis. PAS-86, fasc.7, iulie 1967, pag.844-852.
128. Kaminski A., Stabilität des elektrischen Verbundbetriebs, VEB Verlag Technik, Berlin, 1959.

129. Karasev E.D., K analiza staticheskoi ustoychivosti elektricheskikh sistem po kriterii Mihaikova. IAN En.tr. nr.3, 1981, pag.47-54.
130. Kimbark Ed.W., Power System Stability, vol.I, John Wiley, New York, 1964.
131. Kitushin V.G., Staticheskaya ustoychivosti uzlov nagruzok. Elektrichestvo, URSS, fasc.4, aprilis 1968, pag.21-23.
132. Kitushin V.G., K issledovaniyu staticheskoi ustoychivosti elektricheskikh sistem. IAN, En.tr., tom 5, fasc.3, mai-iunie 1967, pag.77-83.
133. Konovalov Iu.S., Kughelevichius I.B., O vozmozhnosti opredeleniya staticheskikh karakteristik nagruzki metodami matematicheskoi statistiki. Elektrichestvo, URSS, fasc.3, iulie 1968, pag.11-13.
134. Kostenko M., Piotrovski L., Machines électriques, tom II, Machines à courant alternatif, Edit.Mir, Moscova, 1969.
135. Kovacs K.P., Analiza regimurilor tranzitorii ale masinilor electrice, Trad din lba maghiară, Edit.Tehnică, București, 1980.
136. Kozlov B.K., Matematicheskaya modeli dlia opredeleniya elektronotrebleniya upromyshlennimi predpriyatiami. Promyshlennaya energhetika, URSS, nr.5, mai 1973, pag.42-44.
137. Kozlovski A., s.a. Demand/Voltage Response at Chessington Supergred Point, Sept.1972.
138. Krishnamurty G. s.a., Optimisation of Speed-Governor Parameters in the presence of Pseudorandom Load Disturbances. PAS-89, nr.6, iulie-august 1970, pag.1242-1247.
139. Kucera M.J., Les repères tournants dans l'analyse tensorielle des machines électriques, E.G.E., Tom 61, fasc.7, iulie 1952, pag.325-338.
140. Kundur P., Simulation of the non-linear dynamic response of interconnected synchronous machines. PAS-91, nr.5, sept./oct.1972, pag.2064-2069.
141. Kuppurajulu A., Flangoran S., Simplified Power Systems models for dynamic stability studies. PAS-90, nr.1, ian./febr.1971, pag.11-22.
142. Lediahkin D.P., Makarina M.B., Utocineniye usloviy ustoychivosti elektricheskikh sistem. IAN En.tr., Anul 10, fasc.1, 1972, pag.141-145.
143. Leonhard A., Die Asynchronmaschine bei Laständerungen. Elektratechnik und Maschinenbau", Viena, T.82, fasc.1, ian.1965, pag.3-7.

