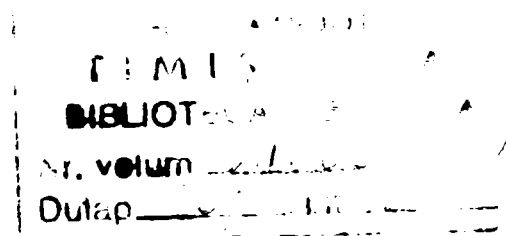


ing. NANU SORIN NICOLAE

**“Contribuții la dezvoltarea unor structuri de  
regulatoare de viteză destinate conducerii  
hidrogeneratoarelor”.**

- TEZĂ DE DOCTORAT-

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA



Conducător științific: Prof.dr.ing. ȘTEFAN PREITL

TIMIȘOARA, 2003

1. Introducere	1
2. Structuri de regatoare pentru sistemele de reglare a vitezei la turbine hidraulice	3
2.1 Preliminarii	3
2.2 Structuri de regatoare de viteză considerate în normele internaționale	9
2.3 Câteva structuri de regatoare de viteză destinate hidrogenatoarelor utilizate în practică	16
2.4 Structuri de regatoare PID luate în considerare pentru conducerea numerică a vitezei hidrogenatoarelor	24
2.5 Regulator PID numeric-implementare cu microcontroler	32
2.5.1 Funcțiile regulatorului PID numeric	32
2.5.2 Descrierea funcțiilor regulatorului PID numeric	37
2.5.2.1. Funcția de realizare a legii de reglare PID	37
2.5.2.2. Funcția auxiliară de comutare regim automat-manual și invers	39
2.5.2.3. Funcția de limitare deschidere	40
2.5.2.4. Funcția de transmitere a comenzii către blocul de putere	41
2.5.2.5. Funcția de modificare „parametri și consemn”	41
2.5.2.6. Funcția de comandă automată a pornirii și opririi	42
2.5.2.7. Funcția de monitorizare	42
2.5.2.8. Funcția de gestionare comandă de la distanță	42
2.5.3 Implementarea funcțiilor regulatorului PID numeric	44
2.5.3.1. Modulul de prelucrare numerică	44
2.5.3.2. Mărimi de intrare și ieșire în modulul regulator	
Interfețele cu placa cu microcontroler	45
2.5.4. Structura programelor implicate în realizarea funcțiilor regulatorului numeric	50
2.5.4.1. Structura „programului regulator”	51
2.5.4.2. Structura „programului de inițializare” a variabilelor	58
2.5.4.3. Structura „programului tabel” de încărcare în EEPROM a valorilor tabelului TABEL_LIM	58
2.5.5. Managementul realizării modulului regulator	58
2.5.5.1. Proiectarea hardware și software pentru realizarea funcțiilor regulatorului	59
2.5.5.2. Proiectarea metodologiei pentru punere în funcțiune și validare a regulatorului	59
2.6. Concluzii și contribuții	60
2.6.1. Concluzii	60
2.6.2. Contribuții	61

3. Structură de regulator de turație bazat pe principiul buclei cu caracter integrator și reacție după deschidere permanent conectată .....	62
3.1 Sarcinile regulatorului de turație.....	62
3.2. Structuri cu comportare de tip integrator .....	63
3.2.1. Elemente referitoare la sisteme cu comportare de tip integrator .....	63
3.2.1.1 Aspecte generale .....	63
3.2.1.2. Detalierea unor aspecte calitative referitoare la sistemele cu comportare de tip integrator ...	64
3.2.1.3. Abordarea simplificată cantitativă a elementelor cu comportare de tip integrator.....	68
3.3 Structura de principiu a regulatorului de turație .....	72
3.3.1 Blocul de stabilizare a servosistemului electro-hidraulic .....	73
3.3.2 Blocul de realizare a statismului permanent după deschidere .....	81
3.3.3 Blocul de realizare a statismului tranzitoriu după deschidere .....	83
3.3.4 Blocul de realizare a statismului după putere .....	85
3.3.5 Structura de ansamblu a regulatorului de turație .....	89
3.3.6 Avantajele utilizării structurii cu buclă de tip integrator .....	92
3.3.7 Regimurile de funcționare ale regulatorului de turație	93
3.4. Simularea funcționării regulatorului de viteză în cadrul sistemului de reglare automată .....	95
3.5. Problematika implementării regulatorului de turație pe un echipament numeric .....	99
3.6. Concluzii și contribuții .....	100
4. Blocul de cuplare .....	102
4.1. Poziția și funcțiile blocului de cuplare .....	102
4.2. Implementarea funcțiilor blocului de cuplare în variantă numerică .....	106
4.2.1 Descrierea funcțiilor .....	106
4.2.1.1. Funcția camă combinatorică .....	106
4.2.1.2. Funcția de stabilizare .....	108
4.2.1.3. Funcția de pregătire pornire grup .....	108
4.2.1.4. Funcția de protecție .....	109
4.2.1.5. Funcția de limitare .....	109
4.2.1.6. Funcția de monitorizare .....	110
4.3. Construirea tabelului camă combinatorică discretă .....	112

4.3.1. Punerea problemei de construire a tabelului camă combinatorică numerică .....	114
4.3.1.1 Construirea tabelului camă combinatorică discretă pentru cazul a) .....	115
4.3.1.2 Construirea tabelului camă combinatorică discretă pentru cazul b) .....	126
4.4. Implementarea funcțiilor blocului de cuplare .....	127
4.4.1. Placa de dezvoltare cu microcontroler .....	128
4.4.2. Mărimi de intrare și ieșire	
Interfața cu placa cu microcontroler .....	129
4.4.2.1 Mărimile de intrare logice .....	129
4.4.2.2 Mărimile de intrare analogice .....	130
4.4.2.3 Mărimea de ieșire analogică .....	133
4.4.2.4 Mărimile de ieșire pentru afișare .....	134
4.4.3. Modurile de lucru ale modului de cuplare .....	135
4.4.4. Structura programului care implementează funcțiile blocului de cuplare .....	135
4.4.4.1 Structura programului principal .....	136
4.4.4.2 Structura subrutinelor .....	138
4.5. Managementul realizării modului de cuplare .....	146
4.5.1 Proiectarea hardware și software pentru realizarea funcțiilor blocului de cuplare .....	146
4.5.2 Punerea în funcțiune și validarea modului de cuplare .....	147
4.5.3 Încercările pe stand .....	148
4.5.4 Probleme specifice întâlnite în fazele de proiectare și punere în funcțiune.....	150
4.6. Concluzii și contribuții .....	150
5. Concluzii și contribuții .....	153
5.1. Concluzii .....	153
5.2. Contribuții .....	154
5.3. Considerații finale .....	154
Bibliografie .....	156
Anexe	



## Cap.1. Introducere

Subiectul tezei se încadrează în problematica reglării turației (vitezei unghiulare, vitezei) hidrogeneratoarelor. Teza prezintă o analiză structurilor de reglare frecvent utilizate și dezvoltarea unor noi structuri de reglare a vitezei, axate cu precădere pe folosirea unor echipamente numerice de conducere.

Reglajul automat al vitezei asigură valori dorite ale frecvenței în sistemele energetice sau în sisteme locale izolate, precum și controlul vitezei agregatelor în regimuri periculoase [GUZ 95].

Standardele Comisiei Electrotehnice Internaționale [IEC 70] specifică cerințele pe care trebuie să le îndeplinească un sistem de reglare a vitezei hidrogeneratoarelor. Sistemele de reglare dezvoltate în teză se bazează integral pe respectarea acestor cerințe. Dezvoltările se referă la regulatoare care au fost concepute în cadrul unui șir de colaborări între cadre didactice ale Universității “Politehnica” din Timișoara, departamentul de Automatică și Informatică Industrială și specialiști de la Departamentul de Cercetare Proiectare al S.C. UCM Reșița. Sunt luate în considerare doar acele structuri la care autorul a participat în calitate de membru al echipelor de cercetare, proiectare și validare, sau în calitate de responsabil de contract.

În afara acestui capitol introductiv, teza este structurată pe patru capitole concepute astfel încât să încadreze structurile dezvoltate în realizări similare existente pe plan mondial. Conținutul capitolelor este următorul:

În *capitolul al doilea* sunt prezentate un istoric al dezvoltării sistemelor de reglare a vitezei în România, structurile de principiu ale sistemelor de reglare a vitezei, precum și, într-o analiză comparativă, structuri de reglare de tip PID actuale, oferite de firme producătoare în domeniu (NOELL, Siemens, Neyrpic, Woodward), un sistem de reglare PID dezvoltat de o echipă de cadre didactice din Universitatea “Politehnica” și un sistem de reglare de la hidrocentrala Dinorwig din Țara Galilor, Marea Britanie. Se detaliază implementarea regulatorului PID cu un sistem cu microcontroler, implementare care a fost obiectul unui contract între Universitatea “Politehnica” din Timișoara și Uzina Constructoare de Mașini din Reșița la care autorul tezei a fost responsabil de contract. Regulatorul numeric PID obținut asigură realizarea legii de reglare și tratarea tuturor regimurilor solicitate de beneficiar.

În *capitolul al treilea* se propune o structură nouă de regulator de viteză ce se bazează pe o buclă cu caracter integrator. Regulatorul construit pe baza acestei structuri a făcut și obiectul unui contract cu UCM Reșița, la care autorul a fost participant; el a fost realizat în variantă analogică și pus în funcțiune la CHE Herculane și CHE Dicle Turcia, din anul 1998, respectiv 1999. Unul dintre avantajele sale față de structurile clasice constă în faptul

că statisticele permanente și tranzitorii pot fi ajustate fără a produce procese de interinfluență.

În acest capitol se prezintă teoretizarea principiilor folosite la conceperea și realizarea regulatorului; cu acest grad de detaliere aceste aspecte nu au fost încă publicate.

*Capitolul al patrulea* are ca obiect dezvoltarea și realizarea practică a combinatorului sau a camei combinatorice, pentru un sistem de reglare cu două organe (regulatoare duble) utilizate în cazul turbinelor Kaplan și Bulb. În teză, combinatorul este denumit "bloc de cuplare", deoarece el corelează după o anumită lege neliniară poziția aparatului director la poziția paletelor rotorice, ținând seama și de înălțimea căderii. În prima parte este dezvoltată structura și prezentată metodologia de proiectare a dependenței implementate în structură, pornind de la documentația amenajării (dependența combinatorică). Algoritmii de proiectare este original, el utilizând un bogat instrument matematic, și facilitățile mediului Matlab. În a doua parte a capitolului este prezentată implementarea blocului de cuplare într-o variantă cu microcontroler, echipamentul rezultat îndeplinind pe lângă dependența proiectată și funcții auxiliare.

Capitolul prezintă și implementări numerice ale unor structuri analogice, soluțiile adoptate se bazează pe un echipament numeric foarte des utilizat în automatizări, și anume sistemul cu microcontroler Intel 80C552. Sistemele cu microcontroler au o largă răspândire în cazul aplicațiilor de conducere a proceselor datorită caracteristicilor lor tehnice oportune cât și simplității de realizare hard a echipamentelor și de programare a soft-ului de aplicație. În cadrul clasei de microcontrolere, familia Intel 8051 pe 8 biți, din care face parte și microcontrolerul utilizat de autor, este deosebit de des utilizată [POP 97], [\*\*\*89], [POP 03].

Autorul a utilizat acest echipament pentru realizarea unui regulator de viteză cu legea de reglare PID, descris în capitolul 2, și a blocului de cuplare, cu funcția de bază de camă numerică, descris în capitolul 4. Etapele realizării sistemului sunt orientate pe pragmatismul necesar în industrie și sunt: - definirea sarcinilor, - proiectarea hardware și software a aplicației, - construirea plăcilor de interfață, - scrierea programului, - punerea în funcțiune și testarea. Ambele aplicații au fost subiecte de contracte de cercetare [\*\*\* 00], [\*\*\* 01] și au fost recepționate de beneficiar ca îndeplinind sarcinile cerute.

Ultimul capitol, al *cincelea*, sintetizează rezultatele obținute în fiecare capitol și enumeră contribuțiile originale ale autorului, precum și direcțiile de dezvoltare a temei.

## Cap.2. Structuri de reglatoare pentru sistemele de reglare a vitezei la turbine hidraulice

### 2.1 Preliminarii

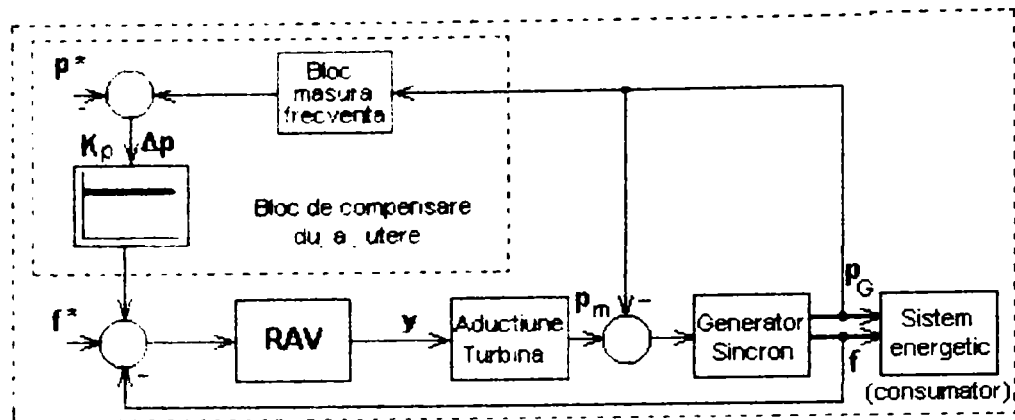
Reglajul de viteză (viteză unghiulară, turație) reprezintă unul dintre procesele importante care se derulează, la nivelul de bază (reglajul primar), în procesul, mai general, al reglajului de frecvență dintr-un sistem electro-energetic. Reglarea de viteză are loc la nivelul fiecărui grup care generează energie în sistem și constă într-un ansamblu de interacțiuni prin intermediul cărora turația grupului este menținută la valoarea corespunzătoare frecvenței din sistem. Această valoare a frecvenței rezultă în funcție de nivelul la care se stabilește echilibrul între suma puterilor solicitate de la generatoarele conectate la sistem (puterea solicitată de la consumatori) și puterea debitată de acestea.

Viteza (unghiulară), turația și frecvența sunt legate prin relațiile:  $n = 60f/p$  și  $\omega = 2\pi f$  rezultând  $n = 60\omega / 2\pi p$  sau  $\omega = 2\pi p n / 60$  cu  $n$ =turația [rot/min],  $p$ =nr. perechi de poli ai generatorului sincron,  $\omega$  = viteza unghiulară [rad-sec],  $f$ =frecvența [1/sec]. Datorită relațiilor de proporționalitate se poate discuta, din punct de vedere matematic, despre reglarea de viteză și reglarea de turație ca despre două noțiuni echivalente.

Reglajul de viteză se bazează pe îmbinarea a două tipuri de interacțiuni care vizează grupul turbină-generator: interacțiunile care privesc turația grupului și interacțiunile referitoare la deschiderea paletelor. Astfel, în condițiile menținerii constante a deschiderii paletelor turbinei, modificarea vitezei de rotație a unui grup este echivalentă cu modificarea puterii  $P_G$  convertite de grup, deci și de generator; în anumite condiții ea este asimilabilă cu o acțiune perturbatoare de tip "sarcină" ușor măsurabilă pe partea electrică. Comanda de modificare a deschiderii paletelor rotorice la o turație constantă a grupului are drept consecință, de asemenea, modificarea puterii transmise grupului  $P_m$ , asimilabilă cu acțiune de comandă.

În consecință, pentru ca variațiile de turație la nivelul grupului să se mențină în limite normale în condițiile modificării turației unui grup, în urma solicitării electrice a generatoarelor, adică a unor variații ale puterii  $P_G$ , se procedează la modificarea automată a deschiderii paletelor turbinei. Operația se asigură prin intermediul sistemului automat care intervine la nivelul aparatului director asupra deschiderii paletelor, deci asupra lui  $P_m$ . Structura acestui sistem este redată de schema bloc din fig.2.1.1 în care RAV este regulatorul automat de viteză.





**Fig.2.1.1** Structură de sistem de reglare a frecvenței; structura este prevăzută și cu un bloc de compensare după puterea debitată ( $p_G$ )

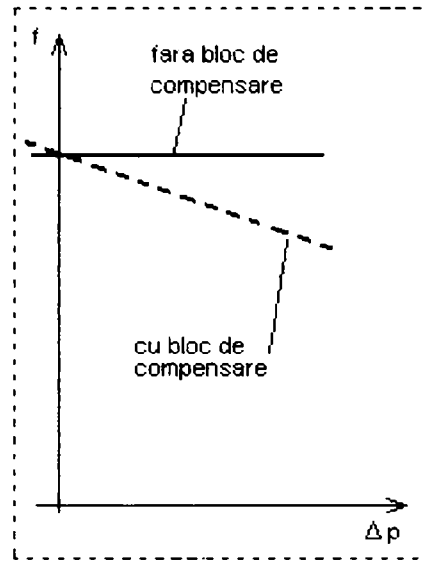
Intervenția se efectuează, pe de-o parte, în funcție de modificările de frecvență, iar pe de altă parte, în funcție de variațiile puterii  $P_G$  debitate și măsurate, raportate la o valoare prescrisă. Intervenția în funcție de variațiile puterii are un dublu caracter: un caracter compensatoriu anticipativ, folosit pentru atenuarea și amortizarea efectelor variațiilor de turație, respectiv un caracter de cantonare a variațiilor de putere în vecinătatea valorii prescrise pentru aceasta.

În regim permanent constant cele două elemente în funcție de care se comandă aparatul director se găsesc în echilibru în sensul că o abatere permanentă de frecvență  $\Delta f = f - f^*$  este compensată de o abatere permanentă a puterii debitate față de valoarea prescrisă  $\Delta p = p_G - p^*$ . Raportul în care se găsesc cele două abateri este caracterizat printr-un coeficient de proporționalitate. Posibilitatea de ajustare a acestui coeficient și menținerea relației de proporționalitate sunt de importanță fundamentală pentru reglajul de viteză. În acest context se definește statismul după putere al sistemului:

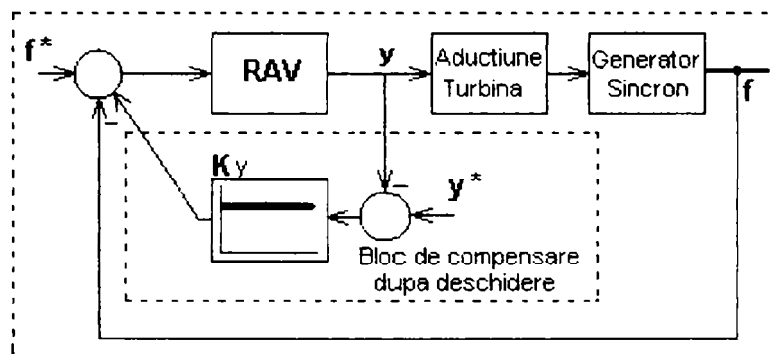
$$b_{pp} = \frac{\Delta f}{\Delta p}$$

În fig.2.1.2. sunt prezentate pentru exemplificare caracteristicile  $\Delta f \rightarrow \Delta P$  ale sistemului de reglare a vitezei (prescurtat SRA-V) în cazul în care acesta prezintă statism după putere (și dependența dintre  $\Delta f$  și  $\Delta P$  este acceptată ca liniară), și în cazul în care acesta este fără statism (astatic). Cele două caracteristici sunt însoțite de atributele „fără bloc de compensare”, respectiv „cu bloc de compensare”.

Acțiunile în funcție de abaterile de frecvență/turație și abaterile de putere, se realizează prin reacții aduse de la arborele grupului, respectiv de la barele generatorului. La pornire, până la momentul conectării generatorului la rețea, puterea debitată fiind nulă, în locul reacției după putere se folosește o reacție după poziția paletelor aparatului director (statism după deschidere) [CRI 79], [CRI 86], (fig.2.1.3). În acest caz problema statismului se pune cu privire la relația dintre turație și deschiderea paletelor.

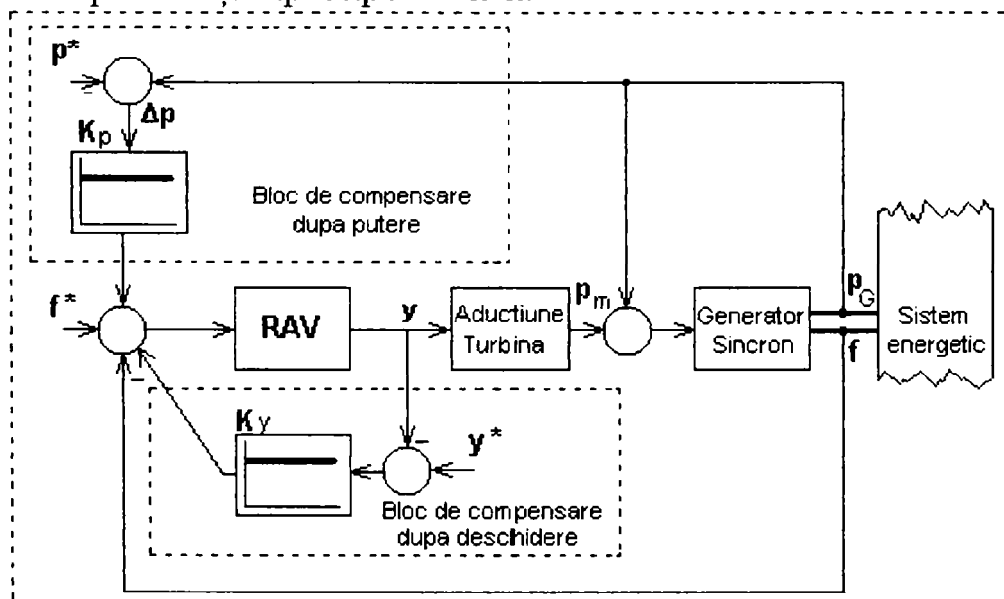


**Fig.2.1.2** Efectul blocului de compensare asupra statismului și definirea statismului SRA-V



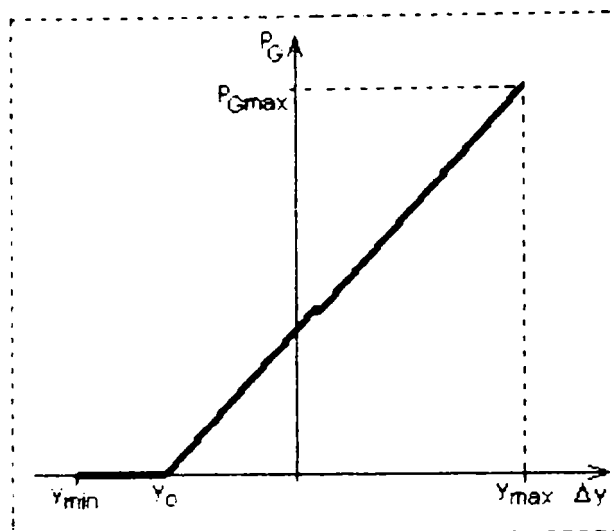
**Fig.2.1.3.** Structură de sistem de reglare a vitezei cu bloc de compensare după deschidere

Principial este posibilă păstrarea ambelor reacții și după pornirea și cuplarea la rețea a generatorului (fig.2.1.4.). Contribuția reacției după deschidere este mult mai redusă decât cea a reacției după putere, cele două fiind într-o dependență aproape liniară.



**Fig.2.1.4.** Structură de sistem de reglare a vitezei cu bloc de compensare după deschidere și după putere

În fig.2.1.5. se prezintă o alură de principiu a dependenței dintre deschidere și putere la viteză de rotație constantă. În realitate, avem de-a face cu o familie de caracteristici neliniare mai complexe. Idealizarea sub forma din fig.2.1.5., permite însă intuirea fenomenelor.



**Fig.2.1.5.** Dependenta dintre puterea furnizată și deschidere (poziția aparatului director)

Necesitatea conducerii și a altor mărimi decât viteza de rotație a turbinei sau după caz a puterii generate de aceasta, precum și necesitatea diversificării funcțiilor auxiliare au reprezentat principii care au direcționat dezvoltarea sistemelor de reglare a vitezei (SRA-V) pentru turbine hidraulice în ultimul deceniu și jumătate. Una dintre consecințe a constituit-o utilizarea unui număr mai mare de semnale, pentru a furniza mărimea de comandă, în scopul unei reglări performante prin funcțiile realizate, siguranță în execuția acestora și flexibilitate în configurare.

Acțiunea complexă de reglare a frecvenței la nivelul sistemului energetic se realizează în trei trepte. Ele evidențiază și relația dintre reglarea de viteză/putere și cea de frecvență. Cele trei trepte sunt [CRI 86], :

- *Reglarea primară*, sau reglarea de viteză; se realizează cu ajutorul reguletoarelor de viteză (RAV) ale grupurilor generatoare. Reglarea tinde să mențină în fiecare moment puterea electrică absorbită de la fiecare generator în vecinătatea puterii prescrise, setate în limitele puterii mecanice a mașinii primare, în condițiile modificării foarte reduse a frecvenței din sistemul energetic.
- *Reglarea secundară*; această reglare se suprapune peste reglarea primară, și se realizează cu regulatorul automat de frecvență (RAF). Ea este orientată spre menținerea frecvenței în sistem al o valoare prescrisă și se realizează prin modificarea numărului și încărcărilor generatoarelor din sistem.
- *Reglarea terțiară*; această reglare se referă la menținerea încărcării generatoarelor astfel încât să se obțină un punct de funcționare optim din punctul de vedere economic al centralelor din sistem.

După cum s-a precizat la începutul capitolului, la nivelul unui grup energetic, în particular grup hidrogenerator, regulatorul automat de viteză (RAV) este implicat în cazul general în reglarea primară. Reglarea secundară este sarcina unor grupuri speciale care, în principiu folosesc reglatoare de viteză similare cu cele din cazul reglajului primar cu domenii adecvate de variație ale semnalelor. Reglajul terțiar se realizează în mod coordonat la nivelul sistemului electro-energetic prin modificarea nivelului prescris (consemn) la grupurile selectate.