144. Litkens I.V. Opređenje zapasa statičeskoj ustoicivosti posleavariinovo režima i puti ego uveliceniia. Elektricestvo, URSS, An 89, fasc.4, apr.1969, pag.9-18.
145. Livșiț V.S. K rascetu elektriceskih nagruzok za visimih elektropriemnikov. Elektricestvo, URSS, An 93, fasc.7, iulie 1973, pag.83-85.
146. Lokay H.E., Bolger R.L., Effect of turbine generator representation in system stability studies PAS-84, fasc.10, oct.1965; pag.933-942.
147. Luders G., Discussion 2 of paper "Feasibility of Liapunov functions for the stability analyses of electric power systems, having, up to 60 generators" PAS-91, fasc.3, mai-iunie 1972, pag.1145-1153.
148. Luștea B., Analiza stabilității statice a generatoarelor sincrone complex interconectate, cu aplicație la funcționarea insularizată a unei zone din sistemul electroenergetic național. Teză de doctorat. Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, 1985.
149. Luștea B., Aspecte privind aprecierea stabilității statice a sistemelor electroenergetice complexe. Conferința Națională de Electrotehnică și Electroenergetică, Timișoara, 1982, vol.12, pag.169-180.
150. Luștea B., Calculul exact al răspunsului SEE la mici perturbații ale mărimilor de intrare. Simpozionul Național al Rețelelor electrice, ediția III, Timișoara, 1984, vol.I, pag.97-101.
151. Magnien M., Rapport special du groupe 32 (conception et fonctionnement des réseaux), CIGRE, 1964.
152. Manea F., Criteriile practice și premisele de calcul ale stabilității statice a sistemelor electroenergetice. Studii și cercetări de energetică, București, Tom 7, fasc.1, 1957, pag.117-123.
153. Manea F., Generator echivalent în studiul stabilității statice a sistemelor electroenergetice, Studii și cercetări de energetică, București, Tom 7, fasc.2, 1957, pag.227-236.
154. Manea F., Studiu comparativ al unei noi căi de apreciere a stabilității statice a sistemelor electrice. Studii și cercetări de energetică, București, Tom 5, fasc.3-4, 1955, pag.423-433.
155. Manea F. ș.a., Analiza criteriilor practice și studiul stabilității statice a sistemelor electroenergetice. Simpozionul de analiza și sinteza rețelelor electrice, București, oct.1967, vol.II, lucrarea 5.1.
156. Manea F., Condiții limită de stabilitate statică a sistemelor electroenergetice. Studii și cercetări de energetică, București, Tom 6, fasc.3, 1956, pag.330-346.

157. Marcovici I.M., Sisteme energetice. Regimuri de funcționare. Trad. din lba rusă, Edit. tehnică, București, 1970.
158. Marport E.I., Ornov V.G., Nekotorie voprosi experimenta-linovo i rascetnovo opredelenia reguliruiuscevo efekta nagruzki po ciastoti i napriajenim. Elektriceskie Stanții, URSS, fasc.1, ian.1969, pag.32-34.
159. Melnikov N.A, Elektriceskie seti i sistemi. Edit. Energia, Moscova, 1969.
160. Milităscu I., Petroianu A., Determinarea experimentală a unor parametri caracteristici ai sistemului energetic național. Energetica, București, Tom XIII, fasc.12, dec.1965, pag.599-606.
161. Miron R., Introducere vectorială în geometria analitică plană, Edit. didactică și pedagogică, București, 1970.
162. Moga M., Ivașcu Cornelia, Estimarea expresiei caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune ale consumatorilor complecși pe baza caracteristicilor determinate experimental. Simpozionul Național al rețelelor electrice; ediția III-a, 25-26 oct.1984, Timișoara, vol.I, pag.90-96.
163. Moga M., Ivașcu Cornelia, Reprezentarea caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune ale consumatorilor complecși prin expresii liniare. Sesiunea științifică a Institutului Politehnic Iași, mai 1986, vol.13, pag.257-262.
164. Moraita G., Probleme privind capacitatea maximă de transport a rețelei românești de 220 (400)kV. Energetica, București, Tom XV, fasc.1, ian.1967, pag.23-27.
165. Moraita G.ș.a., Probleme privind continuitatea în funcționare a grupurilor generatoare de putere unitară mare. Energetica, București, Tom XVIII, fasc.2, febr.1970, pag.80-86.
166. Moroskin Iu.V., K issledovaniiu staticeskoii ustoičivosti slojnih elektriceskih sistem. IAN, En.tr., Anul 10, fasc.2, 1972, pag.44-50.
167. Morozovskii V.T., Ob ekvivalentirovanii elektroenergheticeskih sistem, obladaiuščih polinoi ili ciasticinoi simetrii. IAN, En.tr., Anul 8, fasc.5, 1970, pag.19-27.
168. Moussa H.A., Yağ Nau Yu., Dynamic interaction of multi-machine power system and excitation control, PAS-99, nr.4, 1974, pag.1150-1158.
169. Nedelcu V., Regimuri de funcționare ale mașinilor de curent alternativ. Edit. Tehnică, București, 1968.
170. Novac I., Mașini electrice Edit. IPTV Timișoara, 1969.
171. Novac I., ș.a. Mașini și acționări electrice. Edit. Didactică și Pedag., București, 1982.

172. Novaş V.I. ş.a. Staticheskaia ustoicivosti uzla nagruzki. Elektroenergetika. Izd. vîscie şcola, Minsk, Tom 1, 1971, pag.43-46.
173. Ohyama T., ş.a., Voltage dependence of composite loads in power systems. PAS-104, nr.11, nov.1985, pag.3064-3073.
174. Okamura M. ş.a., A new power Flow model and solution method including load and generator characteristics and effects of system control devices. PAS-94, nr.3, 1975, pag.1042-1050.
175. Palaniswamy K.A., ş.a., Optimum load shedding taking into account of voltage and frequency characteristics of loads. PAS-104, nr.6, iunie 1985, pag.1342-1348.
176. Park G.L., Colony R., Voltage reduction as a mean of reducing distribution loads, PAS-96, fasc.2, febr.1977, pag.628-633.
177. Pelissier R., Les reseaux d'énergie électrique, vol.I. Les aspects techniques du services Dunod, Paris, 1971.
178. Podmore R.M., Identification of coherent generators for dynamic equivalents, PAS-97, nr.4, aprilie 1978, pag.1344-1354.
179. Poată A.ş.a., Transportul şi distribuţia energiei electrice. Edit.Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1981.
180. Pomîrleanu M., Bejescu L., Utilizarea unor relaţii succesiv reduse pentru studii de stabilitate statică în sisteme electroenergetice complexe. Prima conferinţă a energeticienilor din România; 17-19 oct.1974, Bucureşti, secţia IV-a.
181. Pop E., Chivu M., Măsurî electrice şi magnetice. Litografia Institutului Politehnic "Traian Vuia" Timişoara, 1969.
182. Pops T. ş.a., Avarii în instalaţiile energetice. Edit.Tehnică, Bucureşti, 1978.
183. Portela C., Representation tenseurielle du comportement incremental des réseaux électrique. Quelques applications. Simpozionul de "Analiza şi sinteza reţelelor electrice", Bucureşti, oct.1967.
184. Potolea E., Calculul regimurilor de funcţionare ale sistemelor electroenergetice. Edit.Tehnică, Bucureşti, 1977.
185. Potolea E., Calculul regimului permanent al sistemelor electrice. Edit.Tehnică, Bucureşti, 1967.
186. Potolea E., Estimarea regimului optim al unui sistem electroenergetic. Conferinţa Naţională de Electrotehnică, şi Energetică, Timişoara, 1982.
187. Price W.W., Roth B.A. Large scale implementation of model dynamic equivalents, PAS- 100, nr.8, 1981, pag.3811-3817.
188. Raduleţ R., Gheorghiu N., Baza energetică a electrificării. Industria României 1944-1964, Edit.Academiei RSR, 1964, pag.255.