În practică se disting patru regimuri de funcționare ale sistemelor de reglare a vitezei [IEC 70], [IEC 97]:

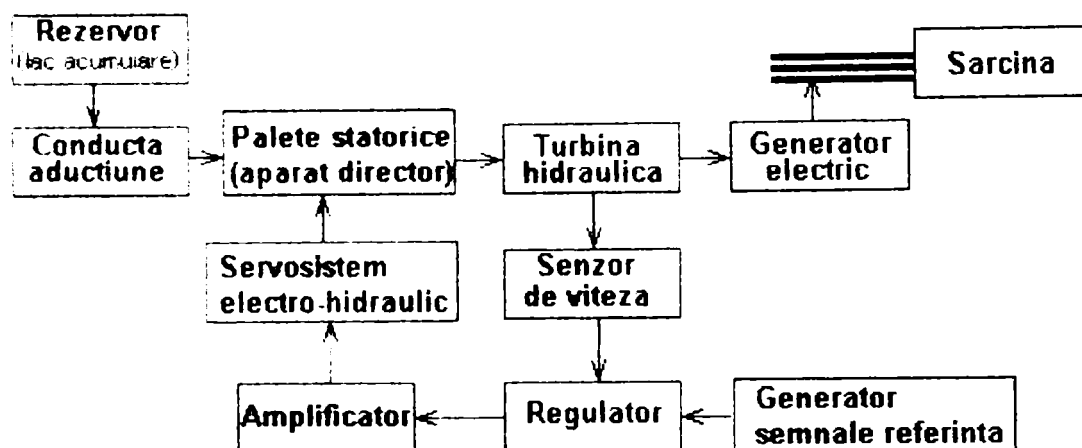
- *Regimul de funcționare staționar constant* are loc atunci când toate variabilele de intrare sunt constante în timp (încărcarea generatorului, semnalele de prescriere, înălțimea căderii de apă).
- *Regimul de funcționare tranzitoriu la mici variații ale semnalelor* – are loc atunci când semnalele de intrare sunt modificate cu valori mici, astfel încât nici unul din elementele sistemului de reglare să nu ajungă la limitare. Funcționarea în acest regim este caracterizată prin revenirea la un regim staționar fără modificări semnificative ale mărimilor și cu o amortizare corespunzătoare (cu oscilații minime). În acest mod de lucru este definitiv conceptul de regim de funcționare stabilă la mici perturbații.
- *Regimul de funcționare tranzitoriu la variații mari de semnal* – are loc atunci când oricare dintre intrări se modifică cu o asemenea valoare încât să determine intrarea în saturație a uneia sau mai multor mărimi din sistemul de reglare determinând un comportament nelinear din cauza saturării. În sistemele de reglare a vitezei grupurilor hidroenergetice, acest mod de lucru poate fi adesea atins datorită restricțiilor impuse debitului fluidului hidraulic către servomotorul principal, din motiv de viteză limitată a deplasării aparatului director. În acest mod de lucru este importantă amplitudinea variației semnalului de intrare ce cauzează intrarea în saturație.
- *Regimul de funcționare stabilit în condițiile blocării paletelor statorice* reprezintă cel mai simplu mod de lucru, și anume operarea în condițiile în care mișcarea paletelor statorice este restricționată într-un sens sau în ambele sensuri de deplasare. În cel de-al doilea caz, restricționarea are ca rezultat furnizarea către sistemul energetic a unei valori predeterminate de putere, regulatorul funcționând ca un element de execuție comandat manual, fără a ține seama de variațiile vitezei.

Acesta este contextul în care, în continuare se procedează la studiul și analiza unor structuri ale reglatoarelor de viteză. Sunt prezentate și discutate structurile reglatoarelor de viteză conform standardelor [IEC 97], regimurile de funcționare ale acestora și în continuare două structuri

clasice de regulator de viteză. De asemenea este detaliată o structură de regulator de tip PID implementat în variantă digitală de autor.

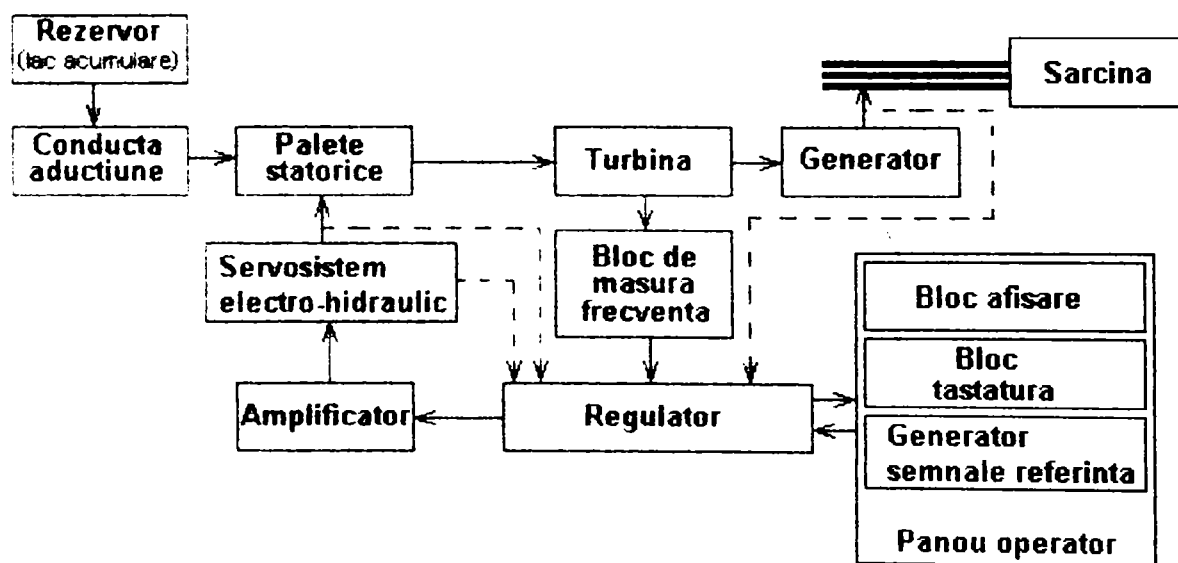
## 2.2 Structuri de regatoare de viteză considerate în normele internaționale

În fig. 2.2.1 sunt prezentate elementele generale comune celor 4 structuri de sisteme de reglare a vitezei conținute în normele [IEC 70], [IEC 97].



**Fig.2.2.1.** Schema bloc de principiu a sistemului de reglare a vitezei unei turbine hidraulice

Această schemă ce apare în [IEC 97] menținută din anii 70, nu surprinde modificările apărute ulterior. O structură mai completă, legată de implementările actuale este cea dată în fig.2.2.2. Pentru a fi mai ușor sesizate, conexiunile noi au fost reprezentate cu linie întreruptă. De asemenea, au fost menționate și funcțiile de interfațare cu operatorul uman.

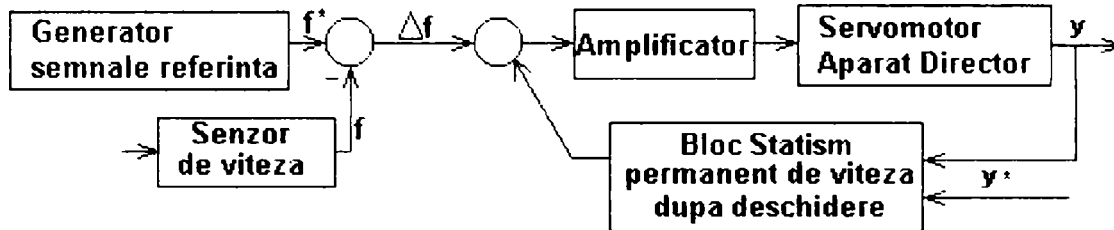


**Fig.2.2.2.** Schema bloc de principiu actualizată a sistemului de reglare a vitezei unei turbine hidraulice

În continuare sunt analizate 4 structuri de blocuri regulator (fig.2.2.2) la care se referă normele [IEC 70], [IEC 97] și care pot fi deduse pe baza schemei din fig.2.2.2. Ele conțin numai buclele cu reacție după deschidere.

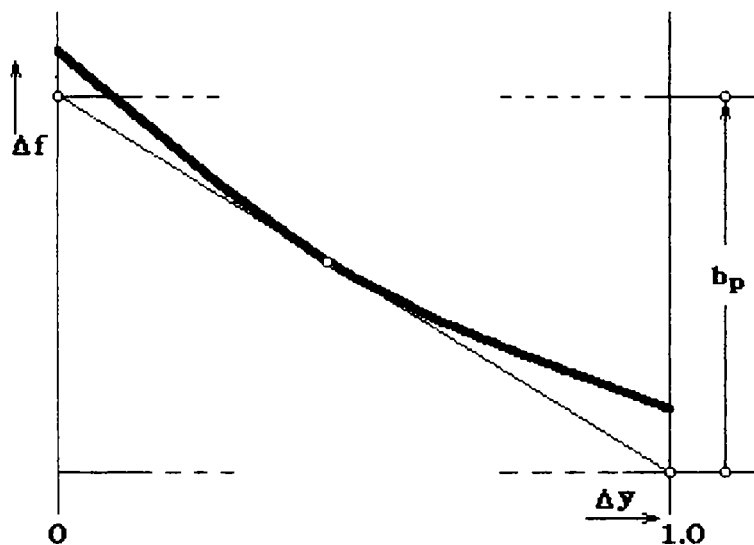
Întrucât, potrivit §2.1, problema statismului după deschidere se poate pune într-o manieră similară cu cea a statismului după putere, lipsa unor scheme, care să evidențieze acest lucru, nu deranjează.

**1. Structura de tip tahometric primară** este prezentată în fig. 2.2.3. În mod frecvent este denumită ca *sistem de reglare a vitezei de tip tahometric*. Ea este sensibilă la abaterile vitezei turbinei de la valoarea prescrisă. Ieșirea  $y$  a regulatorului este cursa servosistemului hidraulic și este determinată de eroarea de frecvență  $f-f^*$ . Conducerea mișcării servosistemului hidraulic se realizează printr-o reacție de tip proporțional după deschidere (Blocul statism permanent de viteză după deschidere).



**Fig.2.2.3.** Structură de tip tahometric primară

Conform [IEC 70], [IEC 97], *coeficientul de statism permanent de frecvență după deschidere*  $b_p$  este mărimea definită ca panta caracteristicii statice “viteză în funcție de deschidere” a regulatorului, în punctul de funcționare (v.fig.2.2.4) unde  $\Delta f$  este abaterea de frecvență și  $\Delta y$  este variația compensatorie a deschiderii aparatului director. Structura de reglare prezentată permite controlul acestei mărimi.



**Fig.2.2.4** Diagrama pentru definirea statismului permanent

În acest scop, schema folosește o reacție de tip proporțional după  $y$  denumită în practică *statism permanent după deschidere*. Coeficientul de statism permanent după deschidere poate fi menținut constant pe întreg domeniul de funcționare, numai în cazul în care “canalul Amplificator-Servomotor” are caracter integrator. Prin caracterul integrator se asigură în regim staționar constant anularea mărimii de intrare în amplificator:  $\varepsilon_f=0$ .

Întrucât

$$\varepsilon_f = K(\Delta f - b_p \cdot \Delta y),$$

rezultă că în regim staționar constant abaterea de frecvență este compensată la nivelul regulatorului prin variații proporționale ale deschiderii aparatului director

$$\Delta y = b_p^{-1} \cdot \Delta f. \quad (2.2-1)$$

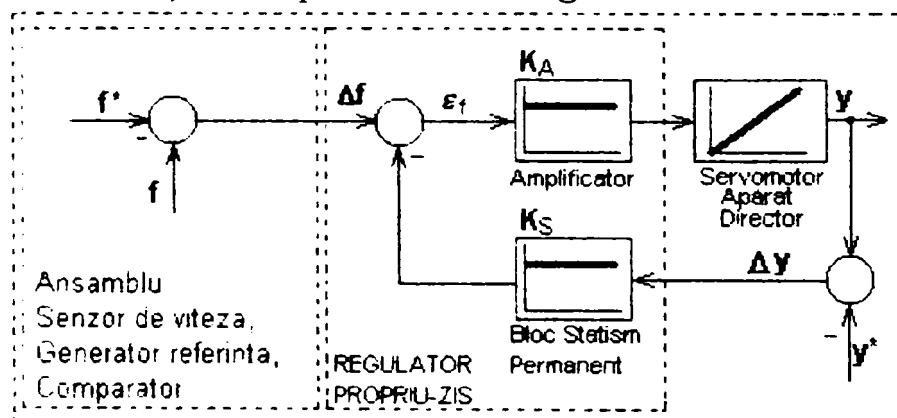
Egalitatea este valabilă indiferent care este valoarea prescrisă  $y^*$ , valoare în raport cu care se consideră  $\Delta y$ .

Altfel, deoarece canalul "Amplificator-Servomotor" are un caracter neliniar datorat în principal caracteristicilor mecanice ale servomotorului (limitare la capătul cursei, zonă de insensibilitate), coeficientul de statism depinde de punctul de funcționare potrivit unei relații neliniare de forma

$$\Delta y = b_p^{-1}(y, f) \cdot \Delta f.$$

În soluțiile mecanice, mecano-hidraulice sau electro-hidraulice, elementul de execuție (denumit Servomotor Principal sau Servomotorul Aparatului Director) și elementul regulator propriu-zis (Amplificator în fig. 2.2.3) formează o construcție unitară [FLO 83], [BAL 01], [VAS 97], denumită "Regulator de viteză (turație)".

În varianta structurii de tip tahometric, regulatorul de turație a fost în mod frecvent de tip proporțional (sau PT1), uneori completat cu elemente de corecție cu dinamică adecvată. Cea mai simplă schemă de implementare a regulatorului de turație este prezentată în fig.2.2.5.



**Fig.2.2.5.** O schemă simplă de implementare a regulatorului de turație pentru structura tahometrică primară

Pentru modelarea Servomotorului Aparat Director pot fi utilizate diverse modele. Un model simplu, de tip liniar, este cel de tip integrator [PRE 85]

$$H_{SAD}(s) = \frac{1}{T_{SAD} \cdot s}. \quad (2.2-2)$$

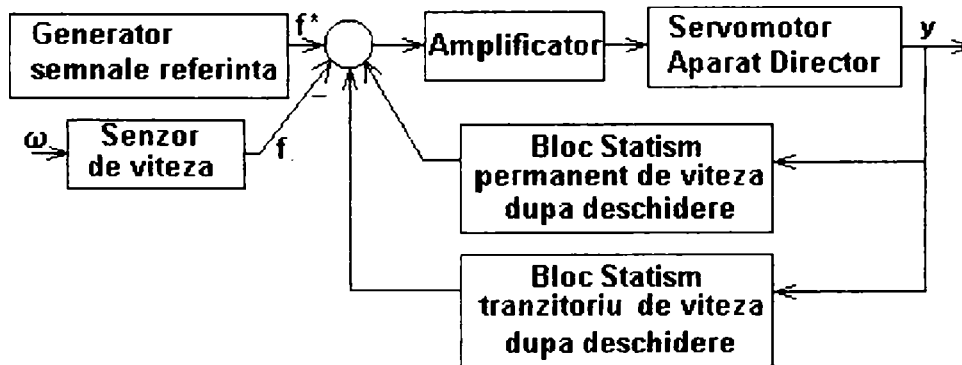
În acest caz, stabilizarea realizată prin structura din fig.2.2.5. poate fi caracterizată printr-un model matematic de ansamblu, de tip PT1.

$$H_{\Delta f \rightarrow \Delta y}(s) = \frac{\Delta y(s)}{\Delta f(s)} = \frac{K_A}{1 + \frac{T_{SAD} \cdot s}{K_A \cdot K_S}} = \frac{1}{K_S} * \frac{1}{1 + \frac{T_{SAD}}{K_S \cdot K_A} \cdot s} \quad (2.2-3)$$

Blocul de Statism Permanent are atât rolul de a stabili cursa aparatului director cât și de a realiza statismul impus. Se observă că în regim permanent constant  $\varepsilon_{fx}=0$  și corespunzător  $K_S \cdot \Delta y = \Delta f$ . Prin comparație cu relația (2.2-1), rezultă că  $b_p = K_S$ . Notăția  $b_p$  fiind notația consacrată din domeniul reguletoarelor de viteză al hidrogenatoarelor, funcția de transfer se rescrie sub forma

$$H_{\Delta f \rightarrow \Delta y}(s) = \frac{1}{b_p} * \frac{1}{1 + \frac{T_{SAD}}{b_p \cdot K_A} \cdot s}$$

**2. Structura de tip tahometric cu statism tranzitoriu** (fig. 2.2.6.) Față de structura fig. 2.2.3. această structură prezintă pe lângă reacția de statism permanent și o reacție dinamică, tranzitorie, proporțională cu viteza de deplasare a aparatului director al servomotorului principal, reacție al cărei efect se atenuează exponențial în timp ajungând ca în regim permanent să fie zero. Ieșirea acestui bloc (semnalul de statism tranzitoriu) este utilizată pentru corecția dinamică a poziției servosistemului electro-hidraulic.

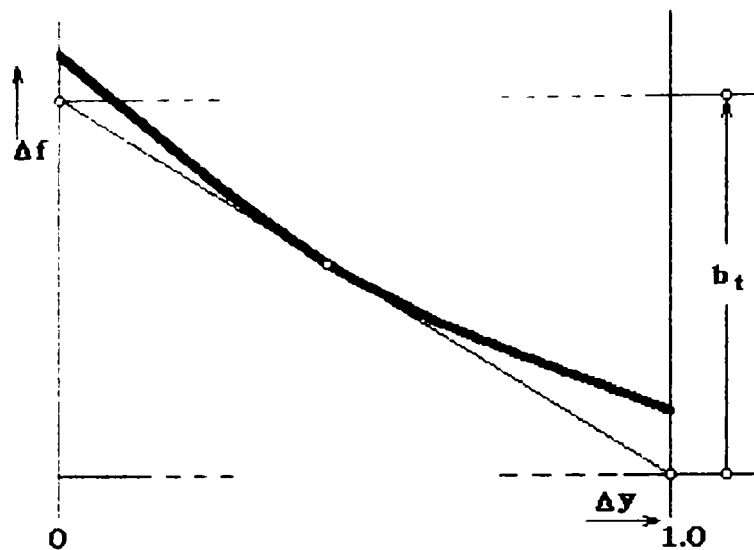


**Fig.2.2.6** Structură de tip tahometric cu statism tranzitoriu după deschidere

Conform [IEC 70], [IEC 97], *coeficientul de statism tranzitoriu de viteză după deschidere*  $b_t$  este mărimea definită, în condițiile în care statismul permanent este nul, ca panta caracteristicii statice a vitezei (frecvenței) în funcție de deschidere a regulatorului, într-un punct de funcționare (v.fig.2.2.7.).

$$\Delta y = b_t^{-1} \cdot \Delta f.$$

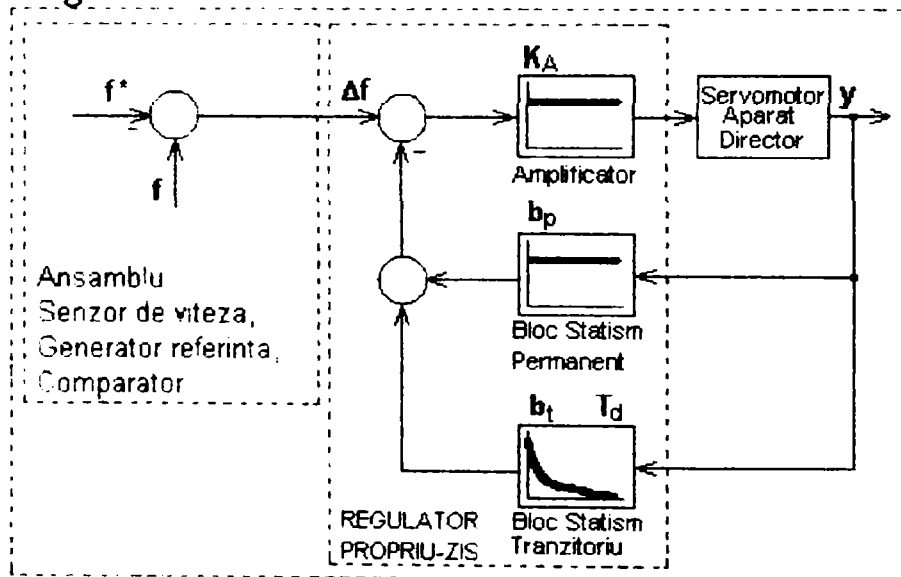




**Fig.2.2.7** Diagrama pentru definirea statismului tranzitoriu

Blocul de statism permanent acționează atât în regim permanent cât și în regim tranzitoriu, asigurând o reacție stabilizatoare proporțională cu cursa aparatului director.

Schema cea mai simplă de implementare a regulatorului din fig. 2.2.6. este prezentată în fig.2.2.8



**Fig.2.2.8** Schemă de implementare a regulatorului de turație cu statism permanent și statism tranzitoriu după deschidere

Folosind același model al servomotorului aparatului director, schema realizează funcția de transfer:

$$H_{\Delta f \rightarrow \Delta y}(s) = \frac{\Delta y(s)}{\Delta f(s)} = \frac{K_A}{1 + \frac{K_A}{T_{SAD} \cdot s} (b_p + \frac{b_t}{1 + T_d \cdot s})} = \frac{1}{b_p} \cdot \frac{1}{1 + \frac{T_{SAD}}{K_A \cdot b_p} \cdot s + \frac{b_t}{b_p} \frac{1}{1 + T_d \cdot s}} =$$

$$= \frac{K_A (1 + T_d \cdot s)}{T_{SAD} \cdot T_d \cdot s^2 + (T_{SAD} + K_A \cdot b_p \cdot T_d) \cdot s + K_A (b_t + b_p)} \quad (2.2-4)$$

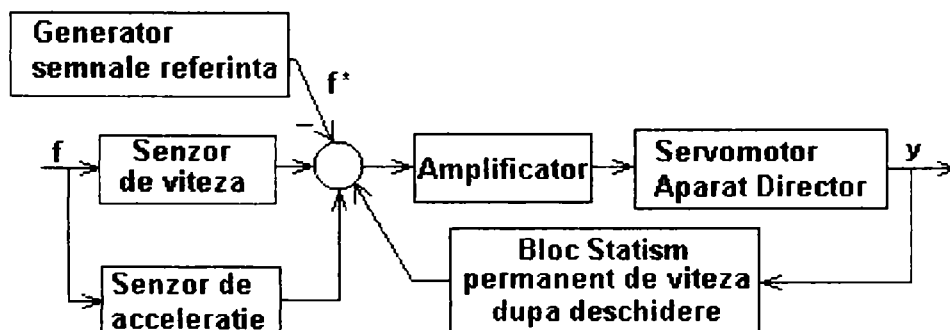
Se observă că în regim permanent constant se obține

$$\frac{\Delta y}{\Delta f} = \frac{1}{b_t + b_p}, \text{ ceea ce pentru } b_p=0 \text{ devine } \frac{\Delta y}{\Delta f} = \frac{1}{b_t}. \quad (2.2-5)$$

În figură,  $T_d$  este constanta de timp tranzitoriu. Din necesități practice, cei trei coeficienți  $b_p$ ,  $b_t$ , și  $T_d$  trebuie să fie în mod obligatoriu ajustabili. Aceasta reprezintă o problemă nu întotdeauna simplă în implementările analogice. Ea este însă ușor de rezolvat în implementările numerice. Prin crearea posibilității de ajustare a coeficienților, se permite adaptarea corectă a funcționării grupului la condițiile particulare din nodul de sistem în care lucrează.

Structura de tip tahometric cu statism tranzitoriu după deschidere are avantajul unei construcții simple care permite modificarea parametrilor regulatorului și asigură stabilizarea sistemului de reglare a turației și în regim insularizat, fiind recomandată pentru grupurile hidroenergetice de puteri reduse. În cazul funcționării insularizate, datorită izolării generatorului față de rețea, schema conduce la regimuri tranzitorii mai lente [FLO 83], [VAS 97], [BAL 01].

**3. Structură de SRA-V tip accelero-tahometric** utilizează, din punctul de vedere al mărimii de intrare în bucla de reglare a cursei servomotorului aparatului director, pe lângă modificările vitezei turbinei, și derivata acesteia, obținută prin utilizarea unui senzor de accelerație sau prin derivarea măsurii frecvenței sau a abaterii de frecvență. Prin combinație cu structura de tip tahometric primară, se obține o structură cu aspectul din fig. 2.2.9.