189. Raduleț R., Opaschi M., Proiectarea hidrogenatoarelor și a motoarelor sincrone. Edit.Tehnică, București, 1981.
190. Rudnițki M.P., Opređenje criticeskikh rajimov elektroenergheticeskih sistem. IAN ,En.tr., Anul 11, fasc.2, 1973, pag.57-65.
191. Rumisiski L.Z., Prelucrarea matematică a datelor experimentale. Edit.Tehnică, București, 1974.
192. Shackshaft G. ș.a., Demand Responses to Changes of Voltage. Report on South Wales System Tests, Liverpool, System Tehnical, Planning Report nr.EL-ST/1/70 din 27 apr.1970.
193. Shackshaft G., Symons, O.C., General purpose model for power system load, Proc. of IEE, vol.124, nr.8, 1977, pag.715-723.
194. Shackshaft G., Digital solution of power system steady state and transient stability. Proceedings Queen-Mary College, Conference 1963, Documentul 5.3.
195. Slemon G.R., Analytical models for saturated synchronous machines. PAS-90, nr.2, 1971, pag.409-417.
196. Sîromiatnikov I.A., Regimurile de funcționare ale motoarelor asincrone. Trad. din lba rusă, Edit.Tehnică, București, 1952.
197. Skopințev V.A. ș.a, Ob odnom primenenii nelineinovo D-raziennia k analiza staticeskoj ustoičivosti električeskih sistem, IAN, En.tr., Anul 5, fasc.5, 1967, pag.81-85.
198. Soci A., ș.a. Evaluarea variațiilor de tensiune. Studii și cercetări de energetică-electrotehnică, Tom 14, fasc.2, București, 1964, pag.255-271.
199. Sokolov N.I., Primenenie analogovih včislitel'nyh mašin v energheticeskih sistemah, Moscova, 1964.
200. Stănciulescu F., ș.a, Un model matematic al mașinii sincrone pentru calculatorul analogic. Electrotehnica, București, nr.9, sept.1970, pag.330-336.
201. StroeV V.A., Sreedharan B., Steady-state stability of alternators as affected by voltage regulators. Proc. of IEE, Tom 114, fasc.7, 1967, pag.939-945.
202. Tavora C.J., Smith O.M., Characterization of equilibrium and stability in power systems, PAS-91, nr.3, martie 1972, pag.1127-1130.
203. Taylor O.W., Cresap R.L., Real-time power system simulation for automatic generators control. PAS-95, nr.1, ian.1976, pag.375-382.
204. Teodorescu I., Geometrie analitică și elemente de algebră liniară. Edit.Didactică și Pedagogică, București, 1965.

205. Timotin A. s.a., Lectii de bazele electrotehnicii. Edit. Didactică și Pedagogică, București, 1970.
206. Ueda R., Takata S., Effects of induction machine load on power system. PAS-100, nr.5, mai 1981, pag.2555-2562.
207. Uşakov E.I., Fascet aperiodiceskoi ustoiçivosti slojnih elektriceskih sistem s ucetom staticeskikh harekteristik nagruzok. IAN, En.tr., nr.4, 1974, pag.3-16.
208. Van Ness I.B., Respons of large power systems to cyclic load variations. PAS-85, nr.7, iulie 1966, pag.723-727.
209. Vasin V.P., Oţenka ustoiçivosti uzla nagruzki pri asinhronnom rejime v energosisteme. I.A.N., En.tr., fasc.2, mart-apr. 1967, pag.20-24.
210. Venikov V.A., Aplicarea teoriei similitudinii și modelării în electroenergetică. Trad.din lba rusă. Edit.Tehnică, București, 1972.
211. Venikov V.A., Hariharan M.V. Ob ustoiçivosti nagruzki elektrosistem. IAN, En.Auș., fasc.4, iulie-aug.1962, pag.19-23.
212. Venikov V.A., Stroev G.V., Primeçenie matematiceskih metodov i sdreštiv vîçislitelnoi tehnikii v proektirovanii i ekspluatatcii energheticeskih sistem. Izdatelstvo Energhfia, Moscova, 1965, pag.154-184.
213. Venikov V.A., s.a. Ekvivalentirovanie uzlov nagruzki energosistem. Izv.VUZ Energhetika, Minsk, fasc.5, mai 1973, pag.3-10.
214. Venikov V.A.s.a., Oţenka staticeskoi ustoiçivosti elektriceskih sistem na osnove reseniia uravnenii ustanovisevodia rejima. IAN, En.tr., anul 9, fasc.5, 1971, pag.18-23.
215. Venikov V.A.s.a., Uçet ograniçenii po staticeskoi ustoiçivosti pri rascetah rejimov slojnih elektriceskih sistem. I.A.N., En.tr., anul 11, fasc.2, 1973, pag.51-56.
216. Venikov V.A.s.a. Primenenie metoda statisticeskih ispitanii k analizu ustoiçivosti elektriceskih sistem, Elektricesstvo, URSS, nr.1, ian.1969, pag.13-18.
217. Venikov V.A., Feodorov D.A., Analiz povedeniia elektriceskih sistem pri rezkih izmeneniah nagruzki. Elektricesstvo, URSS, nr.4, apr.1959, pag.16-22.
218. Waldyr M., Semlyen A., Effect of load characteristics on the dýnamic stability of power systems. PAS-91, nov-dec.1972, pag.2295-2304.
219. Wasynczyk O., Krause P.C., Theory and comparison of reduced order models of induction machines. PAS-104, nr.3, martie 1985, pag.598-606.
220. Wood A.J., Concordia C., An analysis of solid rotor machines Part.IV. An approximate non-linear analysis. PAS-47, nr.1, 1960, pag.26-31.
221. Wood A.J., An analysis of solid rotor machines. Part I.Ope-