**Fig.2.2.9.** Structură de SRA-V de tip accelero-tahometric

În fig. 2.2.10, principiul accelero-tahometric este implementat prin derivarea abaterii de frecvență cu blocul DT1 și este asociat unei structuri de tip tahometric cu statism tranzitoriu. Funcția de transfer realizată este:

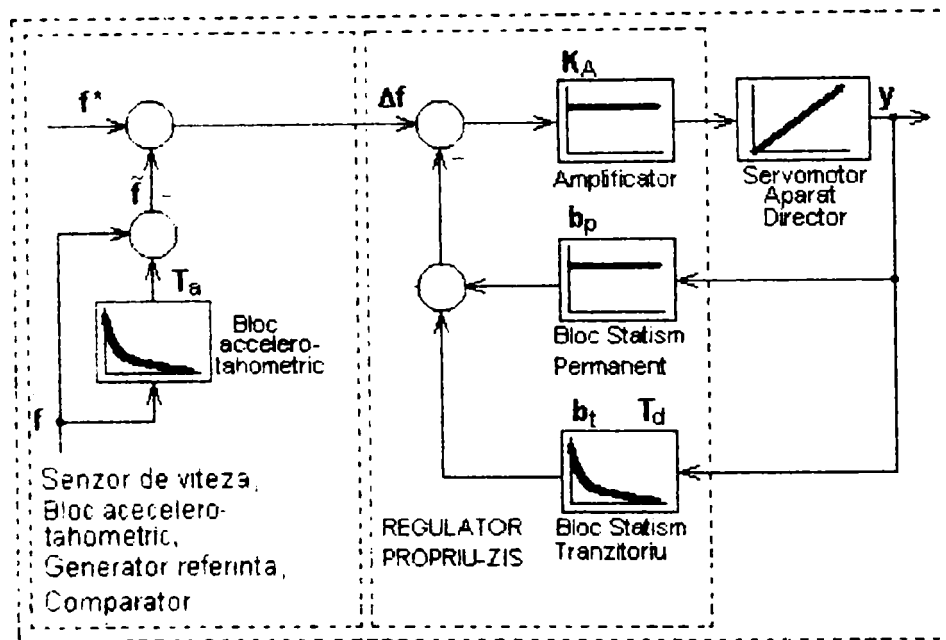
$$H_{\Delta f \rightarrow \Delta y}(s) = \frac{\Delta y(s)}{\Delta f(s)} = \frac{1}{b_p} \cdot \frac{1 + \frac{s}{1 + T_a \cdot s}}{1 + \frac{T_{SAD}}{K_A \cdot b_p} \cdot s + \frac{b_t}{1 + T_d \cdot s}} \quad (2.2-6)$$

$$= \frac{K_A (1 + T_d \cdot s) [1 + (T_a + 1) \cdot s]}{[T_{SAD} \cdot T_d \cdot s^2 + (T_{SAD} + K_A \cdot b_p \cdot T_d) \cdot s + K_A (b_t + b_p)] \cdot (1 + T_a \cdot s)}$$

Prezența zeroului de valoare

$$z_1 = -\frac{1}{1 + T_a}$$

exprimă capacitatea de amplificare de regim dinamic a regulatorului în regimurile cauzate de variațiile de frecvență.

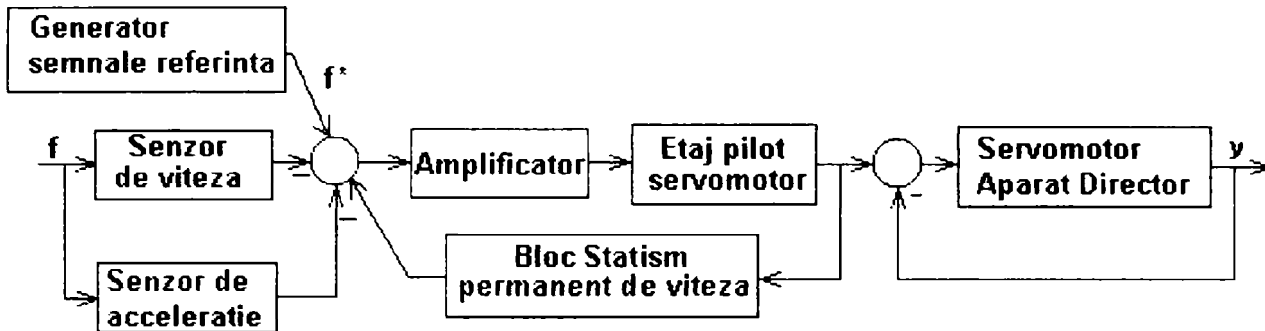


**Fig.2.2.10.** Schema informațională a unui regulator de tip accelero-tahometric într-o structură cu statism tranzitoriu după deschidere

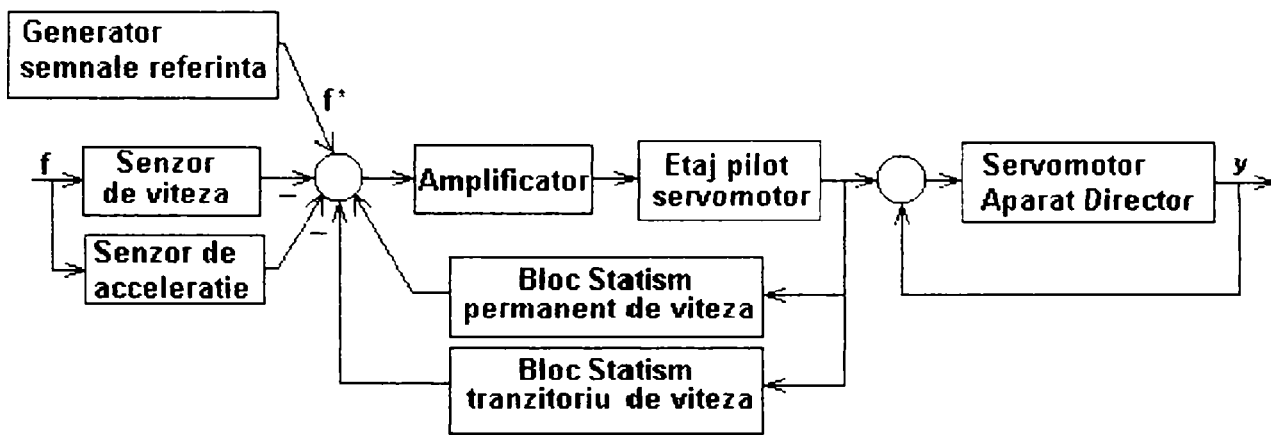
**4. Structuri de tip cascadă cu element pilot.** Datorită amplificărilor foarte mari care apar pe canalul Amplificator-Servomotor Aparat Director, amplificări realizate prin două sau mai multe etaje de amplificare, structurile 1, 2 și 3 se caracterizează printr-o sensibilitate foarte mare și printr-un domeniu de „funcționare linară” relativ redus. Pentru a contracara acest impediment, au fost concepute structurile de tip cascadă cu element pilot cu aspectul din fig.2.2.11 sau 2.2.12.

Ele folosesc două bucle înseriate, una cu reacție după ieșirea unui element amplificator hidraulic intermediar numit element pilot, și una cu reacție

după ieșirea aparatului director. Prin blocul „Statism permanent de viteză” se stabilizează mărimea intermediară  $z$  iar prin reacția după deschidere, cursa aparatului director. În felul acesta, se obține o sporire a domeniului de liniaritate și o reducere a sensibilității structurii față de diverse categorii de perturbații.



**Fig.2.2.11** Regulator accelero-tahometric cu element pilot cu statism permanent de viteză



**Fig.2.2.12** Regulator accelero-tahometric cu element pilot cu statism permanent și cu statism tranzitoriu de viteză

După cum s-a precizat la începutul paragrafului, unul dintre elemente comune ale celor patru structuri este reacția după deschidere realizată nemijlocit în primele trei cazuri, și realizată în mod indirect în ultimul caz. În prezent, începând cu regatoarele de complexitate medie, acest de mod de funcționare se folosește doar la pornire. În exploatarea curentă se folosește reacție după putere. În ipoteza unui caracter integrator al căii directe care începe cu blocul amplificator, în regim permanent, aceste scheme impun o dependență de forma :

$$\Delta p = b_{pp}^{-1} \Delta f \quad (2.2-7)$$

similară cu (2.2-1), unde  $\Delta p$  reprezintă variația aportului de putere a grupului față de valoarea prescrisă, datorată variației frecvenței din sistemul energetic față de valoarea prescrisă, iar  $b_{pp}$  reprezintă coeficientul de statism permanent după putere.

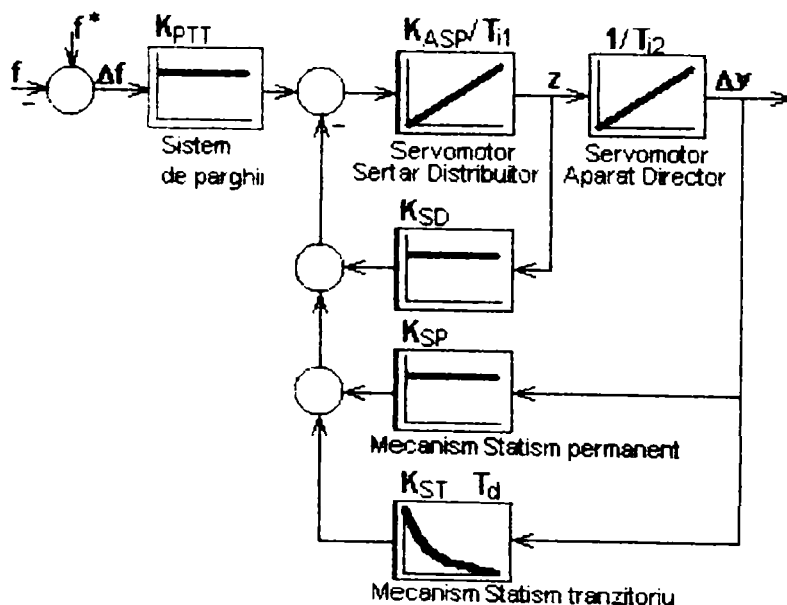
### 2.3 Câteva structuri de regatoare de viteză utilizate în practică pentru hidrogenatoare

În cadrul acestui paragraf sunt prezentate câteva structuri de regatoare folosite în centrale, în primul rând în țară, precum și structuri obținute ca rezultat al investigării orientărilor practicii în domeniu [ONE 80], [FÂN 92].

Pe plan național au fost dezvoltate diverse structuri și soluții constructiv-funcționale de regatoare de viteză, care, de la o etapă la alta, au ajuns să prezinte performanțe sporite [PRE 86]. În perioada anilor '80 existau în fabricație mai multe tipuri de regatoare de viteză care se regăsesc și în prezent în mai multe centrale din țară:

- regatoare mecano-hidraulice de viteză, prescurtat RMH, (de tip RMH-85)
- regatoare electrohidraulice de viteză, prescurtat REH, (de tip REH-76, ROMRE-F05 și REH-85)
- regatoare PID-P ale firmelor Vevey și Escher/Wiess. Din punct de vedere structural, ambele variante sunt de tipul "cu statism permanent și statism tranzitoriu de viteză după deschidere" (v. §2.2.).

În fig.2.3.1. este prezentat la nivel de schemă bloc simplificată modelul regulatorului de viteză RMH-85. Mărimea de intrare este frecvența  $f$  a tensiunii rețelei electrice,  $f$  este frecvența prescrisă,  $\Delta f$  este abaterea de frecvență, "z" reprezintă poziția sertarului distribuitor asimilat cu un element pilot, iar "y" reprezintă poziția aparatului director.



**Fig.2.3.1** Schema bloc informațională a RMH-85

În fig. 2.3.2 este redată schema bloc informațională aferentă regulatorului REH-85 în varianta simplificată (liniarizată) prezentată în [PRE 86] și [NAN 94], iar în tabelul 2.3 1 sunt prezentate modelele matematice liniarizate corespunzătoare.

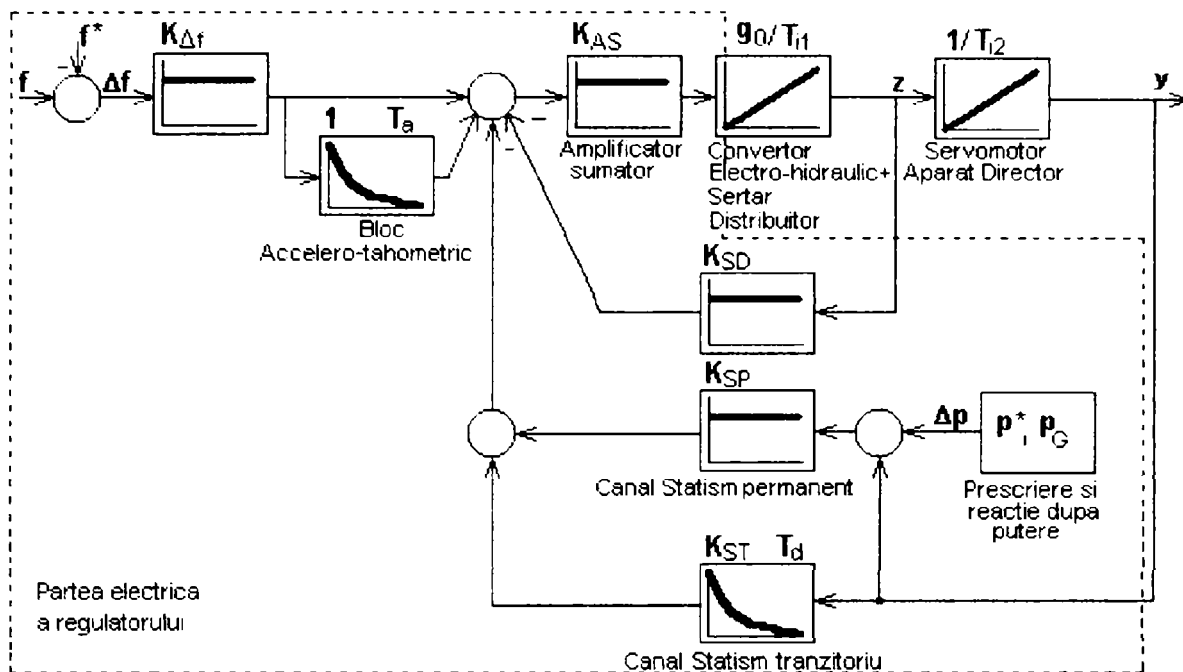


Fig.2.3.2 Schema bloc informațională a REH-85

Tabelul 2.3.1.

RMH-85	$H_{RMH}(s) = K_{PTT} \cdot H_b(s)$	(2.3-1)
	$H_{RMH}(s) = K_{PTT} \cdot \tilde{H}_b^{(1)}(s)$ (model de ordin redus)	(2.3-1')
REH-85	$H_{REH}(s) = K_{\Delta f} \cdot H_b(s)$ fără bloc accelero-tahometric	(2.3-2a)
	$H_{REH}(s) = K_{\Delta f} \cdot \tilde{H}_b^{(2)}(s)$ (model de ordin redus)	(2.3-2a')
	$H_{REH}(s) = \frac{K_{\Delta f} (1 + 2T_a \cdot s)}{1 + T_a \cdot s} H_b(s)$ cu bloc accelero-tahometric	(2.3-2b)
	$H_{REH}(s) = \frac{K_{\Delta f} (1 + 2T_a \cdot s)}{1 + T_a \cdot s} \tilde{H}_b(s)$ (model de ordin redus)	(2.3-2b')
Funcția de transfer de bază:		
	$H_b(s) = \frac{K^* (1 + T_d \cdot s)}{a_3 \cdot s^3 + a_2 \cdot s^2 + a_1 \cdot s + a_0}$	(2.3-3)
	$a_0 = K^* \cdot K_{SP}$	$K^* = K_{ASP}$ pentru rel.(1)
	$a_1 = K^* \cdot (T_{i2} \cdot K_{SD} + T_d \cdot K_{SP})$	$K^* = K_{AS} \cdot g_0$ pentru rel.(2)
	$a_2 = T_{i2} \cdot (T_{i1} + T_d \cdot K_{SD} \cdot K^*)$	$T_d^* = T_d + \frac{K_{ST}}{K_{SP}}$
	$a_3 = T_{i1} \cdot T_{i2} \cdot T_d$	

0011.001  
 Universitatea Tehnică  
 1 TIMIȘOARA  
 Știința și Ingineria  
 17

Forme reduse ale funcțiilor de transfer de bază:

$$\tilde{H}_b^{(1)}(s) = \frac{K_r \cdot (1 + T_d \cdot s)}{1 + T_a \cdot s} \quad (2.3-4)$$

$$\tilde{H}_b^{(2)}(s) = \frac{K_r \cdot (1 + T_d \cdot s)}{1 + \alpha_1 \cdot s + \alpha_2 \cdot s^2} \quad (2.3-5)$$

$$K_r = \frac{1}{K_{SP}}$$

$$\alpha_1 = T_{i2} + T_d^*$$

$$T = T_{i2} \cdot T_d^*$$

$$\alpha_2 = T_{i2} \cdot T_d$$

Regulatorul REH-76M cât și REH-85 sunt regatoare de tip cu statism permanent și tranzitoriu, în legea de reglare fiind înglobat și elementul de execuție electro-hidraulic.

Parametri de acordare nominalizați în documentația regulatorului sunt:

- statismul permanent la funcționare în gol  $b_p$  (după deschidere),
- statismul permanent la funcționare în sarcină  $b_{pp}$  (după putere),
- statismul tranzitoriu  $b_t$ ,
- constanta de timp de derivare  $T_d$ ,
- constanta de timp a canalului accelero-tahometric  $T_a$ .

REH-85 este, exceptând combinarea statismelor după deschidere și după putere după principiul la care se referă schema din fig.2.1.4. [PRE 86], structural identic cu regulatorul conținut în echipamentul REH-76M. Varianta modernizată din punct de vedere tehnologic și parțial structurală a REH-85 este regulatorul ROMRE-F05 [\*\*\* 85]. În mod natural, între cele două variante există diferențe în ceea ce privește soluția tehnologică având în vedere diferența de generație.

Regatoarele din generația REH prezentate au următoarele caracteristici:

- Realizează, pe canalul  $f \rightarrow y$ , omițând corecția accelero-tahometrică, o lege de reglare de bază caracterizată prin funcția de transfer  $H_b(s)$  de tip PDT3, simplificabilă în unele situații la o lege de reglare de tip PDT1 sau PDT2 (relațiile 4 și 5 din tabelul 2.3.1). Caracterul legilor de reglare asigurate este de tipul “cu întârziere-anticipare”, constanta de timp de întârziere fiind mai mare decât cea derivativă. În regim permanent constat, schemele realizează dependența

Se observă că în regim permanent constant se obține

$$\frac{\Delta y}{\Delta f} = \frac{K_{\Delta f}}{K_{SP}} = \frac{1}{b_p}$$

Cele două scheme nu pot însă evidenția statismul tranzitoriu de viteză după deschidere conform definiției din standarde, fapt ce se datorează simplificărilor de modelare prin simple elemente integratoare a blocurilor Servomotor sertar distribuitor din fig.2.3.2, respectiv Convertor electro-hidraulic+Sertar distribuitor din fig.2.3.3.

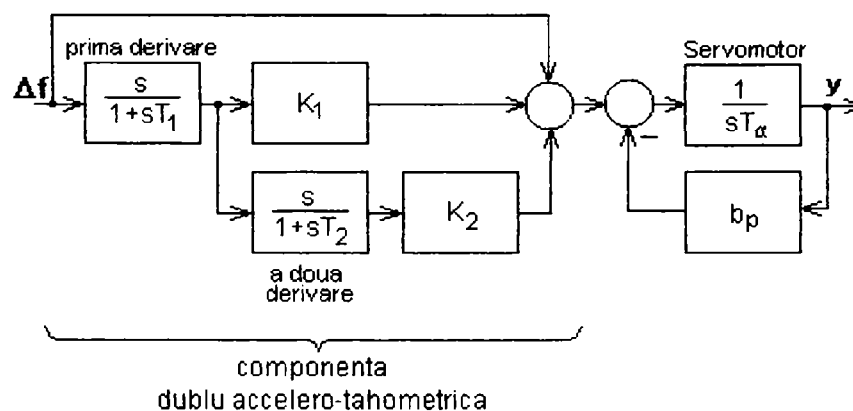
- Prin introducerea blocului accelero-tahometric, în cazul REH-85, se obține, pentru regulatorul de viteză expresia (2b) din tabel, aceasta îmbunătățind printr-o corecție de tip PDT1, performanțele de reglare.
- Legea de reglare dorită este obținută prin interacțiunea funcțională a părților mecanice și hidraulice, respectiv electrice și hidraulice ale regatoarelor. Prin aceasta, blocurile “regulator” și “element de execuție”(Convertor electro-hidraulic, Sertar distribuitor și Servomotor aparat director) caracteristice structurilor de SRA sunt comasate funcțional și corespunzător și informațional.
- Modificarea parametrilor regulatorului, a coeficienților de transfer pe canalul statismului permanent și a statismului tranzitoriu și constanta de timp tranzitorie, afectează simultan mai mulți parametri ai funcției de transfer de bază  $H_b(s)$ ; acest efect de interinfluență constituind un dezavantaj.
- Utilizarea în cazul REH a canalului de compensare cu acțiune atât după deschidere cât și după putere, face ca în regim permanent să se stabilească o dependență de forma

$$\Delta f = \frac{1}{b'_p} \Delta y + \frac{1}{b'_{pp}} \Delta p.$$

Necesitatea realizării unor timpi de reglare a vitezei mai reduși, la aceleași proprietăți de stabilitate a mișcării aparatului director, a condus la imaginarea regatoarelor de tipul cu două componente derivate pe canalul accelero-tahometric, sau a unor structuri cu comportare similară, care să realizeze funcții de transfer de forma

$$H(s) = \frac{(1 + s \cdot T'_1) \cdot (1 + s \cdot T'_2)}{b_p (1 + s \cdot T_1) \cdot (1 + s \cdot T_2) (1 + s \cdot T_3)}. \quad (2.3-6)$$

Conform [PRE 85], o astfel de structură poate fi cea a regulatorului PID de construcție specială, prezentat în fig.2.3.3.



**Fig.2.3.3.** Regulator PID cu două componente derivate

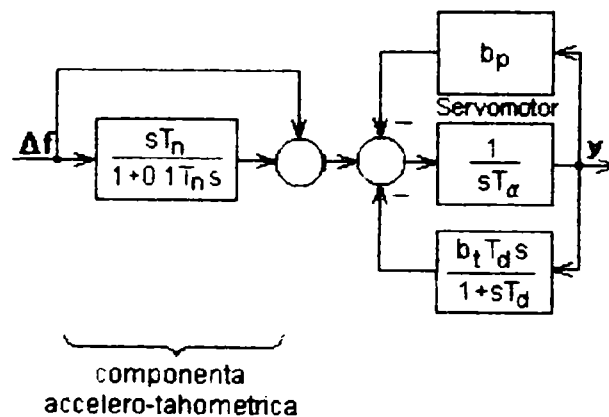


Ea realizează funcția de transfer

$$H(s) = \frac{1 + (T_1 - T_2 + K_1) \cdot s + (T_1 \cdot T_2 + K_1 \cdot T_2 + K_2) \cdot s^2}{(1 + s \cdot T_1) \cdot (1 + s \cdot T_2) (b_p + s \cdot T_\alpha)} \quad (2.3-7)$$

Rezultă că pe baza celor două componente derivate regulatorul poate compensa două constante de întârziere ale elementului de execuție, și prin aceasta poate asigura un timp de răspuns mai redus. În literatură acest regulator este denumit PID-P.

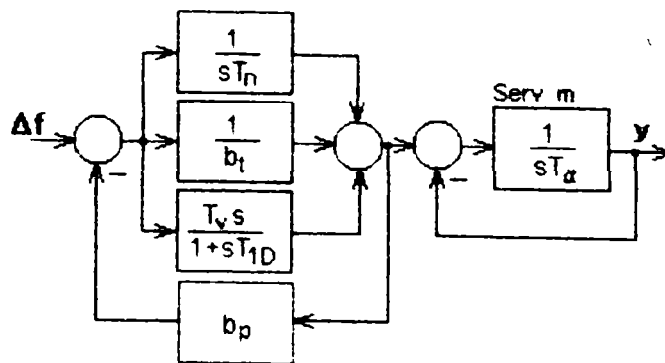
În fig.2.3.4. și fig.2.3.5. sunt prezentate alte două structuri de reglatoare de viteză bazate pe structuri de tip PID-P dezvoltate de firmele Vevey respectiv Sulzer/Escher-Wyss (P semnifică statismul propriu al regulatorului).



**Fig.2.3.4.** Regulatorul electro-hidraulic PID-P propus de firma Vevey

Acest regulator are funcția de transfer:

$$H(s) = \frac{1}{b_p} \cdot \frac{1 + T_d \cdot s}{1 + (T_d + \frac{b_t}{b_p} \cdot T_d + \frac{1}{b_p} \cdot T_\alpha) \cdot s + \frac{1}{b_p} \cdot T_d \cdot T_\alpha \cdot s^2} \cdot \frac{1 + 1,1 \cdot T_n \cdot s}{1 + 0,1 \cdot T_\alpha \cdot s} \quad (2.3-8)$$



**Fig.2.3.5.** Regulatorul electro-hidraulic PID-P propus de firma Sulzer/Escher-Wyss

Acest regulator are funcția de transfer:

$$H(s) = \frac{1 + \frac{1}{T_n \cdot s} + \frac{T_v \cdot s}{1 + s \cdot T_{1D}}}{(1 + b_p \left( \frac{1}{b_t} + \frac{1}{T_n \cdot s} + \frac{T_v \cdot s}{1 + s \cdot T_{1D}} \right)) \cdot (1 + T_d \cdot s)} \quad (2.3-9)$$

Ambele structuri prezintă o dependență în regim staționar de forma:

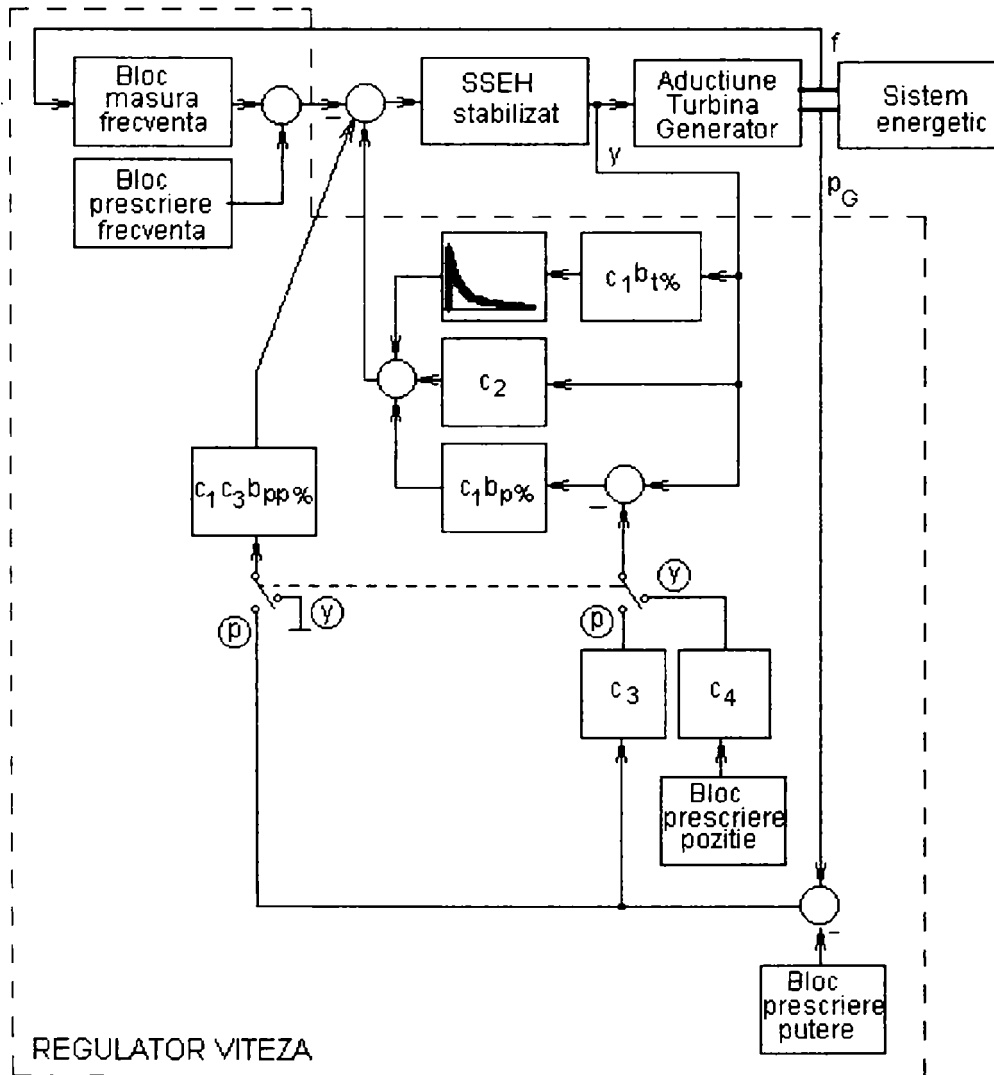
$$\Delta y = b_p^{-1} \cdot \Delta f.$$

Spre deosebire de regulatorul din fig.2.3.4., el este structurat pe două părți:

- partea electrică ce generează legea de reglare propriu-zisă
- partea electro-hidraulică cu rol de element de execuție.

Separarea are avantajul că permite o implementare modulară a regulatorului atât în variantă analogică cât și în variantă numerică.

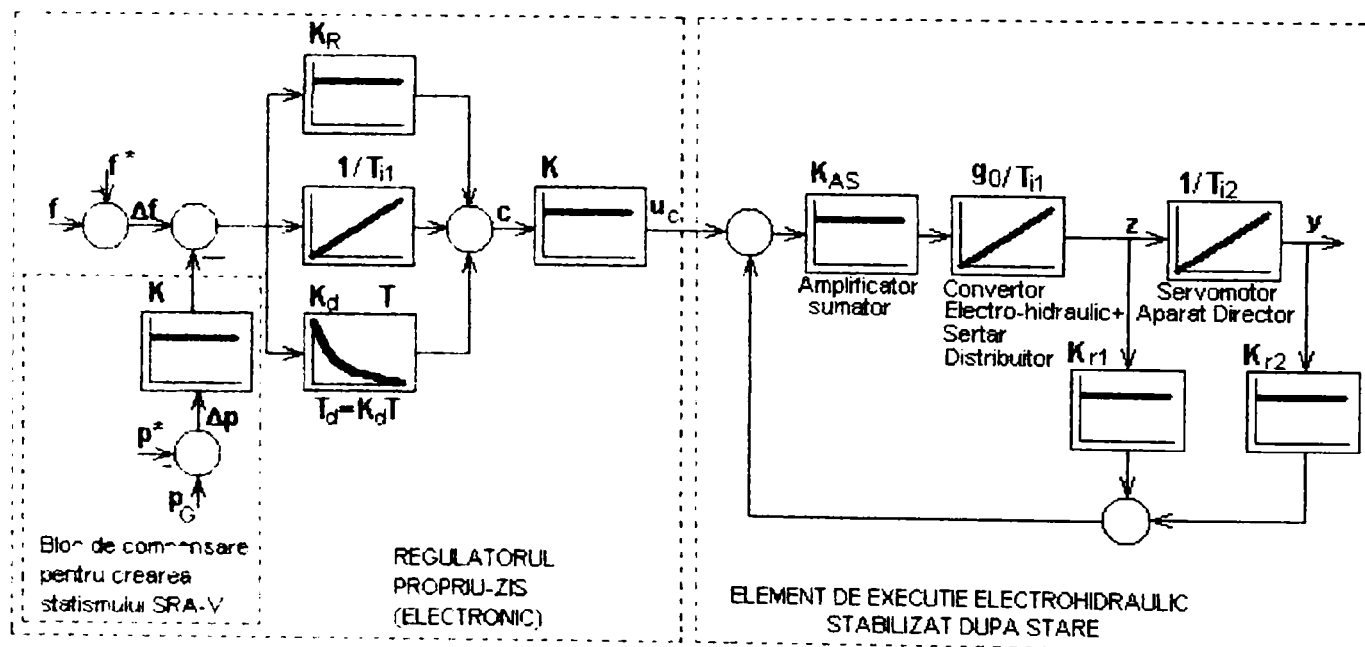
O structură de regulator PID cu stabilizare separată a servosistemului electrohidraulic a fost propusă și dezvoltată în [PRE 86], [PRE 92-a] și [PRE 92-b], bazat pe un principiu diferit de realizare a statismului. Ea a separat complet partea de lege de reglare și de element de execuție.



**Fig.2.3.6** Structură de regulator ce realizează caracterul integrator printr-o buclă cu amplificare unitară

O altă structură de regulator la care partea de element de execuție este separată de regulatorul propriu-zis, dar principiul folosit la realizarea caracterului integrator al regulatorului a fost realizat de o manieră originală, este detaliată în capitolul 3. Schema acestei structuri, prezentată în fig.2.3.6., a fost implementată practic în două centrale (Herculane și Dicle-Turcia) [\*\*\* 94]. Această structură asigură caracterul integrator prin aceea că amplificarea în circuit deschis a buclei realizate în jurul lui SSEH stabilizat prin reacție după poziție are amplificare unitară. Fundamentarea teoretică a funcționalității este prezentată în [DRA 01], [DRA 02], [DRA 03]. Aceasta implică anularea în mod automat a sumei tuturor mărimilor care atacă bucla din exterior. Astfel se asigură condiții de echilibru care păstrează valabilitatea relațiilor (2.2-1) și (2.2-2). Totodată, structura asigură realizarea statismului tranzitoriu conform standardelor internaționale.

Alte structuri de regulator PID ce s-au impus ca urmare atât a dezvoltării tehnicii electronice cât și a posibilităților sporite oferite în *acordarea parametrilor* reguletoarelor tipizate, sunt cele în care partea electronică - realizatoarea legii de reglare propriu-zise de tip PID- este separată total de partea hidraulică - cu rol de element de execuție (amplificator de putere) [PRE 83], [PRE 92]. Schema bloc informațională este prezentată în fig. 2.3.7. Statismul sistemului se asigură prin conexiunea de compensare după putere.



**Fig.2.3.7** Schema bloc informațională a regulatorului electro-hidraulic de tip PID și servosistem stabilizat

Regulatorul propriu-zis este de tip PID cu componenta derivativă realizată sub forma unui bloc DT1, funcția de transfer aferentă regulatorului este:

$$H(s) = \frac{(K_R \cdot T \cdot T_i + K_d \cdot T_d) \cdot s^2 + (K_R \cdot T_i + T) \cdot s + 1}{T \cdot T_i \cdot s^2 - T_i \cdot s}$$

cu parametri  $K_R$ ,  $K_d$ ,  $T_d$ ,  $T_i$  ajustabili independent iar  $T \ll T_d$ ,  $T_d = K_d T$ .

Schema evidențiază doar reacția de statism după putere ( $P_G$ ). Datorită caracterului integrator al regulatorului propriu-zis, în regim staționar se asigură

$$\Delta f = K \cdot \Delta p$$

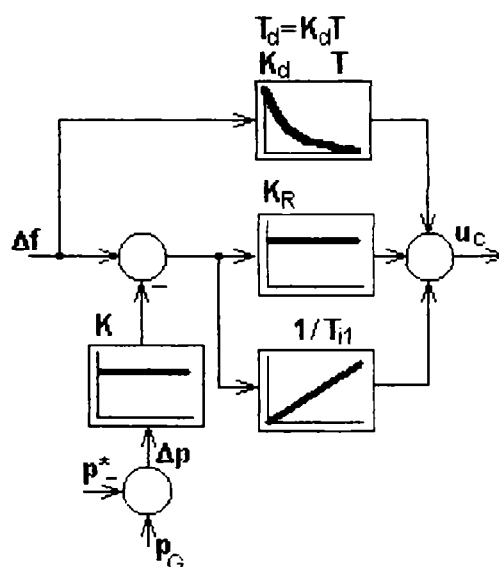
adică tocmai o relație de tipul (2.2-2) care evidențiază realizarea statismului după putere. Termenul de „Bloc de compensare” are în vedere faptul că variațiile de sarcină au, după cum s-a precizat în §2.1., caracter de mărimi perturbatoare. Din punct de vedere teoretic se poate considera că schema implementează principiul compensării perturbației.

Această structură asigură caracterul “cu statism” necesar funcționării în sistem (v. fig.2.3.7.).

Structura în care regulatorul propriu-zis este independent de elementul de execuție facilitează

- controlul foarte bun al performanțelor de regim staționar,
- posibilitatea de influențare simplă a performanțelor de regim dinamic,
- posibilitatea realizării funcțiilor suplimentare impuse (aceste funcții vor fi tratate în §2.4.)
- proiectarea independentă a părților electronice și hidraulice ale regulatorului de viteză.

O altă variantă a regulatorului propriu-zis este cea cu structura prezentată în fig.2.3.7. Ea asigură o comportare mai bună în raport cu abaterea de putere prin excluderea componentei derivatoare de pe acest canal. În raport cu  $\Delta p$  sunt active doar componentele P și I. Pe de altă parte, schema asigură intervenția de tip accelero-tahometric asupra mărimii de comandă  $u_c$  [PRE 92]. Și această schemă asigură relația:  $\Delta f = K \cdot \Delta p$ .

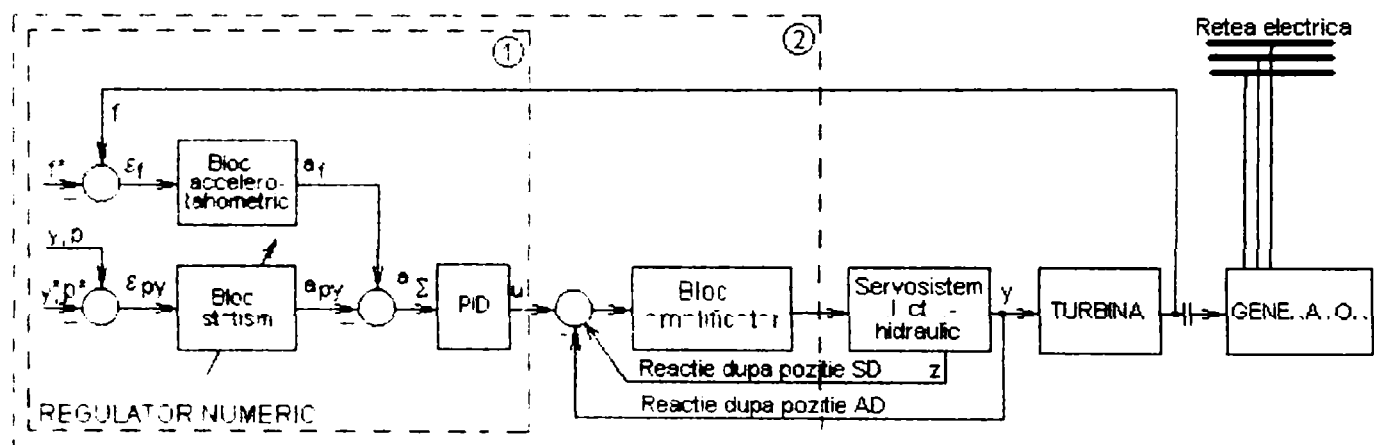


**Fig.2.3.8** Variantă de structură pentru regulator PID

## 2.4 Structuri de reglare PID luate în considerare pentru conducerea numerică a vitezei hidrogenatoarelor

În acest paragraf este expusă o analiză comparativă a structurilor PID numerice folosite în reglatoarele de viteză ale hidrogenatoarelor și se detaliază aspecte referitoare la cele mai importante dintre acestea.

Din studierea documentațiilor și a diverselor oferte de reglatoare de viteză ale firmelor din domeniu [NEY 98], [WOO 98], [NOE 91], [SIE 95], ș.a., se poate constata că acestea, în marea lor majoritate au o structură de bază (relativă la legea de reglare) declarată PID, fără a se mai detalia această structură. Structurile corespund într-o măsură mai mare sau mai mică schemei bloc mai generale din fig.2.4.1.



**Fig.2.4.1.** Schema bloc generală a sistemului de reglare a vitezei cu regulator PID

Structura indică stabilizarea părții electro-hidraulice prin reacții după stările  $z$  și  $y$  (reacții după stare).

Regulatorul propriu-zis asigură:

- în regim permanent  $a_\Sigma = 0$ , și prin urmare  $a_f + a_{py} = 0$ , iar
  - dacă  $a_f = 0$ , atunci  $a_{py} = 0$  și generatorul furnizează putere egală cu puterea prescrisă.
  - în regim conectat la rețea situația  $a_f \neq 0$ , cu  $a_{py} \neq 0$  nu poate apare.
- în regim tranzitoriu  $a_\Sigma \neq 0$ .

Diferențele între structuri apar pe partea de regim tranzitoriu datorită modului de realizare a blocurilor PID și a blocului accelero-tahometric. În sinteză, se poate reține faptul că componenta derivativă a structurii PID propriu-zise a fost introdusă pentru o intervenție rapidă și fără oscilații a regulatorului în sistemul de reglare; utilizarea ei depinde de specificul amenajării.

Atunci când, datorită modului de variație a lui  $p_G$ , contribuția acestei componente nu mai este cea dorită, ea se elimină și se folosesc structuri de

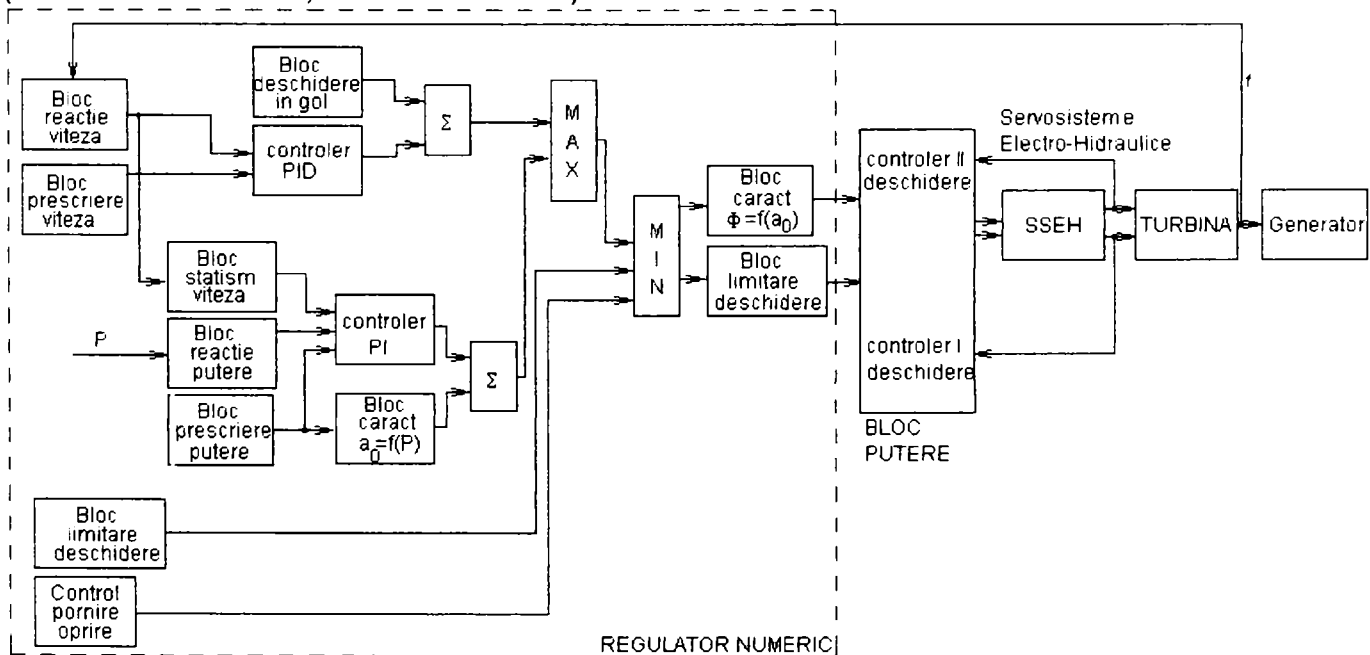
tip accelero-tahometric care introduc un canal derivator numai după abaterile de frecvență (fig.2.3.8).

Principalele variante de structuri PID au fost sistematizate în tab.2.4.1. În prima coloana apar schemele bloc. Pentru a permite compararea, structurile regatoarelor au fost suprapuse peste o structură maximală în care se găsesc reunite trăsăturile tuturor regatoarelor din tabel. Schema regulatorului curent la care se referă linia tabelului este reprezentată cu linie îngroșată iar restul cu linie atenuată. În ultima coloană a tabelului au fost sintetizate unele elemente care sunt importante pentru funcția de reglare și implementare numerică. Schemele sunt prezentate sub o formă care a intenționat să păstreze cât mai mult din forma originală de prezentare dată de producători.

În continuare se detaliază unele aspecte caracteristice pentru aceste structuri de regatoare. Se menționează că informațiile din acest domeniu sunt foarte reduse, amănunțele nefiind divulgate de firmele producătoare.

### 1. Structură de regulator de viteză oferit de firma Siemens

În [SIE 95] este prezentat un regulator numeric realizat cu automatul programabil Simatic S5. Structura de principiu a regulatorului de viteză este redată în fig.2.4.2, în documentație fiind prezentate și sistemele de monitorizare și control a întregii amenajări pentru hidrocentrale din Columbia (El Guavio – 1993), Grecia (Pournari II – 1994), Mexic (Aguamilpa – 1994, Huites – 1995, Infiernillo - 1990), Brazilia (Recife – 1994), Chile (Canutillar – 1990, Alfalfal - 1990).



**Fig.2.4.2.** Structură de regulator PID de viteză oferit de firma Siemens

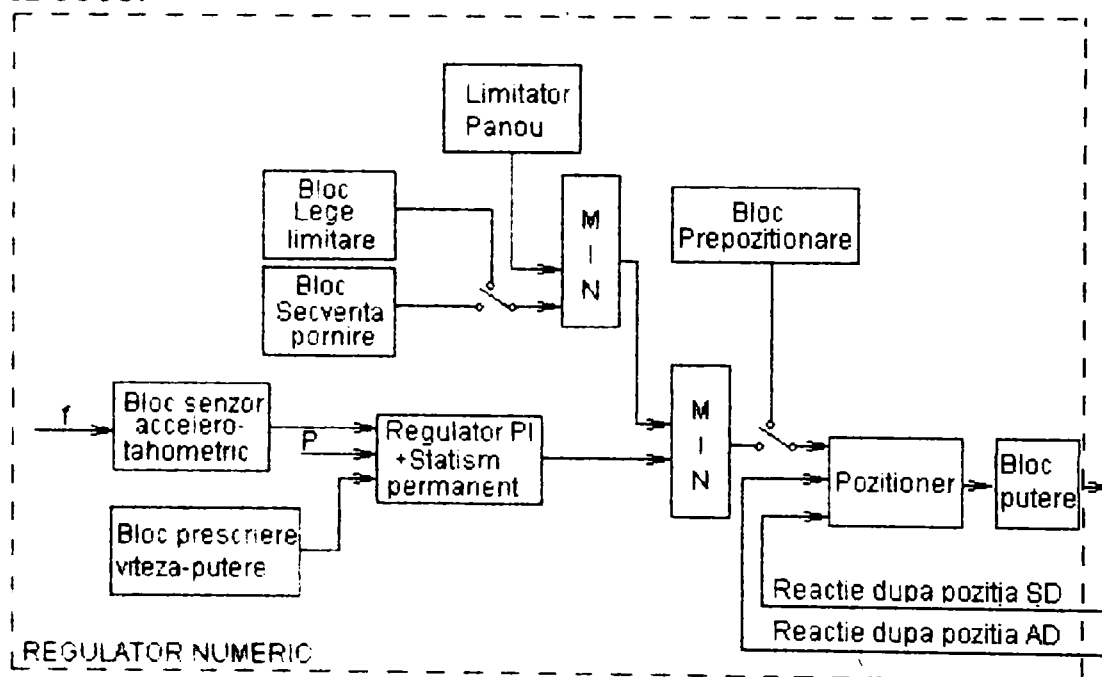
Schema este destinată turbinelor cu două elemente de execuție. În acest scop, regulatorul numeric furnizează blocului de putere două comenzi, și anume comanda de deschidere pentru Aparatul director (pentru paletetele

statorice), și, în cazul în care există (turbine Kaplan, Bulb), comanda pentru poziția paletelor rotorice. Blocul de putere asigură, prin intermediul a două servosisteme electro-hidraulice, poziționarea paletelor.

Regulatorul numeric conține două blocuri logice care implementează operatori de tip MIN și MAX. Prin intermediul blocului MIN se permite conducerea continuă în situațiile în care nu se efectuează manevre de pornire-oprire și nu se depășesc pragurile de limitare la nivelul turbinei. Acțiunea continuă este dirijată prin blocul MAX, care consideră prioritară valoarea maximă dintre comanda de tip PID-P pe canalul de viteză și comanda PI pe canalul de putere. Implementarea ultimului canal este opțională.

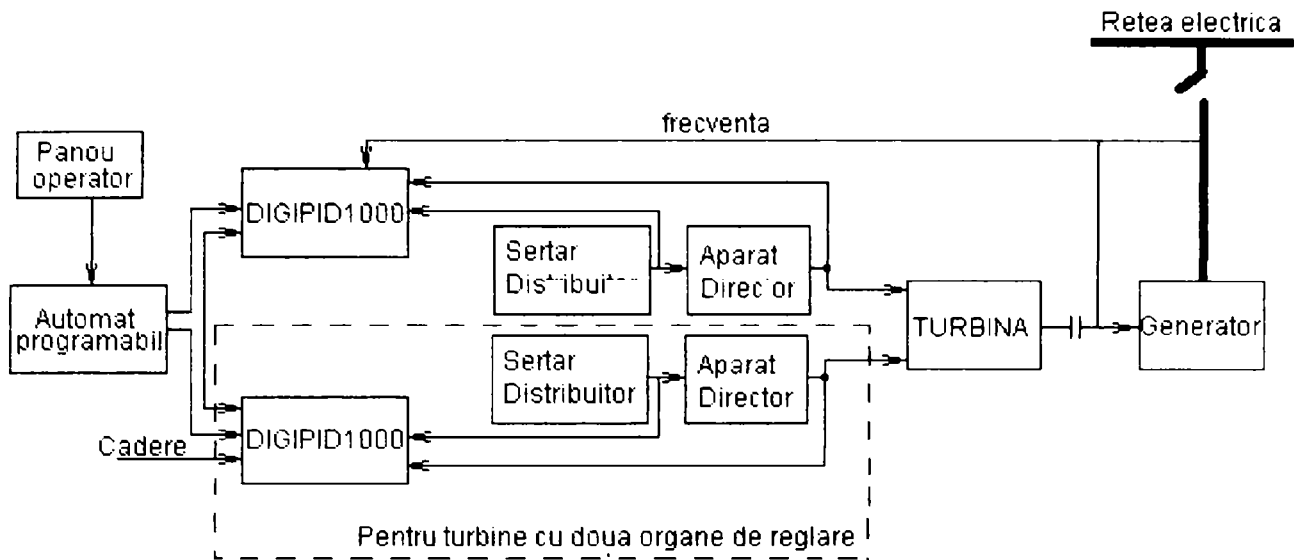
## 2. Structură de regulator de viteză oferit de firma Neyrpic

În [NEY 98] este prezentat regulatorul numeric de viteză DIGIPID1000 al firmei Neyrpic. În fig. 2.4.3. este prezentat un extras al diagramei funcționale a acestuia, iar în fig. 2.4.4. structura unui sistem de reglare cu DIGIPID1000.