- rational impedances and equivalent circuits. PAS.Part. III.B. nr.2, 1960, pag.1657-1665.
222. Yao NanYu, Vongsuriys,K., Steady-state stability limits of a regulated synchronous machine connected to an infinite system. PAS-85, fasc.7, 1966, pag.759-766.
223. Yao Nan Yu, El-Sharkwi M.A., Estimation of external dynamic equivalents of a thirteen machine system, PAS-100, nr.3, martie 1981, pag.1324-1332.
224. Zhecenko G.N., Fouad A.A., Steady state stability analysis with frequency reponse methods. Optimisation of excitation system parameters, PAS-103, nr.4, apr.1984, pag.715-722.
225. Zickman M., Stadiul actual al calculelor stabilității sistemelor electroenergetice cu ajutorul calculatoarelor electronice, Energetica, București, tom 17, nr.5, mai 1969, pag.244-251.
226. *** Lexiconul tehnic român. Edit.Tehnică, București, 1958, vol.3, pag.452.
227. *** Aplicarea mijloacelor moderne de calcul în proiectarea și exploatarea sistemelor energetice.I.D.T., București, 1964.
228. *** Procedeu de analiză a condițiilor de stabilitate statică a sistemelor energetice cu utilizarea mașinilor electronice cifrice și analogice. Lucrare ISPE nr.1073, București, oct.1966.
229. *** Cercetări experimentale pentru precizarea premizelor calculelor de stabilitate statică și a modului de interpretare a rezultatelor acestor calcule pentru luarea unor decizii de exploatare. Studii ICEMENERG, Sectorul SMC, București, iunie 1971.
230. *** Conferințe și studii recente privind direcțiile principale ale cercetării în SUA, în domeniul sistemelor electroenergetice. Energetica, București, Tom 24, fasc.2, febr.1976, pag.64-70.
231. *** System load dynamic simulation effects and determination of load constant. IEEE Committee report, PAS-92; nr.2, 1973, pag.600-609.
232. *** Excitation system models for power system stability studies, IEEE Committee report; PAS-100, nr.7, iulie 1981, pag.3229-3245.
233. *** Proposed terms and definitions for power system stability, PAS-101, nr.7, iulie 1982, pag.1894-1895.

LISTA CUPRINZIND ABREVIATIILE TITLURILOR DE REVISTE

- Proc.of IEE - Proceedings of IEE - Anglia
- PAS - IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems-SUA
- IAN, En.tr. - Izvestia Akademii Nauk SSSR, Energhetika i Transport - URSS
- IAN, En. Aut.- Izvestia Akademii Nauk SSSR, Energhetika i Avtomatika - URSS
- Bul.I.P.B. -Buletinul științific și tehnic al Institutului Politehnic București
- Bul.IPTV El.- Buletinul științific și tehnic al Institutului Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, seria Electrotehnică.
- R.G.E. - Révue Generale de l'Electricité- Franța