**Fig.2.4.3.** Structură de regulator PID de viteză oferit de firma Neyrpic

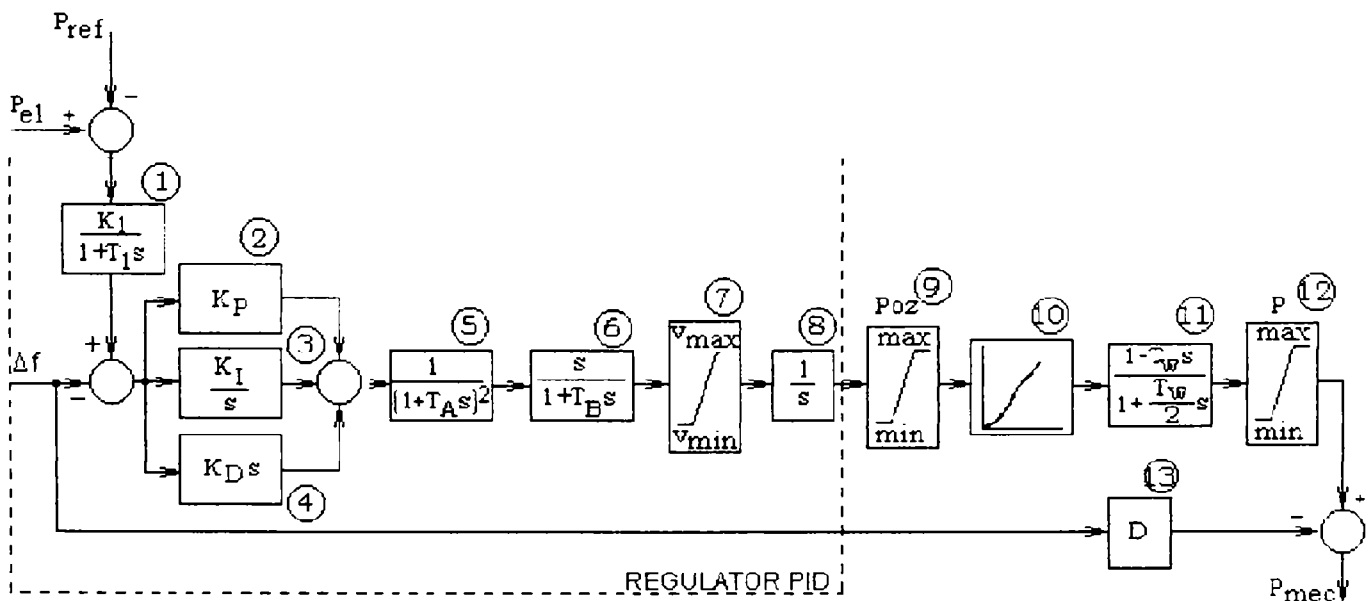
Și această structură folosește două blocuri de decizie logice de tip MIN (MIN sau MAX reprezintă atribute subiective dependente de tipul caracteristicilor și polarităților mărimilor). Schema detaliază posibilitatea de comandă manuală prin blocul de prepoziționare. Simplitatea ei o face utilizabilă până la grupuri de medie putere. DIGIPID1000 este construit în jurul unui microcontroler. Legea de reglare este PID și intră în acțiune după secvența de pornire, sincronizare și cuplare cu rețeaua electrică. Mărimile de intrare de reacție sunt frecvența și puterea. Regulatorul conține și blocurile de stabilizare a poziției Sertarului Distributor și a Aparatului Director (Blocul Pozitioner). La acest regulator este implementat și statismul tranzitoriu.



**Fig.2.4.4.** Încadrarea DIGIPID1000 în sistemul de reglare automată a vitezei

Figura 2.4.4. detaliază unele aspecte referitoare la încadrarea regulatorului în ansamblul hidroagregatului în cazul unor turbine cu două ogane de execuție (Kaplan, Bulb sau Pelton). Structura de conducere este ierarhică, reglatoarele fiind comandate prin intermediul unui automat programabil.

**3. Structură de regulator de viteză oferit de firma Woodward**



**Fig.2.4.5.** Structură de regulator PID de viteză oferit de firma Woodward

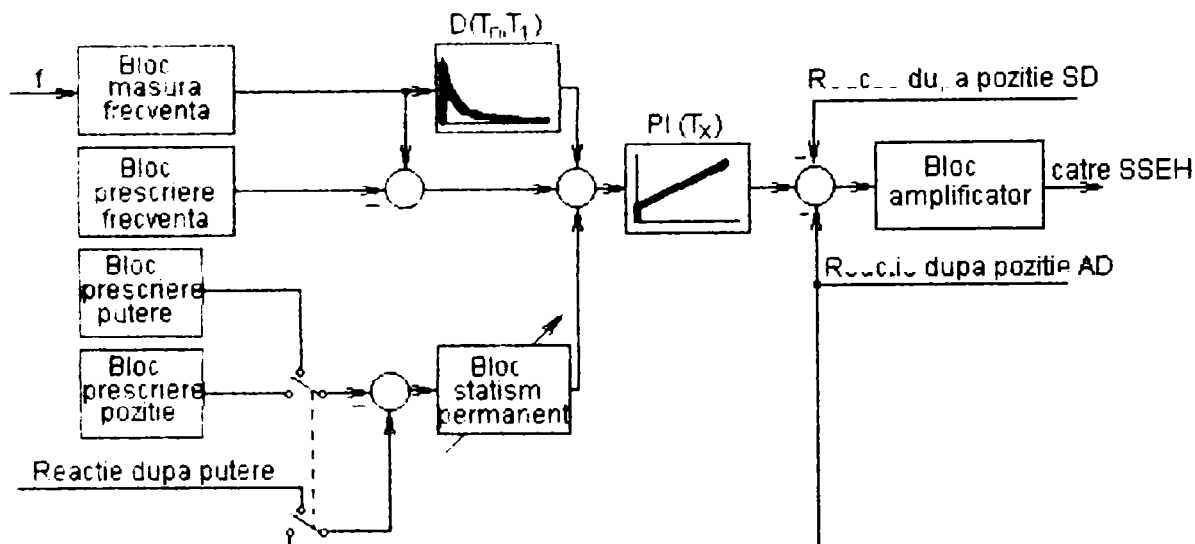
Firma Woodward [WOO 98] precizează o structură de regulator (fig.2.4.5.) în care intrările sunt  $\Delta f$  (eroarea de viteză unghiulară) și  $\Delta P$  (eroare de putere cu  $P_{el}$ - reacția de putere din sistem și  $P_{ref}$ -valoarea prescrisă). Regulatorul PID este realizat din blocurile P, I respectiv D (2,3,4 în figură), legate în paralel. Blocurile 5 și 6 reprezintă Servosistemul Electro Hidraulic cu mărimea de ieșire viteza de deplasare a paletelor statorice, blocul 7 având rolul de limitator de viteză. După integrarea realizată de blocul 8 se obține



poziția paletelor statorice limitate de blocul 9. Reprezentarea din figură indică și modul de integrare a regulatorului în ansamblul amenajării hidraulice (modelată). Blocurile 10 și 11 modelează turbina iar blocul 12 limitarea de putere mecanică la turbină. Blocul 13 modelează șocurile ce se manifestă la nivelul turbinei ca urmare a variațiilor de frecvență.

#### 4. Structură de regulator de viteză oferit de firma NOELL

În [NOE 91], se indică o structură de regulator numeric utilizată de firma NOELL. Ea este prezentată în fig.2.4.6.



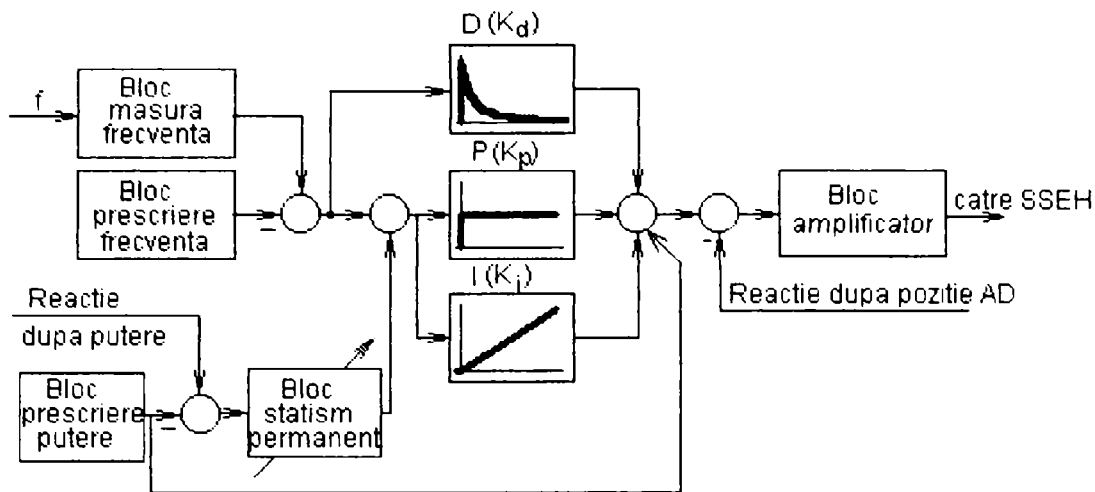
**Fig.2.4.6.** Structură de regulator PID de viteză oferit de firma NOELL

Blocul amplificator are și rolul de stabilizator a poziției Sertarului Distribuitor și a Aparatului Director. Structura este asemănătoare cu cea elaborată la UPT [\*\*\* 93]. Legea de reglare, denumită de tip PID se asigură prin inserierea pe canalul principal a unei acțiuni derivatoare după principiul accelero-tahometric, și a unei acțiuni PI. Acțiunea de tip PI se manifestă și pe canalul reacției după putere sau deschidere, asigurând atât statismul cât și posibilitatea de modificare a dinamicii. Este asigurată posibilitatea de selectare atât a statismului după poziția aparatului director cât și după putere.

#### 5. Structură de regulator de viteză utilizat la amenajarea Dinorwig- Țara Galilor, Marea Britanie

În [MAN 00], se prezintă o structură de regulator de viteză realizată tot cu un automat programabil. Acesta realizează legea de reglare după structura din fig.2.3.8. Structura este redată în fig.2.4.7.

Alături de acțiunea de tip PID de pe canalul de viteză realizată printr-o structură derivație, se remarcă următoarele aspecte: abaterea de frecvență este prelucrată de legea de reglare PID pe când statismul permanent după putere este prelucrat doar după legea PI, fără a mai trece prin elementul derivativ.



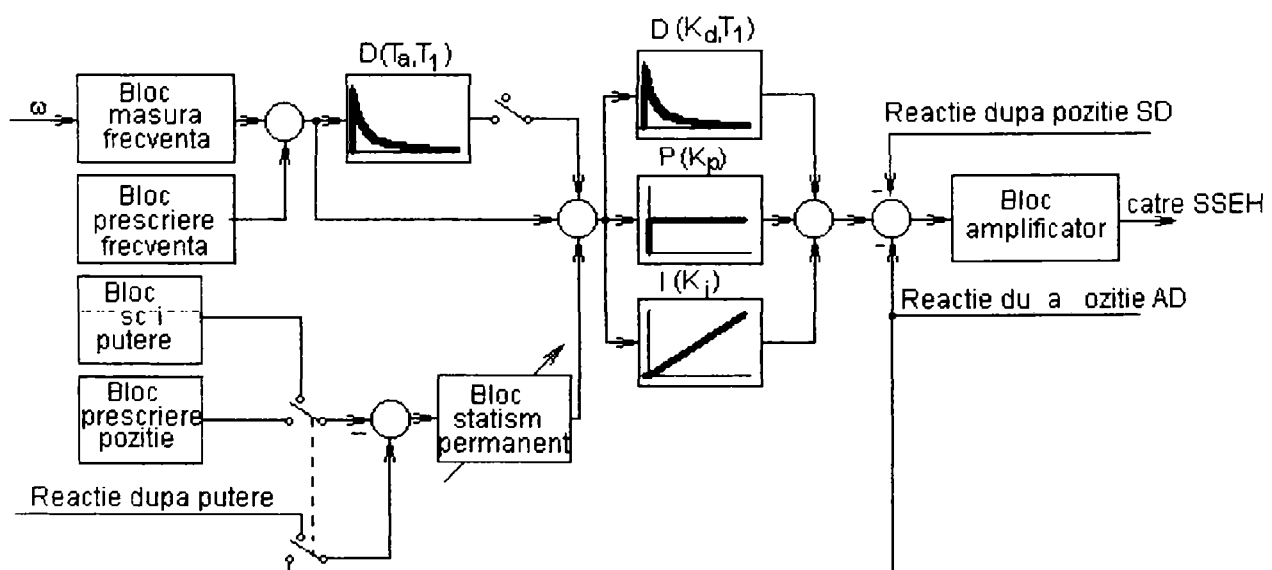
**Fig.2.4.7.** Structură de reglator PID aflat în funcțiune la hidrocentrala Dinorwig, Țara Galilor

De asemenea la sumatorul de la ieșirea blocului PID mai intervine și prescrierea de putere pentru setarea poziției medii a paletelor statorice. În cazul acestui reglator, statismul tranzitoriu este implementat astfel, în funcție de variațiile mărimii de intrare se selectează unul din două statisme permanente existente (statism permanent de 1% pentru variații mari ale mărimii de intrare și statism permanent de 4% pentru variații mici ale mărimii de intrare).

#### 6. Structură de reglator de viteză realizat în Universitatea “Politehnica” din Timișoara

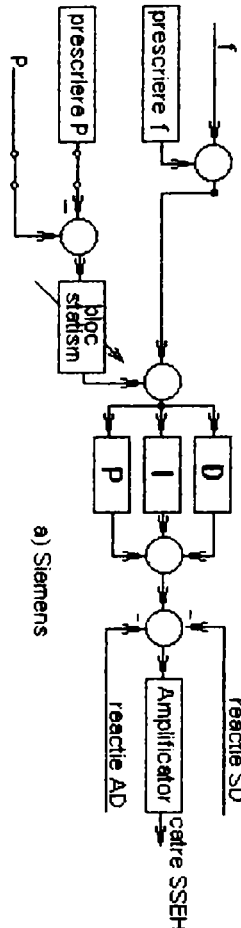
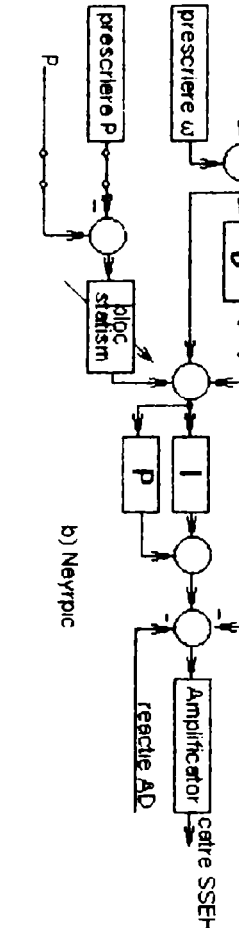
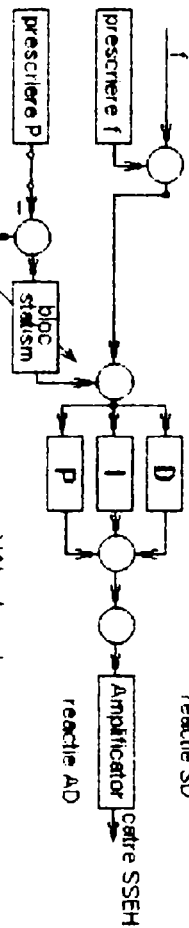
În [PRE 86], [\*\*\* 93], este prezentată o structură de reglator de viteză PID care a fost realizat de un colectiv UPT din care face parte și autorul. Structura are aspectul din fig.2.4.8.

Prezența celor două blocuri derivatoare în accepțiunea celor specificate în tabelul 2.2. s-a datorat necesității de a crea posibilități de adaptare a reglatorului la specificul unei game largi de amenajări.



**Fig.2.4.8.** Structură de reglator PID realizat de un colectiv UPT

**Tabel 2.2.** Prezentare comparativă a reglatoarelor PID studiate

 <p>a) Siemens</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- perioada de eșantionare 16 ms</li> <li>- structură PID derivație</li> <li>- 1 canal derivativ doar în legea de reglare (fără canal accelero-tahometric)</li> <li>- asigură statism permanent după putere</li> </ul>
 <p>b) Neyptic</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- lege de reglare propriu-zisă de tip PI</li> <li>- introducerea opțională a canalului accelero-tahometric</li> <li>- asigură statism permanent după putere</li> <li>- blocul statism implementează și statismul tranzitoriu</li> </ul>
 <p>c) Woodward</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- structură PID derivație</li> <li>- 1 canal derivativ doar în legea de reglare (fără canal accelero-tahometric)</li> <li>- asigură statism permanent după putere</li> </ul>

<p>d) NOELL</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- perioada de eșantionare 4 -24 ms</li> <li>- lege de reglare propriu-zisă de tip PI</li> <li>- caracterul derivativ se realizează prin canalul accelerotahometric</li> <li>- asigură selecția statismului permanent după deschidere sau putere</li> </ul>
<p>e) Hidrocentrala Dinorwig</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- perioada de eșantionare 50 ms</li> <li>- acțiunea PID apare numai pe canalul principal pe canalul abaterii de putere acțiunea este de tip PI</li> <li>- asigură statismul permanent după putere</li> <li>- blocul statism implementează și statismul tranzitoriu printr-o acțiune de tip bipozițională între două niveluri ale statismului permanent</li> <li>- prescrierea de putere auxiliară este utilizată pentru a seta poziția de referință a paletelor statorice</li> </ul>
<p>f) UPT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- perioada de eșantionare 17 ms</li> <li>- 2 canale derivate cu manieră de utilizare complementară             <ul style="list-style-type: none"> <li>- canal accelero-tahometric sau</li> <li>- canal D paralel</li> </ul> </li> <li>- asigură statism după deschidere și putere selectabile</li> </ul>

## 7. Alte structuri de regulator PID de viteză

- ◆ În [AME 02], firma American Governor specializată în întreținere și modernizare de reglatoare pentru hidrogeneratoare și termogeneratoare, în oferta ei specifică întreținerea și acordarea reglatoarelor numerice de tip PID.
- ◆ În [AGM 99], firma AG Measurematics, specializată în echipamente de măsură are și o ofertă de regulator numeric de viteză pentru hidrogeneratoare Francis, Kaplan, Pelton de putere mică. Legea de reglare este și în acest caz PID cu parametri selectabili de la panou. Regulatorul este destinat utilizării la generatoare ce pot lucra atât insularizat cât și în rețea. Funcțiile regulatorului sunt cele generale.

Alte facilități oferite de soluțiile constructive ale reglatoarelor de viteză, menționate în documentații sunt:

- pornirea și oprirea automată
- limitare la deschidere și închidere
- protecție la supraturație
- posibilitatea de comandă manuală
- posibilitatea de a modifica on-line parametrii regulatorului și alte setări
- monitorizare
- comunicație cu un calculator pe nivel ierarhic superior, la distanță, pentru monitorizare și modificare parametri.

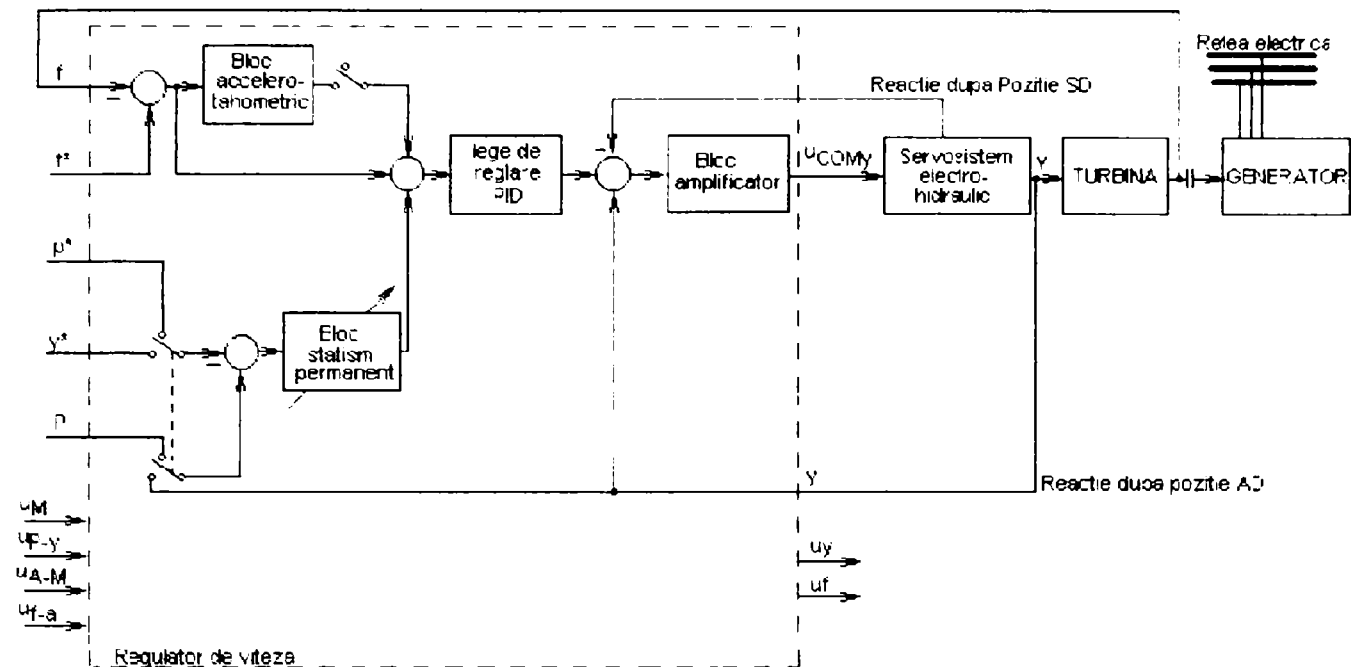
Asigurarea lor face ca problema realizării reglatoarelor de viteză să fie de o deosebită complexitate.

## 2.5 Regulator PID numeric - implementare cu microcontroler

În acest paragraf este descrisă realizarea unui regulator numeric de viteză [PRE 01] pentru turbine cu un singur organ de reglare (Francis), de la faza de definire a sarcinilor și funcțiilor până la faza de realizare fizică pe un sistem numeric cu microcontroler. Conținutul acestui paragraf a făcut obiectul unui contract de cercetare între Universitatea "Politehnica" din Timișoara și UCM Reșița S.A. având ca obiectiv realizarea unui regulator numeric cu costuri scăzute [\*\*\* 01], cu legea de reglare PID. Contractul a fost condus de către autorul tezei, contribuțiile de implementare fiind asumate, practic integral, de către acesta.

### 2.5.1 Funcțiile de conducere ale regulatorului PID numeric

În precizarea funcțiilor regulatorului de viteză, se pornește de la schema bloc din fig.2.5.1. în care se ilustrează poziția acestuia în ansamblul sistemului de reglare a vitezei. Ea corespunde schemei din fig.2.4.7, și evidențiază mărimile de intrare care permit selecția funcțiilor auxiliare.



**Fig.2.5.1.** Schema referitoare la încadrarea regulatorului de viteză

Mărimile care intervin în această schemă sunt:

- *mărimi de intrare analogice*
  - $f$  - frecvența corespunzătoare vitezei de rotație a turbinei (convertită în durata dintre două impulsuri succesive)
  - $y$  - poziția aparatului director (convertită în curent)
  - $P$  - puterea debitată la bornele generatorului (convertită în curent)
  - $H$  - căderea de apă (convertită în curent)
- *mărimi de ieșire analogice*
  - $u_{COMy}$  - mărimea de prescriere pentru poziția aparatului director (tensiune)
  - $u_y, u_f$ , mărimi pentru afișare pe aparate de tablou (tensiune)
- *mărimi de intrare numerice*
  - prescriere frecvență,  $f^*$
  - prescriere putere,  $p^*$
  - prescriere poziție aparat director,  $y^*$
  - prescriere mărime de comandă în regim manual,  $u_M$
- *mărimi de intrare logice*
  - $u_{P-y}$  pentru selecția regimului de funcționare cu statism după putere ( $u_{P-y}=1$ ) sau după deschidere ( $u_{P-y}=0$ )
  - $u_{A-M}$  pentru selecția regimului de funcționare în regim automat ( $u_{A-M}=1$ ) sau manual ( $u_{A-M}=0$ )
  - $u_{f-a}$  pentru selecția regimului de funcționare cu canal accelerotahometric ( $u_{f-a}=1$ ) sau fără canal accelero-tahometric ( $u_{f-a}=0$ )

Funcțiile pe care regulatorul trebuie să le îndeplinească sunt evidențiate în fig.2.5.2. și pot fi ierarhizate pe două niveluri:

- Funcții principale ( $f_p$ )
  - $f_{p-PID}$  de realizare a legii de reglare PID (algoritmul de reglare), constă în calculul mărimii de comandă  $u_{PID}$  prin calculul mărimilor  $u_\Sigma$ ,  $a_r$  și  $a_{py}$ , și prin implementarea legii de reglare

$$\bar{u}_{PID} = K_\Sigma \cdot (K_P \cdot \bar{u}_\Sigma + K_I \int \bar{u}_\Sigma dt + K_D \cdot \frac{d\bar{u}_\Sigma}{dt}). \quad (2.5-1)$$

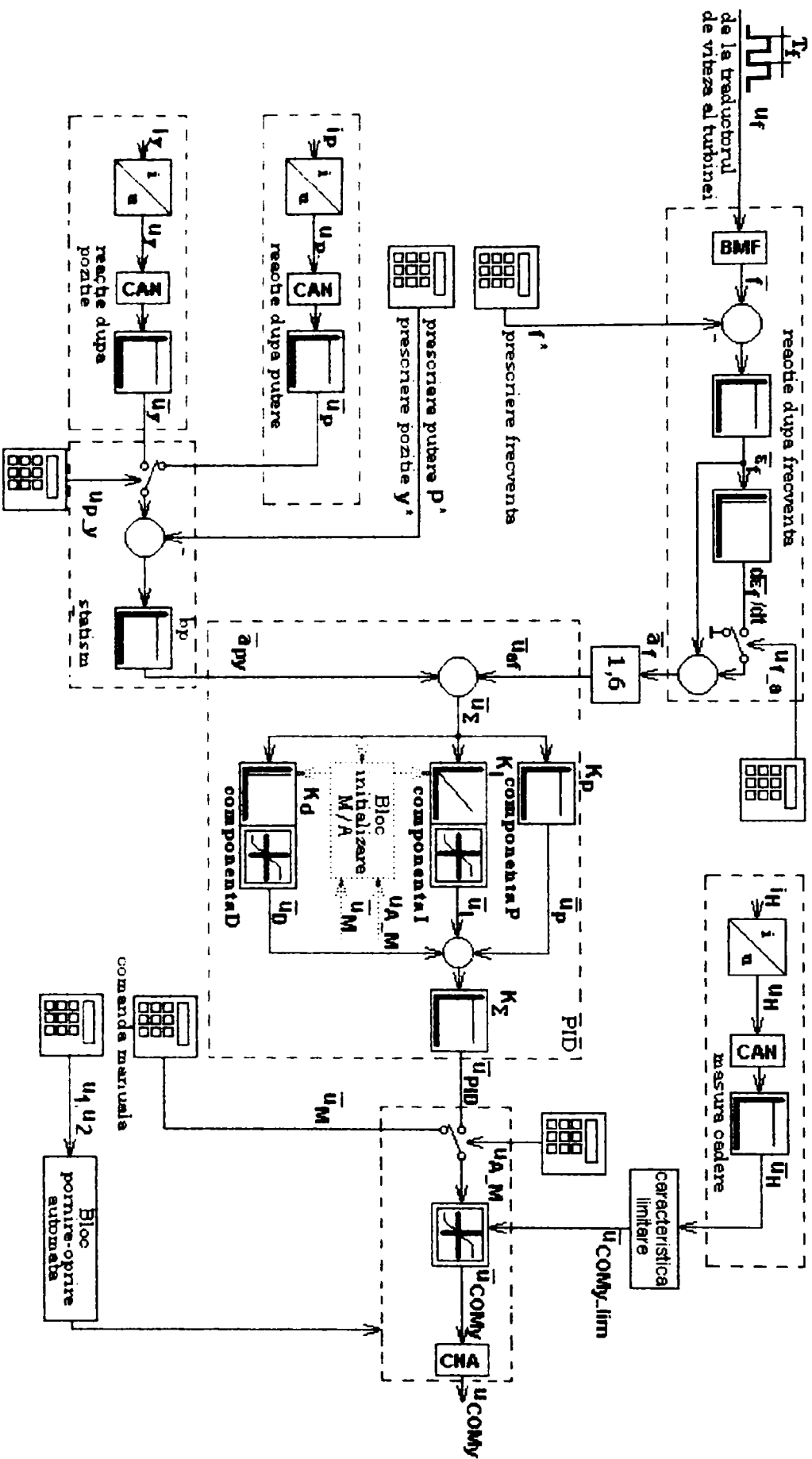
Semnificația mărimilor și parametrilor rezultă din schema bloc.

OBS: în regim automat,  $\bar{u}_{COMy} = \bar{u}_{PID}$ .

- Funcții auxiliare ( $f_a$ ) sunt reprezentate de funcții de elaborare a mărimii de conducere  $u_{COMy}$  pentru moduri de lucru particulare, precum și de funcții de monitorizare realizabile prin blocul de cuplare.
  - $f_a$  de comutare automat-manual (de trecere din regim manual în regim automat și din regim automat în regim manual) constă în manipularea mărimilor în condițiile solicitării de către operator a comenzii directe a deschiderii aparatului director fără intervenția regulatorului de viteză.
  - $f_a$  de limitare deschidere constă în limitarea cursei aparatului director stabilizat (sau a poziției paletelor statorice) la o valoare limită corespunzătoare comenzii, dată de curba neliniară
 
$$u_{COMy\_lim} = \Gamma(H) \quad (2.5-2)$$
  - $f_a$  de transmitere a comenzii către blocul de putere,
  - $f_a$  de modificare a valorilor „parametrilor și consemnului” (consemn are semnificația de mărimi prescrise) (parametri de acordare  $K_P$ ,  $K_I$ ,  $K_D$  și alții, prescrierea (consemnul) de putere, de deschidere, de frecvență),
  - $f_a$  de comandă automată a pornirii și opririi constă în generarea mărimii  $u_{COMy}$  în regimurile de pornire și de oprire,
  - $f_a$  de monitorizare, permite vizualizarea tuturor mărimilor de interes cu care lucrează regulatorul.
  - $f_a$  de gestionare comandă la distanță, permite memoriei echipamentului de calcul cu care este realizat regulatorul să fie accesată de către un calculator aflat în conexiune cu acesta, în vederea unor operații de monitorizare și a unor operații de dublare a unor comenzi de la tastatura regulatorului.
- OBSERVAȚIE: i. Regulatorul numeric are o singură tastatură. Simbolurile de tastatură din fig.2.5.2. indică mărimile care provin de la această tastatură. Utilizarea unui singur simbol legat în mai multe locuri ar fi complicat reprezentarea.
  - ii. Blocurile de tip proporțional din schemă sunt module amplificatoare cu amplificări ajustabile dependente de aplicație.







**Fig.2.5.2.** Structura regulatorului numeric PID in care se evidențiază funcțiile sale

## 2.5.2 Descrierea funcțiilor de conducere ale regulatorului PID numeric

În acest paragraf se descriu funcțiile de conducere ale regulatorului numeric enumerate în §2.5.1., și care vor fi detaliate în §2.5.3.

### 2.5.2.1. Funcția de realizare a legii de reglare PID

Calculul mărimii de comandă  $u_{PID}$  se realizează prin următoarele operații care sunt în concordanță cu schema bloc din fig.2.5.2.:

1. Calculul mărimii  $\bar{u}_f$  se efectuează în cinci etape:

1.1. *Calculul mărimii  $f$ , corespondentul analogic a mărimii  $\bar{f}$  din fig.2.5.2., pe baza informației furnizată de traductorul de viteză al turbinei, adusă la intrarea regulatorului de viteză sub forma de impulsuri de amplitudine constantă  $24[V]$  și perioadă  $T_f$  variabilă (semnal  $u_f$ ).*

Măsura frecvenței se obține din perioada impulsurilor cu relația:

$$f = T_f * \frac{f_n}{T_{fn}} \quad (2.5-3)$$

în care:

$f_n$  este valoarea nominală a lui  $f$  (50Hz),

$T_{fn}$  este valoarea nominală a lui  $T_f$ , dependentă de sistemul de măsurare:

$$T_{fn} = \frac{60}{n_z * n_n}, \quad (2.5-4)$$

în care:

$n_z$  reprezintă numărul de dinți ai discului traductor de frecvență,  $n_n$  reprezintă turația nominală a discului (în rpm);

1.2. *Generarea mărimii de prescriere  $f^*$  (consemnul de frecvență).*

Mărimea  $f^*$  este generată de la tastatura regulatorului, sau de la un calculator extern,

1.3. *Calculul abaterii de frecvență  $\varepsilon_f = f - f^*$ .*

1.4. *Calculul mărimii  $a_f$  (abaterea de frecvență prelucrată).*

Sunt posibile două situații:

- dacă  $u_{f-a} = 0$  atunci  $a_f = \varepsilon_f$ ;
- dacă  $u_{f-a} = 1$  atunci  $a_f = \varepsilon_f + T_D \cdot d\varepsilon_f/dt$

Accelerația  $d\varepsilon_f/dt$  are rolul de a realiza efectul accelero-tahometric. Formula de calcul corespunde discretizării operației de derivare sub forma:

$$\bar{a}_f(k) = \bar{\varepsilon}_f(k) + \frac{T_D}{h} \cdot \bar{\varepsilon}_f(k+1) - \frac{T_D}{h} \cdot \bar{\varepsilon}_f(k) \quad (2.5-5)$$

Datorita modului de gestionare în timp a ansamblului de calcule pe parcursul unui pas de discretizare, efectul real corespunde unei valori situate între cea dată de formula anterioară și cea dată de formula:

$$\bar{a}_f(k) = \bar{\varepsilon}_f(k) + \frac{T_D}{h} \cdot \bar{\varepsilon}_f(k) - \frac{T_D}{h} \cdot \bar{\varepsilon}_f(k-1) \quad (2.5-6)$$

Pasul de discretizare  $h$  care reprezintă și perioada ciclului de calcul, fiind de 17 ms, diferența dintre cele două valori poate fi considerată neglijabilă.

### 1.5. calculul mărimii $\bar{u}_{af}$

Semnalul  $a_f$  este convertit în semnal de tensiune  $\bar{u}_{af}$  prin relația

$$\bar{u}_{af} = k_{uf} * \bar{a}_f, \quad (2.5-7)$$

unde  $k_{uf}$  [V/Hz] este un coeficient dimensional de conversie. Dimensiunea rezultă din faptul că toate componentele lui  $\bar{u}_z$  trebuie să aibă aceeași dimensiune. În cazul de față, făcând abstracție de reprezentarea numerică,  $\bar{u}_z$  are dimensiunea [V]. Valoarea coeficientului este dată de dată de intervalul de tensiune care se asociază la ieșirea canalului unui interval de frecvență dat. În cazul de față, unui interval de frecvență de 5 Hz îi corespunde un interval de tensiune de 8V<sup>1</sup>.

### 2. Calculul mărimii $\bar{u}_y$

Semnalul de reacție ce conține informația despre poziția aparatului director este  $i_y$ , curent în domeniul [ $i_{ymin}$ ,  $i_{ymax}$ ] [mA]. Pentru a putea fi prelucrat de sistemul numeric, acesta este convertit în tensiunea  $u_y$ , în domeniul [ $u_{CANmin}$ ,  $u_{CANmax}$ ] [V], după o caracteristică liniară, cu ajutorul blocului de conversie  $i \rightarrow u$ . Tensiunea  $u_y$  este apoi convertită în numărul  $\bar{u}_y$  în mulțimea  $\{0 \dots 2^n - 1\}$ ,  $n$  reprezintă numărul de biți ai convertorului, de către convertorul analog-numeric. Relația de conversie este:

$$\bar{u}_y = k_{CAN} * u_y \quad (2.5-8)$$

### 3. Calculul mărimii $\bar{u}_p$

Într-un mod similar cu operația 2., reacția de putere  $p$ , reprezentată prin semnalul de curent  $i_p$ , în domeniul [ $i_{Pmin}$ ,  $i_{Pmax}$ ] [mA], este convertită în tensiune,  $u_p$ , în domeniul [ $u_{CANmin}$ ,  $u_{CANmax}$ ] [V], după o caracteristică liniară. Mărimea  $u_p$  este convertită apoi în numărul  $\bar{u}_p$ , în mulțimea  $\{0 \dots 2^n - 1\}$ , după relația

$$\bar{u}_p = k_{CAN} * u_p. \quad (2.5-9)$$

<sup>1</sup> Aceste date sunt valabile în cazul echipamentelor promovate de S.C. UCM Reșița S.A.

4. Calculul mărimii  $\bar{a}_{py}$ .

Mărimea  $\bar{a}_{py}$  se obține din mărimile  $\bar{u}_p$  sau  $\bar{u}_y$  prin înmulțire cu coeficientul  $\beta_p$  (statismul permanent) astfel:

- dacă  $u_{p-y} = '1'$ , atunci regulatorul funcționează cu statism după putere,  $\bar{a}_{py} = \bar{u}_p$  și statismul  $\beta_p$  ia valoarea  $b_{pp}$  (statism permanent după putere).
- dacă  $u_{p-y} = '0'$ , atunci regulatorul funcționează cu statism după deschidere,  $\bar{a}_{py} = \bar{u}_y$  și statismul  $\beta_p$  ia valoarea  $b_p$  (statism permanent după deschidere).

5. Calculul mărimii de acționare pe canalul principal  $\bar{u}_\Sigma = \bar{u}_{af} + \bar{a}_{py}$ 6. Calculul mărimii  $\bar{u}_{PID}$ .

Calculul acestei mărimi se realizează cu formula :

$$\bar{u}_{PID}(k) = \bar{u}_{PID}(k-1) + \frac{K_D}{h} \cdot \bar{u}_\Sigma(k) + (K_P - \frac{2K_D}{h}) \cdot \bar{u}_\Sigma(k-1) + (h \cdot K_I - K_P + \frac{K_D}{h}) \bar{u}_\Sigma(k-2) \quad (2.5-10)$$

obținută din

$$\bar{u}_{PID} = K_P \cdot \bar{u}_\Sigma + K_I \int \bar{u}_\Sigma dt + K_D \cdot \frac{d\bar{u}_\Sigma}{dt}$$

prin discretizare cu metoda dreptunghiului avansată, cu o perioadă de eșantionare  $h$  de 0.017 sec.

Valoarea  $\bar{u}_{PID}$  rezultată este limitată la o valoare dependentă de formatul variabilei  $\bar{u}_{PID}$  din microcontroler.

### 2.5.2.2. Funcția auxiliară de comutare regim automat-manual și invers

*Regimul automat* este regimul în care mărimea de comandă  $\bar{u}_{COMy}$  ia valoarea mărimii  $\bar{u}_{PID}$ . *Regimul manual* este regimul în care mărimea de comandă  $u_{COMy}$  ia valoarea mărimii  $\bar{u}_M$ , obținută de la tastatură sau de la calculatorul extern. În acest caz, legea de reglare PID nu mai are nici o contribuție la calculul mărimii de comandă  $\bar{u}_{COMy}$ . Regimurile sunt selectabile prin comutatorul  $u_{A-M}$  astfel:

- dacă  $u_{A-M} = '0'$ , atunci este selectat regimul manual
- dacă  $u_{A-M} = '1'$ , atunci este selectat regimul automat.

Procesul de comutare trebuie să satisfacă cerința tehnică de continuitate a lui  $\bar{u}_{COMy}$ , atât la comutarea de pe manual pe automat, cât și la comutarea de pe automat pe manual. Aceasta înseamnă că  $\bar{u}_{COMy} = \bar{u}_M(t_k) = \bar{u}_{PID}(t_k)$ .

În consecință, această funcție comportă două operații (1+2a sau 1+2b):

1. Se citește starea comutatorului  $u_{A-M}$
2. a. Se asigură continuitatea trecerii din regim automat în regim manual  $u_{A-M} = '0'$  prin :
  - preluarea de către mărimea de comandă manuală a vechii mărimi de comandă automată

$$\bar{u}_M(t_k) \leftarrow \bar{u}_{PID}(t_k) \quad (2.5-11)$$

- trecerea mărimii de comandă pe valoarea manuală

$$\bar{u}_{COMy}(t) \leftarrow \bar{u}_M(t), t \geq t_k. \quad (2.5-12)$$

În noul regim, valoarea lui  $\bar{u}_M$  poate fi modificată incremental sau decremental de către operator

2. b. Se asigură continuitatea trecerii din regim manual în regim automat  $u_{A-M} = '1'$  prin setarea adecvată a valorilor lui  $\bar{u}_{PID}(t_k)$  astfel:
  - se păstrează modul normal de operare al componentei P,

$$\bar{u}_P(t_k) = K_P * \bar{u}_\Sigma(t_k) \quad (2.5-13)$$

- componenta I se inițializează cu valoarea

$$\bar{u}_I(t_k) = \bar{u}_M(t_k) - \bar{u}_P(t_k) \quad (2.5-14)$$

- se inițializează calculul componentei D făcând:  $\bar{u}_\Sigma(t_{k-1}) = \bar{u}_\Sigma(t_k)$ , ceea ce are ca efect  $\bar{u}_D(t_k) = 0$ .

$$(2.5-15)$$

Cu aceste inițializări rezultă

$$\bar{u}_{PID}(t_k) = \bar{u}_P(t_k) + \bar{u}_I(t_k) + \bar{u}_D(t_k) = \bar{u}_P(t_k) + \bar{u}_M(t_k) - \bar{u}_P(t_k) + 0 = \bar{u}_M(t_k).$$

$$\bar{u}_{COMy}(t) \leftarrow \bar{u}_{PID}(t), t \geq t_k. \quad (2.5-16)$$

### 2.5.2.3. Funcția de limitare deschidere

În funcționare normală, cursa aparatului director este limitată la valori care sunt în dependență cu înălțimea căderii de apă H, după o caracteristică neliniară (2.5-2). Această dependență este descrisă în regulatorul numeric printr-un tabel, denumit Tabel\_Lim, unidimensional, la care etichetele reprezintă 128 de valori echidistante  $\bar{u}_{Hi}$  ale lui  $\bar{u}_H$ , iar valorile din tabel corespunzătoare  $\bar{u}_{COMy\_lim\_i}$  sunt preluate din caracteristica (2.5-2). Operațiile care se execută în cadrul acestei funcții sunt:

1. Obținerea codului numeric  $\bar{u}_H$  ca măsură a înălțimii căderii de apă H.
  - se achiziționează semnalul  $i_H$ , de curent în domeniul  $[i_{Hmin}, i_{Hmax}]$  [mA], ca măsură a căderii de apă H,

- $i_H$  se convertește în tensiunea  $u_H$ , în domeniul  $[u_{CANmin}, u_{CANmax}][V]$ , după o caracteristică liniară, prin convertorul curent-tensiune,
- din tensiunea  $u_H$  se obține numărul  $\bar{u}_H$  în mulțimea  $\{0, \dots, 2^n-1\}$  prin conversia cu convertorul analog-numeric, după relația
 
$$\bar{u}_H = k_{CAN} * u_H \quad (2.5-17)$$

2. Determinarea valorii limită pentru  $\bar{u}_{COMy\_lim}(H)$  din Tabel\_Lim prin interpolare:

- dacă  $\bar{u}_H = \bar{u}_{Hi}$ , atunci din tabel se extrage  $\bar{u}_{COMy\_lim} = \bar{u}_{COMy\_lim\_i}$ ,
- dacă  $\bar{u}_H \neq \bar{u}_{Hi}$ , atunci  $\bar{u}_{COMy\_lim}$  se obține din tabel prin interpolare liniară.

3. Corectarea valorii lui  $\bar{u}_{COMy}$  prin comparare cu valoarea lui  $\bar{u}_{COMy\_lim}$ :

- dacă  $\bar{u}_{COMy} \leq \bar{u}_{COMy\_lim}$  atunci  $\bar{u}_{COMy}$  nu se modifică,
- dacă  $\bar{u}_{COMy} > \bar{u}_{COMy\_lim}$  atunci  $\bar{u}_{COMy} = \bar{u}_{COMy\_lim}$ .

#### 2.5.2.4. Funcția de transmitere a comenzii către blocul de putere

Se transmite către blocul de putere tensiunea  $u_{COMy}$ , obținută prin conversia numărului  $\bar{u}_{COMy}$  cu convertorul numeric-analog conform formulei

$$u_{COMy} = k_{CNA} \cdot \bar{u}_{COMy}.$$

#### 2.5.2.5. Funcția de modificare „parametri și consemn” (consemn are semnificația de mărimi prescrise) .

Prin intermediul acestei funcții, operatorul are posibilitatea să modifice de la tastatură, în timpul funcționării, următoarele:

- parametri de acordare:
  - constanta de proporționalitate  $K_P$  a componentei P a legii de reglare
  - constanta de timp de integrare  $K_I$  a componentei I a legii de reglare
  - constanta de timp de derivare  $K_D$  a componentei D a legii de reglare
  - statismul  $b_P$
- valorile mărimilor prescrise (referințe):
  - prescrierea pentru comanda manuală  $u_M$
  - prescrierea de frecvență  $f^*$
  - prescrierea de poziție  $y^*$
  - prescrierea de putere  $p^*$

După selectarea parametrului sau a mărimii din meniul principal, modificarea acestora se face pas cu pas, prin apăsarea unei taste de incrementare sau a uneia de decrementare cu câte o cuantă proprie, fixată prin program.

### 2.5.2.6. Funcția de comandă automată a pornirii și opririi grupului.

În cadrul acestei funcții, regulatorul ca unitate constructivă funcțională, execută două operații:

#### 1. Operația de pornire a grupului.

Comanda pornirii se face prin mărirea  $u_1$  de la tastatură, începerea operației fiind condiționată de poziția zero a aparatului director și starea generatorului de deconectat de la sarcină. Regulatorul se setează în modul de lucru cu reacție după deschidere (statism după deschidere), și generează semnalul de comandă  $u_{COMy}$  pentru servosistemul electrohidraulic conform prescrierii de poziție  $y^*$ . Valoarea prescrisă poate fi obținută ca treaptă sau rampă. La atingerea de către aparatul director a unei vecinătăți prestabilite a poziției prescrise,

- în cazul funcționării în regim insularizat, se face conectarea la sarcină și se comută pe modul de lucru nominal, cu reacție după putere (statism după putere)
- în cazul funcționării cuplat la sistemul energetic, se preia comanda de către sistemul de sincronizare<sup>1</sup>, iar după intrarea în sincronism se face conectarea la sarcină și se comută pe modul de lucru nominal, cu "reacție după putere" (statism după putere)

#### 2. Operația de oprire a grupului.

Comanda opririi se face prin semnalul extern  $u_2$  dat de la tastatură; începerea operației este condiționată de modul de lucru nominal al regulatorului. Regulatorul trece într-un mod de lucru în care ieșirea  $u_{COMy}$  este adusă de la valoarea curentă la zero după o rampă descrescătoare. Aceasta se realizează prin, comutarea lui  $\bar{u}_{COMy}$  de la  $\bar{u}_{PID}$  la  $\bar{u}_M$  și generarea unei rampe descrescătoare pentru  $\bar{u}_M$ , cu o viteză dependentă de aplicația concretă.

### 2.5.2.7. Funcția de monitorizare.

În cadrul acestei funcții, la alegerea operatorului, se afișează pe display-ul modulului numeric sau pe display-ul unui calculator aflat la distanță, următoarele mărimi:

- frecvența  $f$
- poziția aparatului director  $y$
- puterea debitată  $p$ .

Sistemul oferă posibilitatea tehnică de afișare a frecvenței  $f$  și a poziției aparatului director  $y$ , pe aparatele de măsură de panou.

### 2.5.2.8. Funcția de gestionare comandă de la distanță.

În cadrul acestei funcții se execută operațiile:

1. se comută dreptul de a da comenzile

<sup>1</sup> Operația de sincronizare a hidro-generatorului cu rețeaua electrică nu face obiectul acestei lucrări.

- selecție regim manual- automat
- selecție acțiune canal accelero-tahometric
- comandă oprire
- comandă pornire
- modificare prescriere f
- modificare prescriere P
- modificare prescriere y

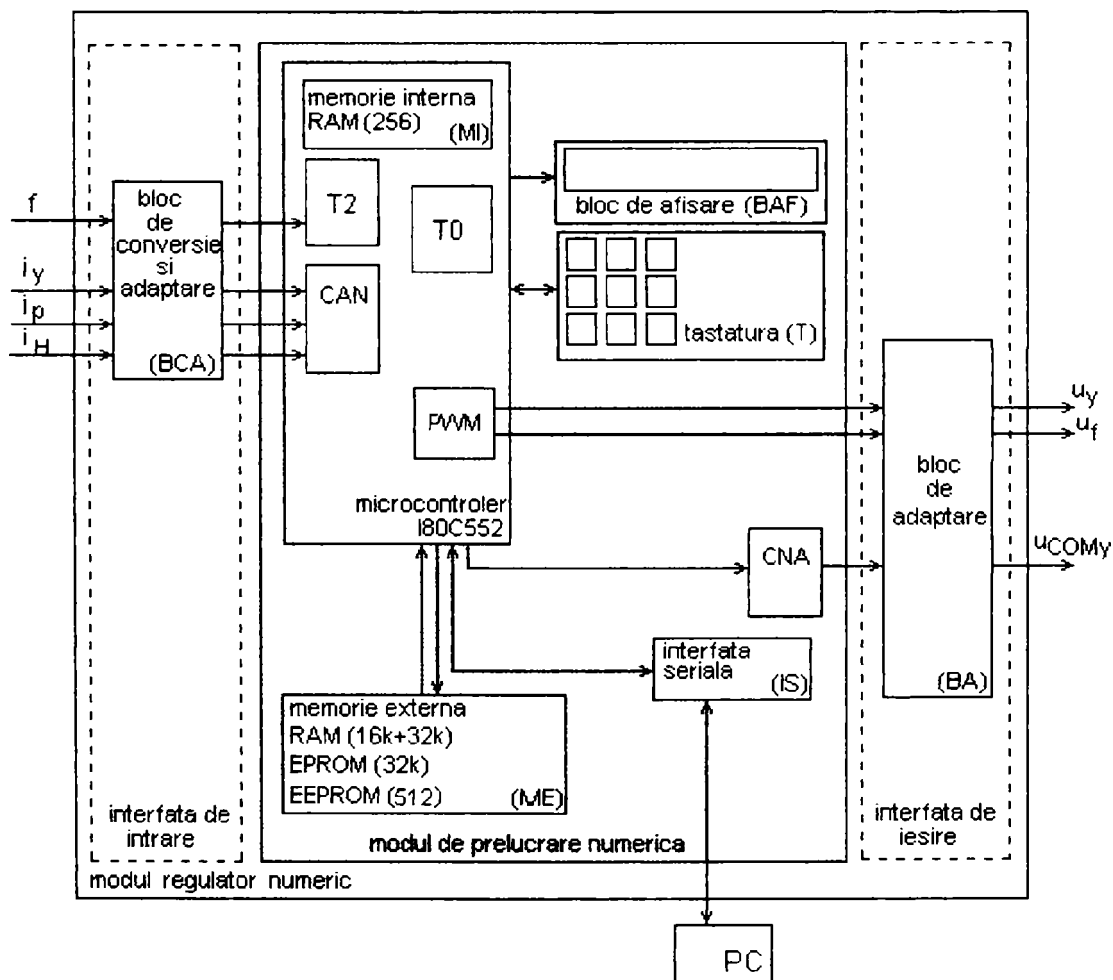
de la un calculator aflat la distanță, conectat pe linie serială cu regulatorul numeric,

2. se protejează regulatorul numeric de accesul simultan tastatură-calculator prin inhibarea comenzii neprioritare.

3. se asigură sincronizarea tastaturii regulatorului cu calculatorul pentru transferul dreptului de a prelua comanda regulatorului.

Conexiunea serială poate fi de tipul:

- RS232, distanța de aproximativ 100 m. În acest caz nu mai este necesar hardware adițional la structura regulatorului și nici la calculatorul numeric
- RS422, distanță de ordinul kilometrilor. Sunt necesare câte un adaptor RS232- RS422 pentru regulator și calculator.
- modem, distanță de ordinul kilometrilor. Sunt necesare câte un modem pentru regulator și calculator.
- Internet, distanță practic nelimitată, sunt necesare condiții de conectare la această rețea.



**Fig.2.5.3.** Structura modulului reglator



### 2.5.3 Implementarea funcțiilor regulatorului PID numeric

Pentru a implementa funcțiile regulatorului numeric, prezentate în §2.5.2, a fost realizată o structură de echipament numeric dezvoltat în jurul microcontrolerului Intel 80C552. [ĂST 93], [BAB 85], [FLO 83], [LAT 77]. Echipamentul numeric este format dintr-o placă de dezvoltare standard, căreia i s-au adăugat componente hardware și circuite electronice pentru interfațare cu procesul. Acest ansamblu care îndeplinește funcțiile regulatorului este denumit în continuare *modul regulator* (fig.2.5.3).

#### 2.5.3.1. Modulul de prelucrare numerică

Modulul de prelucrare numerică este realizat în jurul plăcii de dezvoltare cu microcontroler. O fotografie a ei este prezentată în anexa A1. Această soluție a fost aleasă pentru a face față necesităților de volum de calcul, capacitate de memorie și viteză [NAC 88]. Caracteristicile plăcii sunt prezentate în Cap.4.

În tabelul 2.5.1. sunt prezentate caracteristicile microcontrolerului ce au motivat alegerea lui pentru această aplicație:

**Tabel 2.5.1.**

Caracteristicile microcontrolerului 180C552	Aspecte referitoare la măsura în care caracteristica argumentează alegerea făcută
unitate centrala pe 8 biți	Numărul de biți este suficient pentru reprezentarea variabilelor și a constantelor. În situațiile când este necesară o precizie mai mare, sunt folosite cuvinte de doi octeți.
durata de execuție a instrucțiilor de 1,2 sau 4 $\mu$ s	Permite realizarea funcțiilor blocului de cuplare într-un ciclu de 17 ms.
memorie internă RAM de 256 octeți (MI)	Suficientă pentru memorarea și citirea rapidă a variabilelor intermediare.
cinci porturi paralele I/O pe 8 biți (PP)	Necesare și suficiente pentru comunicarea cu panoul operator.
un convertor analog-numeric (CAN) pe 10 biți cu 8 canale analogice multiplexate	Satisface condiția de minimum trei canale pentru achiziționarea a trei mărimi analogice. Permite dezvoltări pentru alte funcții de automatizare. Precizia de 10 biți și viteza de 50 $\mu$ s sunt potrivite aplicației.
două ieșiri de tip PWM	Necesare generării de semnale de tensiune pentru afișare pe aparate de panou
port serial RS-232 (IS)	Necesar comunicației cu un calculator master în faza de punere la punct a aplicației; este de asemenea necesară pentru comunicația cu un calculator la distanță.

Timere T0 și T1 pe 16 biți	Timerul T1 este folosit pentru timing-ul comunicației serială iar T0 este folosit pentru a genera perioada de eșantionare
Timer T2 pe 16 biți cu posibilitate de captură	Esential pentru a putea măsura lățimea impulsurilor de la traductorul de frecvență cu o precizie impusă de 0.1%
Cost redus	Caracteristică favorabilă fără rol de decizie în ansamblul soluției

Pe lângă microcontroler, placa conține o serie de componente necesare îndeplinirii funcțiilor blocului de cuplare. Cele ce au fost esențiale în alegerea acestei plăci sunt prezentate în tabelul 2.5.2.

**Tabel 2.5.2.**

Caracteristicile componentelor plăcii cu microcontroler I80C552	Aspecte referitoare la măsura în care caracteristica argumentează alegerea făcută
Memorie externă RAM - 32 Ko, adresabilă atât ca memorie program cât și ca memorie de date (ME)	Necesară pentru memorarea programului de aplicație în faza de punere în funcțiune și a variabilelor din program.
Memorie externă EPROM – 32 Ko, adresabilă ca memorie program (ME)	Necesară pentru memorarea programului monitor, în faza de punere în funcțiune, și a programului de aplicație, în faza finală când modulul va executa funcțiile independent de calculatorul master.
Memorie externă EEPROM de 512 octeți	Necesară pentru memorarea parametrilor regulatorului și a Tabel_lim
Bloc de afișare cu cristale lichide LCD (2*16 caractere) (BAF)	Necesar pentru afișarea locală a mesajelor și a mărimilor.
Tastatură (12 taste) (T)	Necesară pentru selectarea regimurilor de funcționare și pentru modificarea parametrilor.
Convertor numeric analogic (CAN) pe 12 biți, cu 2 canale independente (unipolar, bipolar)	Necesar pentru a permite transmiterea valorii $u_{COMy}$ către servo-sistemul electrohidraulic și a mărimilor pentru trasmitemerea de informații la distanță.

### 2.5.3.2. Mărimi de intrare și ieșire în modulul regulator. Interfețele cu placa cu microcontroler.

Modulul regulator numeric interacționează cu mediul prin (v.fig.2.5.3): cinci mărimi de intrare logice ( $u_{p-y}$ ,  $u_{A-M}$ ,  $u_{f-a}$ ,  $u_1$ ,  $u_2$ ), patru mărimi de intrare analogice ( $f$ ,  $y$ ,  $p$ ,  $H$  de semnale respectiv  $T_f$ ,  $i_H$ ,  $i_y$ ,  $i_p$ ), patru mărimi de intrare numerice ( $f^*$ ,  $y^*$ ,  $p^*$ ,  $\bar{u}_M$ ), trei mărimi de ieșire analogice ( $u_{COM,y}$ ,  $u_y$ ,  $u_f$ ) și o serie de mărimi de ieșire alfanumerice pentru afișare pe un ecran.

În acest paragraf se prezintă caracteristicile definatorii ale interfețelor dintre mărimile din proces și placa cu microcontroler. Aceste interfețe, denumite “Bloc de conversie și adaptare” fac parte din modulul reglator numeric. O fotografie a blocului de conversie și adaptare pentru acest reglator este prezentată în anexa A2.

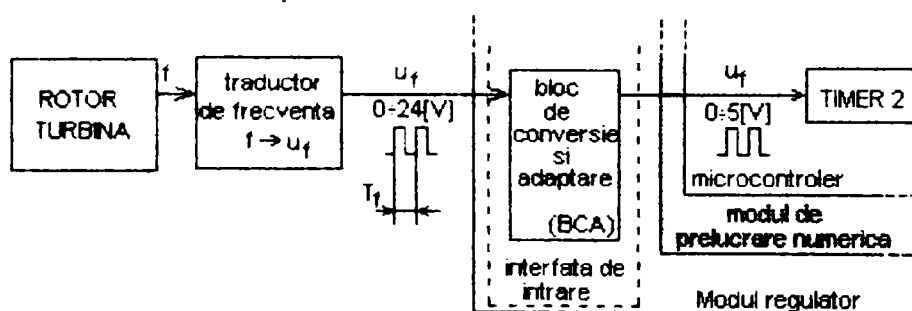
#### a Mărimile de intrare logice

Mărimile logice  $u_{p.v.}$ ,  $u_{A.M.}$ ,  $u_{f.a.}$ ,  $u_1$  și  $u_2$  sunt introduse de operator de la tastatura modulului reglator numeric, selecția făcându-se din meniul principal. Valoarea curentă se încarcă în memoria reglatorului numeric în variabile de același nume.

#### b Mărimile de intrare analogice

Mărimile de intrare analogice provin din procesul condus de reglatorul de viteză. Funcțiile asociate prelucrării acestor mărimi au fost descrise în §2.5.2.1. În continuare se detaliază procesarea lor.

##### 1. Procesarea semnalului $u_f$



**Fig.2.5.4.** Semnalele și blocurile corespunzătoare măsurării vitezei de rotație a turbinei (frecvenței)

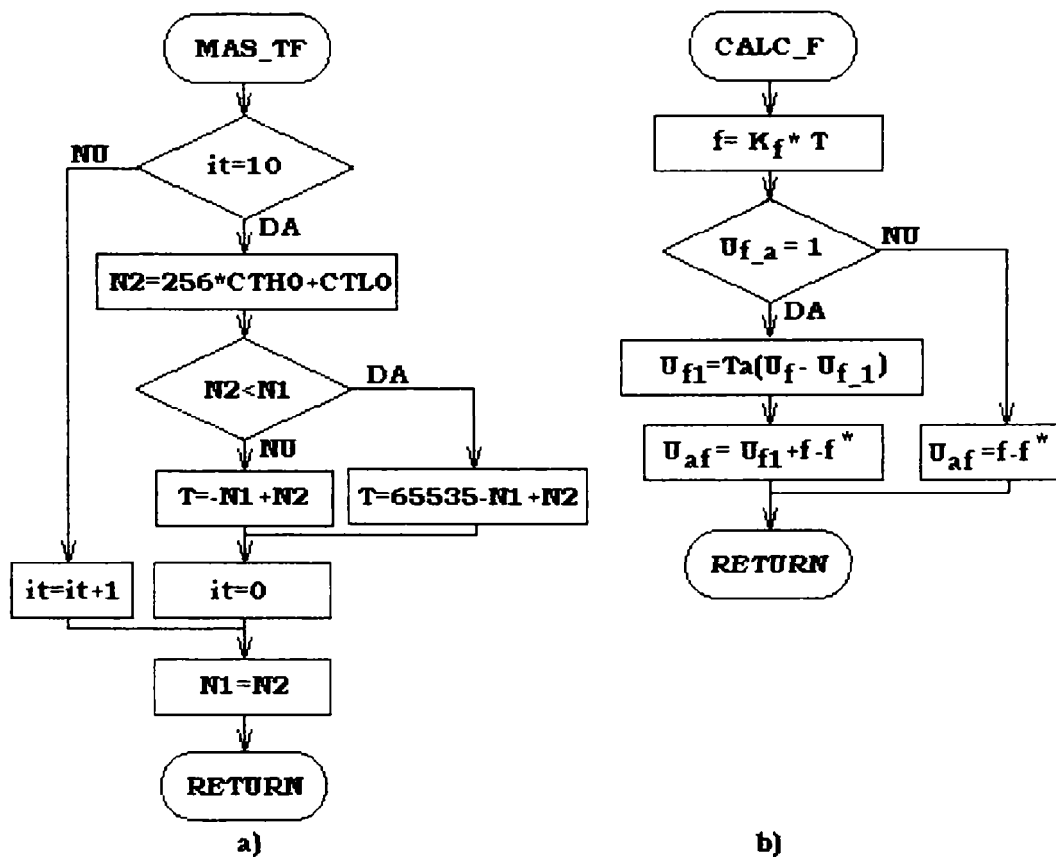
- Forma semnalului.  
Semnalului  $u_f$  este un semnal de tensiune tip impuls dreptunghiular, de amplitudine fixă 24V și perioadă variabilă  $T_f$ . Aceasta este forma în care semnalul  $u_f$  conține informația despre *frecvența de rotație  $f$  a turbinei*.
- Măsurarea perioadei  $T_f$ .  
Pentru măsurarea perioadei  $T_f$ , semnalul  $u_f$  este adus prin interfața de intrare la nivelul TTL fiind aplicat registrului “0” de captură a timerului T2 al microcontrolerului (v.fig.2.5.4.). La fiecare front crescător al lui  $u_f$ , în registru se încarcă valoarea curentă a timerului T2 și se generează o întrerupere care este utilizată de programul reglator.  $T_f$  se obține ca diferență a două citiri consecutive în registrul de captură. Eroarea absolută de măsură este o cantă a timerului, în cazul acesta 1  $\mu$ s, astfel că eroarea

relativă este sub 0.1% <sup>1</sup>. Pentru a reduce efectul zgomotului suprapus peste semnalul  $u_f$ , a fost introdus un filtru (software) de ordin 1, prin citirea duratei pentru 10 impulsuri consecutive, rezultatul împărțindu-se apoi la 10. În fig.2.5.5.a) este redată ordinograma operației de măsurare a lui  $T_f$  (rutina de întrerupere „MAS\_TF”).

- Calculul mărimii  $\bar{u}_{af}$ .

Pentru calculul mărimii  $\bar{u}_{af}$  se utilizează relațiile (2.5-3) și (2.5-4). În funcție de valoarea mărimii  $u_{f,a}$  la rezultat se adaugă și componenta accelero-tahometrică. Ordinograma de calcul este prezentată în fig.2.5.5.b) (rutina CALC\_F din programul principal) Semnificația notațiilor este:

- it- număr de citiri a perioadei T cu care se face filtrarea (inițializat în programul principal),
- N2, N1 valorile curentă calculată direct respectiv anterioară corectată a perioadei T.



**Fig.2.5.5.** Ordinogramele rutinelor pentru măsurarea lui  $T_f$  (a) și calculul lui  $\bar{u}_{af}$  (b)

În fig.2.5.6. este prezentată caracteristica de transfer statică a canalului  $T_f \rightarrow f$  pentru cazul concret, în care  $n_z=50$  și  $n_n=1000$  rpm. Conform (2.5-3) și (2.5.4),  $K_f = 50/1.2$  cu  $T_f$  măsurat în ms.

<sup>1</sup> Pentru valoarea nominală  $T_{fn}=1.2$  ms, eroarea de măsură este 1μs, astfel că eroarea relativă obținută este  $1/1200 = 0.08\%$ .

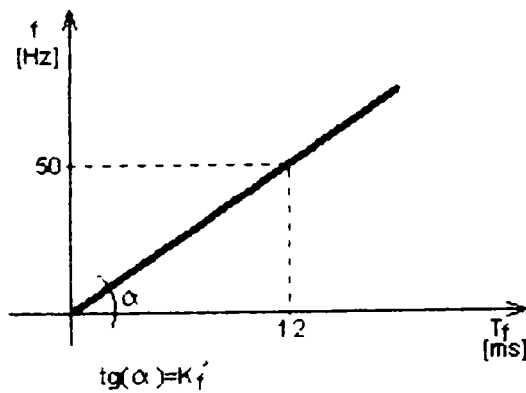


fig2.5.6. Caracteristica statică a canalului  $T_f \rightarrow \bar{u}_{af}$

## 2. Procesarea semnalelor $i_y$ , $i_p$ și $i_H$ .

- Forma semnalelor.  
 $i_y$ ,  $i_p$  și  $i_H$  sunt semnale de curent în domeniul [4,20] [mA].
- Măsurarea poziției, puterii și a înălțimii căderii de apă [IGN 98], [JUR 96], [NIC 84].

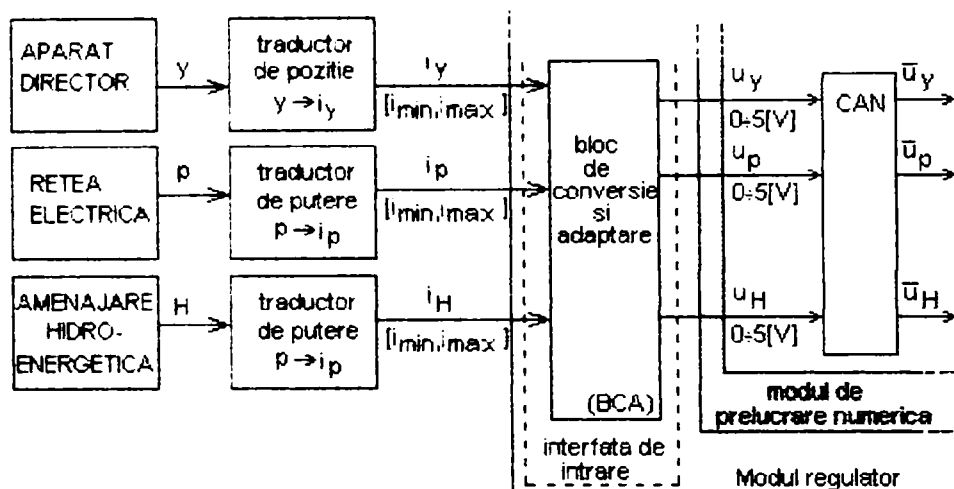
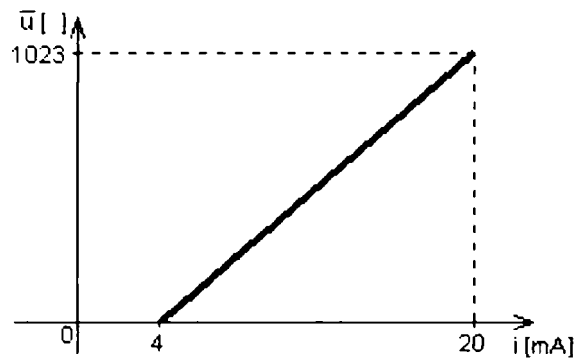


Fig.2.5.7. Semnalele și blocurile corespunzătoare măsurării intrărilor  $y$ ,  $p$  și  $H$

Modul de măsurare este identic pentru toate cele trei semnale. În fig.2.5.7. sunt prezentate blocurile utilizate la măsurarea acestor mărimi. În blocul de conversie și adaptare, semnalele sunt convertite din curent în tensiune  $u_y$ ,  $u_p$  respectiv  $u_H$ , în domeniul [0,5] [V], domeniu acceptat la intrare de către convertorul analog-numeric (CAN). Aceste mărimi sunt apoi convertite de CAN, la începutul fiecărui ciclu al programului, în numerele  $\bar{u}_y$ ,  $\bar{u}_p$  respectiv  $\bar{u}_H$ .

Caracteristica statică intrare-ieșire pentru aceste mărimi este prezentată în fig.2.5.8.



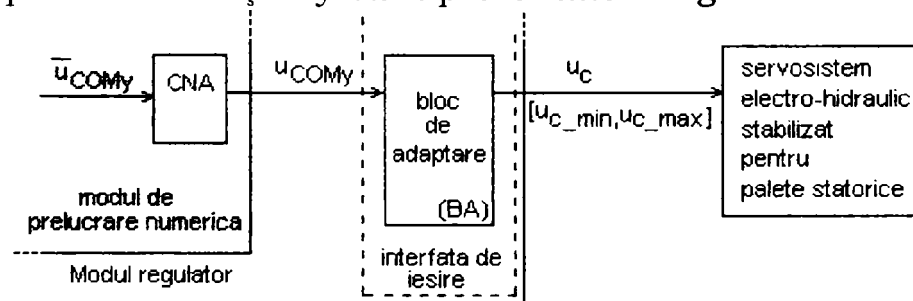
**Fig.2.5.8.** Caracteristica statică pentru canalele  $i(\cdot) \rightarrow \bar{u}(\cdot)$

*c Mărimi de intrare numerice*

Mărimile de intrare numerice  $f^*$ ,  $y^*$ ,  $p^*$  au rolul de valori prescrise (valori de consemn), iar  $\bar{u}_M$  are rolul de mărime de comandă în modul de lucru manual. Ele se introduc de la tastatură fiind selectate din meniul principal. Modificarea se face prin taste de incrementare și decrementare. După setarea valorii modificate, aceasta se înregistrează într-o variabilă internă microcontrolerului având același nume cu mărimea corespunzătoare.

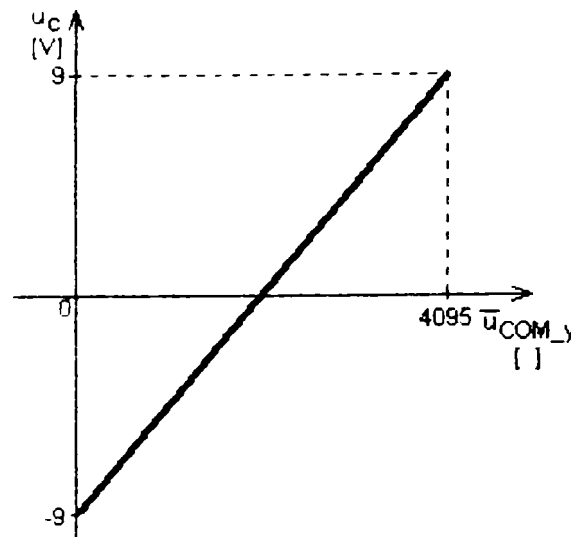
*d Mărimi de ieșire analogice*

1. Singura mărime de ieșire analogică, funcțională, a modului regulator numeric este tensiunea  $u_{COMy}$ , ce conține valoarea prescrisă pentru poziția  $y$  a aparatului director. Semnalele și blocurile corespunzătoare ieșirii  $y$  sunt prezentate în fig2.5.9.



**Fig.2.5.9.** Semnalele și blocurile corespunzătoare ieșirii  $u_{COMy}$

Semnalul numeric  $\bar{u}_{COMy}$  este rezultatul prelucrărilor numerice din blocul regulator. Această mărime numerică este aplicată convertorului numeric-analogic (CNA) rezultând  $u_{COMy}$ . Interfața de ieșire are rolul de a modifica domeniul de tensiuni obținându-se mărimea  $u_c$  de domeniu de variație  $[u_{c\_min}, u_{c\_max}]$ , care se aplică la intrarea servosistemului electro-hidraulic stabilizat. Caracteristica statică de transfer  $\bar{u}_{COMy} \rightarrow u_c$  pentru acest caz este reprezentată în fig.2.5.10.



**Fig.2.5.10.** Caracteristica statică pentru canalul  $\bar{u}_{COMy} \rightarrow u_c$

2. Semnalele de ieșire analogice  $u_y$  și  $u_r$  sunt impulsuri de tensiune modulate în lățime, cu rolul de monitorizare a mărimilor corespunzătoare din regulator. Ele sunt generate de blocul PWM al microcontrolerului, și sunt transmise către elemente de afișare analogice (aparate de tablou) prin interfața de ieșire care modifică semnalul conform caracteristicilor aparatelor.

*e Mărimi de ieșire pentru afișare*

Aceste mărimi sunt purtătoarele informațiilor despre diferitele mărimi funcționale ale regulatorului. Ele sunt trimise către un dispozitiv de afișare (blocul de afișare pe modulul regulator sau display-ul pentru un calculator la distanță) și au rolul de a informa operatorul, la solicitarea acestuia, despre valoarea lor.

Principalele mărimi de ieșire pentru afișare sunt:

- frecvența tensiunii corespunzătoare vitezei de rotație a turbinei
- poziția aparatului director
- puterea electrică generată la bornele generatorului.

**2.5.4. Structura programelor implicate în realizarea funcțiilor regulatorului numeric**

Structura programelor prezentate în continuare a fost dezvoltată în ipoteza că acestea nu sunt rezidente pe sistemul cu microcontroler ci se încarcă de pe un calculator extern (PC), de unde sunt lansate în execuție. Acest fapt corespunde condițiilor cerute în aplicația prezentată în [\*\*\*01], configurația fiind a unui *sistem de dezvoltare*.

În cazul unui produs industrial, a cărui destinație este de a conduce procesul real, programele vor fi rezidente pe sistemul cu microcontroler.

Programele care participă la implementarea funcțiilor regulatorului, executate de microcontrolerul I80C552 sunt:

- a *Programul regulator* implementează funcțiile regulatorului numeric prezentate în §2.5.2.
- b *Programul de inițializare* a variabilelor (parametri, mărimi), sarcina sa fiind de a încărca în memoria EEPROM valorile inițiale ale acestora.
- c *Program tabel* de încărcare în EEPROM a valorilor tabelului TABEL\_LIM.

Ordinea de lansare a programelor este:

1. Programul de inițializare
2. Programul tabel
3. Programul regulator.

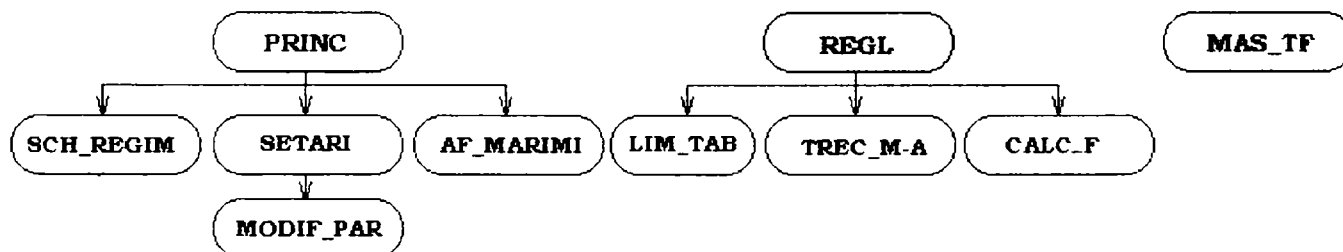
Programele sunt listate în anexa A4.

#### 2.5.4.1 Structura “programului regulator”

În principiu, programul regulator are două tipuri de sarcini:

- execuția funcțiilor regulatorului,
- dialogarea cu operatorul și în consecință permiterea rulării în diferite moduri de lucru,

Structura programului regulator este prezentată în fig. 2.5.11.



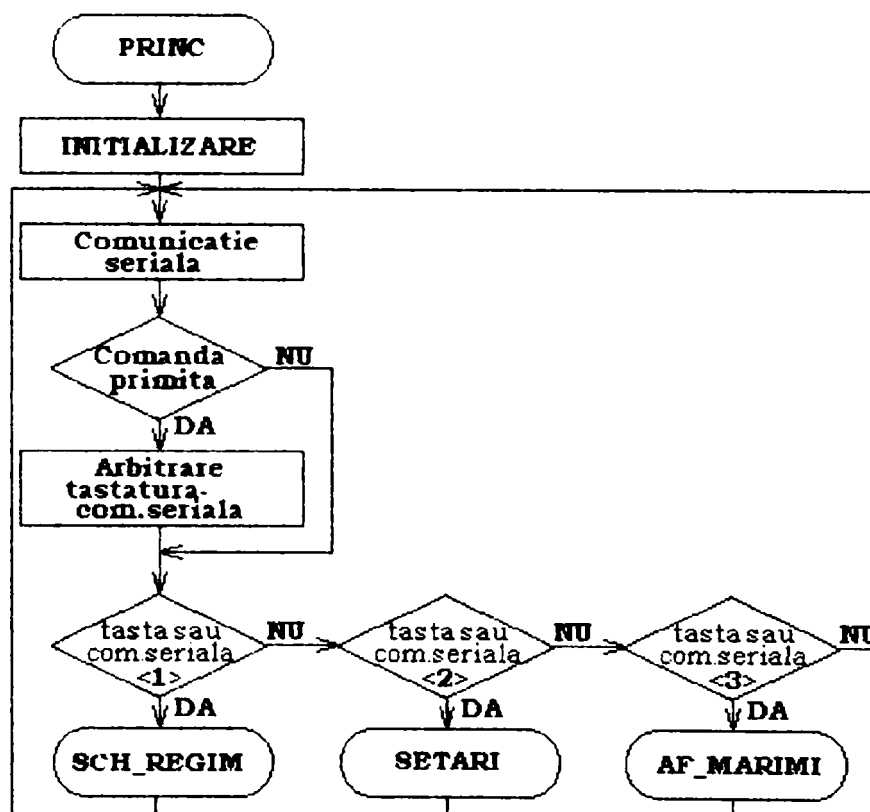
**Fig.2.5.11.** Structura programului regulator

El este format din

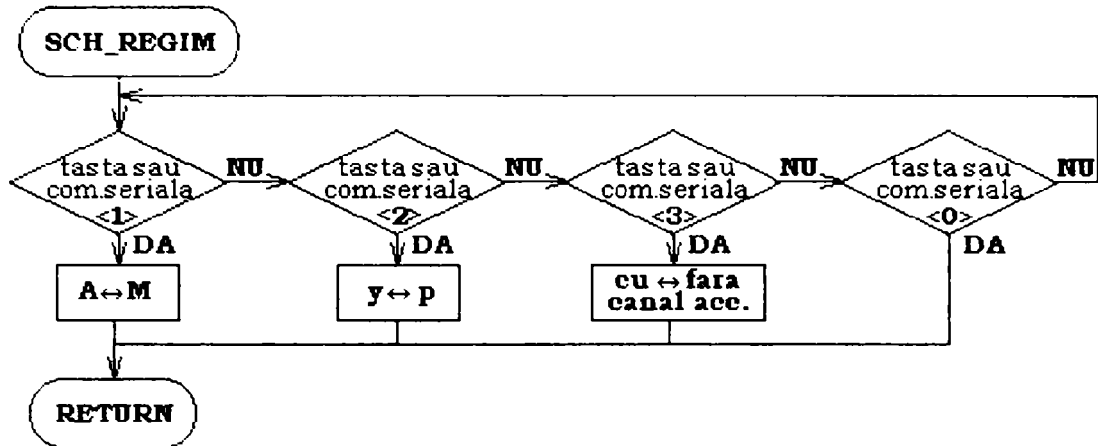
- programul principal “PRINC” care operează cu 4 subrutine,
  - subrutina “REGL” sincronă cu timerul T0, care asigură îndeplinirea majorității funcțiilor de reglare,
  - subrutina “MAS\_TF” asincronă, condiționată de semnalul  $u_f$ , care măsoară perioada  $T_f$ .
- ♦ *Programul principal.* Programul rulează în mod continuu, ciclic, fără sincronizare cu vreun eveniment. Ordinograma programului principal este redată în fig.2.5.12. La pornire se inițializează variabilele și modurile de lucru după care se intră în bucla principală în care:



1. Se verifică linia de comunicație serială pentru a sesiza o cerere de acces a unui calculator de la distanță la resursele blocului reglator.
2. Dacă a sosit o cerere de acces, se arbitrează cererea, în sensul că orice comandă de la tastatură este ignorată până la un mesaj de la calculatorul la distanță ca încetează accesul. În cazul în care o comandă de la tastatură este în execuție, cererea de acces de la calculator este pusă în așteptare. Dacă nu a sosit o cerere de acces de la calculator, se trece la punctul 3.
3. Se citește tastatura microcontrolerului.
4. În cazul existenței unor comenzi provenite de la tastatură sau comunicația serială, ele se execută după ce au fost filtrate de arbitrul de acces la resursele blocului reglator. Comenzile luate în considerare sunt:
  - <1> Intrare în subprogramul "SCH\_REGIM" de schimbare a regimului de lucru (v.fig.2.5.13)
    - i) Automat-Manual
    - ii) Reacție după putere sau după poziție
    - iii) Cu sau fără canal accelero-tahometric



**Fig.2.5.12.** Ordinograma programului principal "REGL"

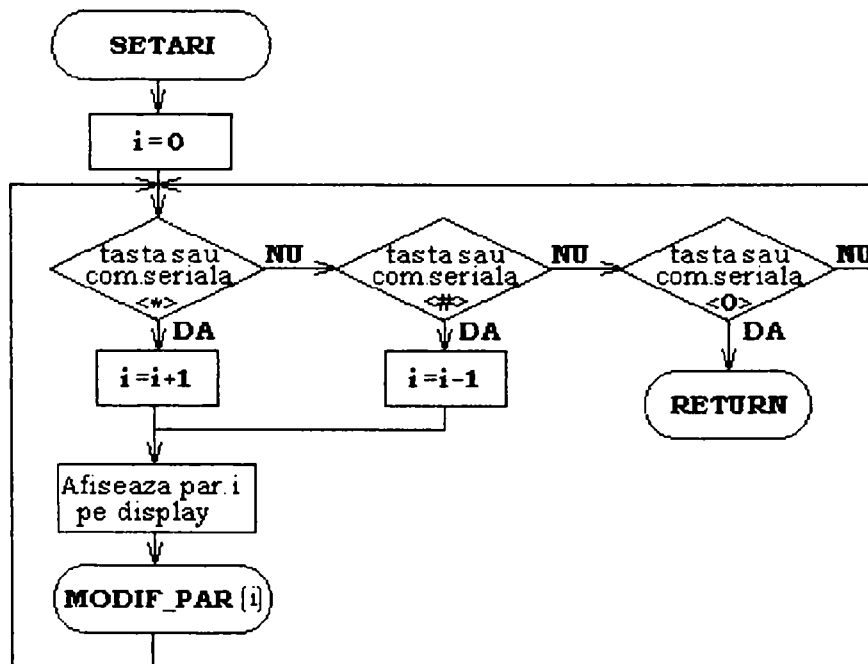


**Fig.2.5.13.** Ordinograma subprogramului “SCH\_REGIM”

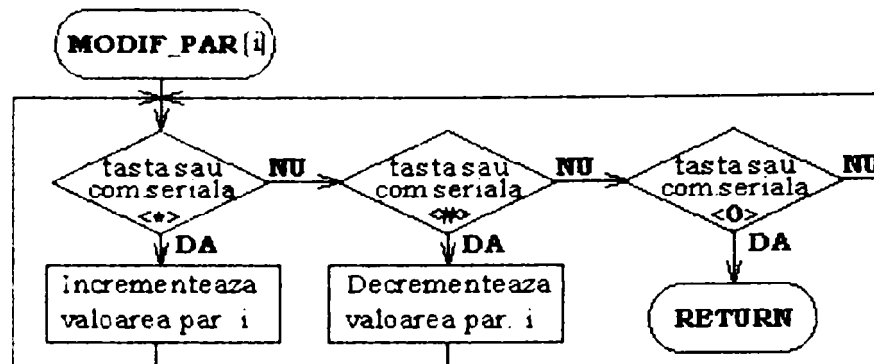
- <2> Intrare în subprogramul “SETĂRI” de selectare și modificare a parametrilor regulatorului (v.fig.2.5.14, fig.2.5.15 și §2.5.2.5.). Parametri și mărimile sunt selectate secvențial, și după stabilirea variabilei ce se dorește modificată, valoarea acesteia se incrementează sau decrementează cu tastele <\*> respectiv <#>.
- <3> Intrare în subprogramul “AF\_MĂRIMI” de afișare a mărimilor. În acest subprogram, pe display-ul blocului regulator sunt afișate mărimile f, y și p, procesul de reglare desfășurându-se normal.

Dacă nu există comenzi provenite de la tastatură sau comunicația serială, se revine la punctul 1.

5. Se execută ciclic subrutina în care s-a intrat până la primirea comenzii de ieșire (tasta <0>) când se revine în programul principal la punctul 1.



**Fig.2.5.14.** Ordinograma subprogramului “SETĂRI”



**Fig.2.5.15.** Ordinograma subprogramului “MODIF\_PAR”

- ◆ *Subrutina “MAS\_TF”*. Subrutina este apelată prin întrerupere de la intrarea de captură a timer-ului T2 (v.fig.2.5.6.a)), rolul ei fiind de determinare a perioadei  $T_f$  a impulsurilor provenite de la traductorul de viteză (v.§2.5.3.2 / 1).
- ◆ *Subrutina “REGL”*. Subrutina conține algoritmul de reglare al regulatorului de turație. Ea este apelată prin întrerupere de la timer-ul T0 al microcontrolerului, la 17 ms<sup>1</sup>. Timer-ul îndeplinește rolul de ceas de timp real setat în faza de inițializare a programului principal.

Ordinograma subrutinei este redată în fig.2.5.16.

Ea este organizată pe 5 nivele astfel:

- Nivelul I – realizează reinițializarea timer-ului T0 pentru următoarea întrerupere. Reinițializarea se face prin încărcarea timerului cu valoarea potrivită pentru generarea întreruperii la 17 ms.
- Nivelul II - implementează algoritmul de trecere din regim manual în regim automat și invers. Pentru a asigura o trecere dintr-un regim în altul fără șocuri (v. §2.5.2.2) la fiecare rulare a rutinei “INT\_T0” se verifică în ce regim a lucrat (rulare anterioară) și în ce regim se lucrează (rulare curentă). Cele patru situații posibile se tratează astfel:
  - i. rularea curentă a subrutinei este în regim automat și rularea anterioară a fost în regim automat (simbolizat A-A).  
În acest caz se execută operațiile corespunzătoare nivelelor III,IV și V, adică algoritmul PID.
  - ii. rularea curentă a subrutinei este în regim automat dar rularea anterioară a fost în regim manual (simbolizat M-A).  
În acest caz este necesară adaptarea mărimii  $u_{PID}(k)$  la valoarea  $u_M(k)$ . Situația este descrisă în §2.5.2.2. iar

<sup>1</sup> Valoarea de 17 ms a rezultat din performanțele de viteză ale blocului regulator (viteză de calcul pentru algoritmul de reglare cu toate sarcinile adiacente, viteza de răspuns a resurselor de interfațare cu procesul-CAN, CNA, și viteza de răspuns a interfeței cu operatorul- tastatura). Dintre toate aceste limitări, tastatura este cea mai mare consumatoare de timp, în consecință, dacă se va alege pentru o variantă industrială o tastatură mai rapidă, perioada de 17ms va scădea considerabil.

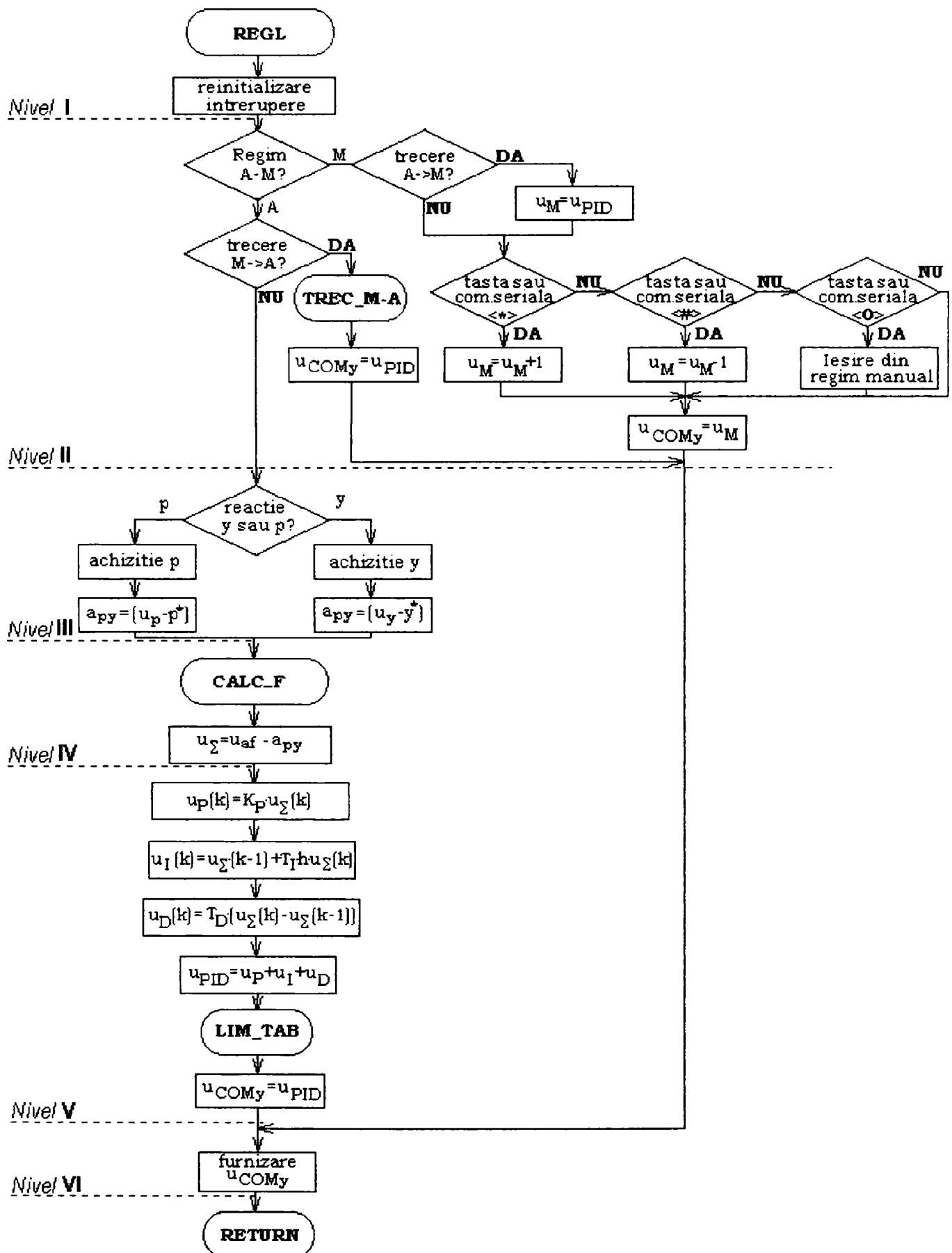


Fig.2.5.16. Ordinograma subrutinei "INT\_T0"

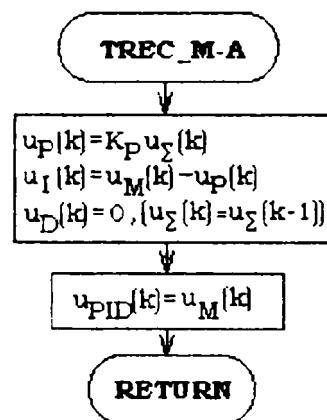
ordinograma subrutinei "TREC\_M-A" este redată în fig.2.5.17.

iii. rularea curentă a subrutinei este în regim manual dar rularea anterioară a fost în regim automat (simbolizat A-M).

În acest caz  $u_M$  ia valoarea lui  $u_{PID}$ .

iv. rularea curentă a subrutinei este în regim manual și rularea anterioară a fost în regim manual (simbolizat M-M).

În acest caz  $u_M$  este incrementat sau decrementat de la valoarea anterioară cu tastele <\*> respectiv <#> de la tastatură sau de la calculatorul la distanță.



**Fig.2.5.17.** Ordinograma subrutinei "TREC\_M-A"

- Nivelul III – este destinat calculului mărimii  $a_{py}$  prin selecția reacției<sup>1</sup> după p sau y, achiziția mărimii și execuția calculelor aferente (v. §2.5.2.1 /4).
- Nivelul IV – este destinat calculului lui f în subrutina "CALC\_F" (v.fig.2.5.5.b)), și a mărimii  $u_Σ$ .
- Nivelul V – corespunde executării algoritmului de reglare PID (v. §2.5.2.1. /6). Valoarea mărimii  $u_{PID}$  obținută este limitată la valoarea  $u_{COMy\_lim}$  obținută din tabelul TABEL\_LIM de limitare a deschiderii aparatului director în funcție de cădere. Deoarece  $u_{PID}$  are trei componente  $u_P$ ,  $u_I$  și  $u_D$ , este necesar ca limitarea lui  $u_{PID}$ , să fie făcută corelat cu limitarea componentelor sale (v. §2.5.2.3.).  
Apar trei situații:
  - i. Nici una dintre cele trei componente nu depășește valoarea  $u_{COMy\_lim}$  și suma lor,  $u_{PID}$ , nu depășește valoarea  $u_{COMy\_lim}$ ,
  - ii. Nici una dintre cele trei componente nu depășește valoarea  $u_{COMy\_lim}$  dar suma lor,  $u_{PID}$ , depășește valoarea  $u_{COMy\_lim}$ ,

<sup>1</sup> Reacția după deschidere este utilizată în principiu la faza de pornire a turbinei. După ce aceasta a ajuns la turația nominală și a fost conectată sarcina, se utilizează reacția după putere. În această variantă de regulator de viteză, operatorul are posibilitatea de a selecta reacția.

- iii. Cel puțin una dintre cele trei componente depășește valoarea  $u_{COMy\_lim}$ .

Situațiile sunt tratate astfel:

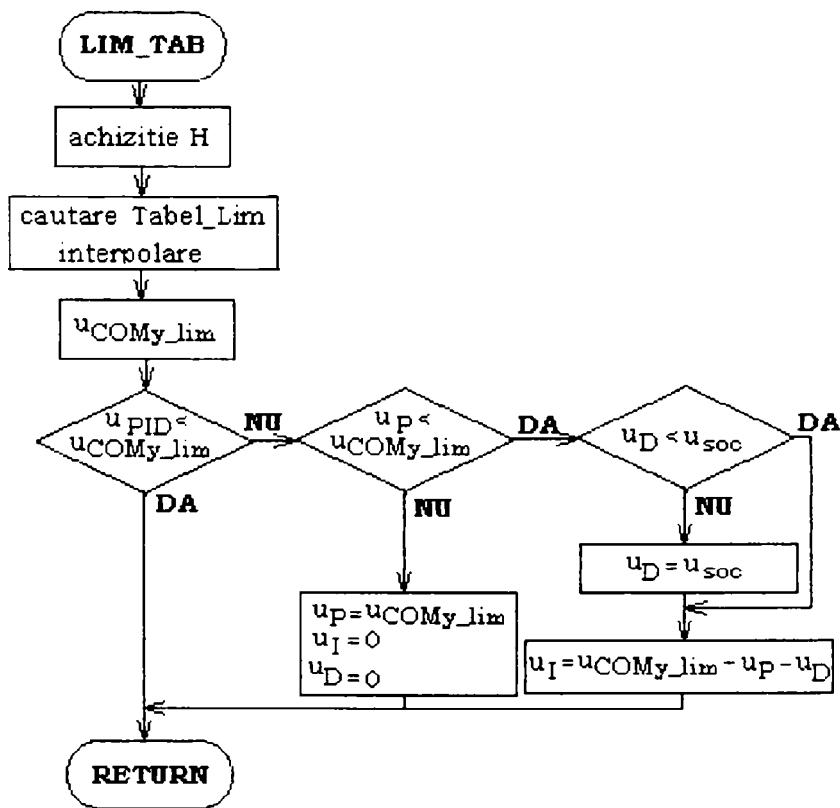
- i. Nu este necesară limitarea
- ii. a) Se compară componenta  $u_D$  cu o valoare denumită “valoare de șoc” notată  $u_{șoc}$  și care este definită în funcție de aplicație. Dacă  $u_{șoc}$  este depășită,  $u_D$  se limitează la  $u_{șoc}$ , altfel  $u_D$  nu se limitează.

b) Se recalculează  $u_{PID}$ .

c) Dacă  $u_{PID}$  depășește  $u_{COMy\_lim}$ , atunci se calculează suma  $u_P - u_D$ .

Dacă suma este mai mică decât  $u_{COMy\_lim}$ , atunci se limitează  $u_I$  la valoarea

$$u_I = u_{COMy\_lim} - u_P - u_D .$$



**Fig.2.5.18.** Ordinograma subrutinei “LIM\_TAB”

Dacă suma este mai mare decât  $u_{COMy\_lim}$ , atunci se limitează valoarea lui  $u_D$  la valoarea lui  $u_{COMy\_lim} - u_P$  și se dă lui  $u_I$  valoarea 0.

În ambele cazuri se asigură prin aceasta  $u_{PID} = u_{COMy\_lim}$ .

Prin limitarea în acest loc a lui  $u_I$  se elimină într-un mod foarte eficient și apariția fenomenului de agățare [NAN 94], [FER 97]

- iii. Dacă  $u_P$  este componenta ce depășește  $u_{COMy\_lim}$ , atunci se face limitarea  $u_P = u_{COMy\_lim}$ ,  $u_I = 0$ ,  $u_D = 0$ .  
Dacă  $u_I$  sau  $u_D$  depășesc  $u_{COMy\_lim}$ , atunci se rezolvă situația ca la punctul ii).

Operațiile aferente limitării se execută în subrutina "LIM\_TAB" prezentată în fig.2.5.18.

- Nivelul VI – asigură generarea și transmiterea tensiunii  $u_{COMy}$  blocului de putere (v. §2.5.2.4.)

#### **2.5.4.2. Structura "programului de inițializare" a variabilelor (parametri, mărimi).**

Programul are sarcina de a încărca în memoria EEPROM valorile inițiale ale variabilelor, valori de la care se face modificarea (incrementare sau decrementare) în meniurile programului principal. Structura sa este foarte simplă, constantele se încarcă secvențial în memoria EEPROM, nevolatilă, valorile rămânând încărcate și după ce modulul regulator nu mai este alimentat. De remarcat că la fiecare modificare a valorilor parametrilor și a mărimilor, noua valoare se reîncarcă în memoria EEPROM, prin urmare regulatorul repornește după oprire cu ultimul set de valori înscrise.

#### **2.5.4.3. Structura "programului tabel" de încărcare în EEPROM a valorilor tabelului TABEL\_LIM.**

Acest program înscrie secvențial în memoria EEPROM 128 de valori ale caracteristicii  $H \rightarrow u_{COMy\_lim}$ , valori ce rămân nemodificate până la o nouă rulare a acestui program cu alte valori. Ele sunt folosite în rutina "TAB\_LIM" pentru a genera valoarea limită pentru mărimea de ieșire  $u_{COMy}$ .

### **2.5.5. Managementul realizării modulului regulator**

În realizarea modului au fost parcurse două etape:

- proiectarea hardware și software a modulului pentru realizarea funcțiilor și sarcinilor regulatorului și a programului de implementare, prezentate în §4.2., 4.3. și 4.4.
- proiectarea metodologiei pentru punerea în funcțiune și validarea modulului regulator.

### 2.5.5.1 Proiectarea hardware și software pentru realizarea funcțiilor regulatorului

Schema bloc de principiu după care s-a realizat proiectarea este prezentată în fig.2.5.2.

1. Pornind de la funcțiile blocului regulator, a fost ales *echipamentul numeric* care poate îndeplini toate cerințele impuse, și anume o placă de dezvoltare cu microcontrolerul I80C552. Este o placă de uz general, dar care poate fi configurată pentru o gamă largă de aplicații (v. §4.4.1.).
2. A fost proiectată schema electronică a blocurilor de adaptare (BCA și BA, v. fig.2.5.3.).
3. A fost structurat programul de aplicație. A fost verificată corectitudinea logică și sintactică a programului, revenindu-se la rezolvarea fiecărei neconcordanțe cu sarcinile impuse.

### 2.5.5.2 Proiectarea metodologiei pentru punere în funcțiune și validare a regulatorului

1. A fost pus în funcțiune fiecare bloc funcțional prin următoarele operații:
  - verificare bloc măsură frecvență
  - verificare bloc de realizare a canalului P din legea de reglare cu limitări,
  - verificare bloc de realizare a canalului I din legea de reglare, cu limitări fără agățare,
  - verificare bloc de realizare a canalului D din legea de reglare cu limitări,
  - verificare limitări la ieșirea blocului PID,
  - accesarea și modificarea parametrilor și prescrierilor (variabile din memoria EEPROM).
2. A fost inițializată memoria EEPROM ce conține parametri și prescrieri (consemn).
3. A fost lansat întreg programul de aplicație și s-au verificat din nou toate blocurile de la pct 1.
4. Au fost aduse la intrările blocului regulator semnalele corespunzătoare mărimilor din proces:
  - frecvență (semnal de tensiune 5V vârf la vârf de formă impuls dreptunghiular),
  - reacție după poziție/putere (semnal de tensiune 5V vârf la vârf de formă impuls dreptunghiular),
  - nivel cădere apă (semnal de curent analogic 0-20mA),
 și au fost evidențiate pe osciloscop forma și caracteristicile răspunsului elementului PID, în condițiile în care parametrii regulatorului au fost modificați on-line.



## 2.6. Concluzii și contribuții

### 2.6.1. Concluzii

Pe baza documentării, comparării și analizei structurilor de reglare se pot trage următoarele concluzii:

1. Reglarea vitezei (turației, vitezei unghiulare) este unul din procesele importante care se derulează la nivelul de bază (nivel primar) în procesul mai complex al reglajului de frecvență dintr-un sistem electro-energetic.
2. Ca urmare a reglajului de viteză, turația grupului este menținută la valoarea corespunzătoare frecvenței din sistem, în condițiile furnizării puterii cerute de configurația sistemului și a necesarului dictat de consumatori.
3. Comisia Electrotehnica Internațională, forul care reglementează standardele de funcționare și încercare a grupurilor hidro-energetice, a stabilit parametri și structuri ce trebuie respectate de sistemele de reglare automată conectate la sistemul energetic [PRE 92-a], [PRE 92-b]. Printre parametri se află și staturile permanente și tranzitorii.
4. Structurile de sisteme de reglare automată a vitezei au evoluat, îndeplinind cerințele CEI, de la reglatoare mecano-hidraulice la electro-hidraulice și cel mai recent, reglatoare numerice. În acest din urmă caz, elementul de execuție este total separat de regulatorul numeric propriu-zis.
5. În țară, primele reglatoare automate de viteză utilizate la grupurile hidro-energetice au fost de tip mecano-hidraulic (RMH-85) și electro-hidraulic (REH-85 și REH-76M), servosistemul hidraulic fiind parte integrată a regulatorului, participantă la realizarea legii de reglare. În următoarea generație de reglatoare de viteză, servosistemul hidraulic este stabilizat electronic într-o buclă de reglare în cascadă. În acest caz, regulatorul propriu-zis are o lege de reglare, în general PID, iar servosistemul electro-hidraulic stabilizat poate fi considerat ca element de execuție distinct, deci parte componentă a procesului condus. Această structură foarte răspândită pe plan mondial este prezentă în teză prin cele 6 structuri analizate, oferite de diverse firme de renume, cu mici variațiuni de la una la alta. Nu se poate afirma că una dintre ele este mai performantă decât alta, diferențele dintre ele constând în modul în care realizează practic cerințe apropiate. Din punctul de vedere al implementării structurilor de reglatoare de viteză, toate acestea sunt în prezent de tip numeric, realizate cu un echipament de calcul și o interfață de proces.
6. În teză este prezentată o structură de regulator automat numeric, cu legea de reglare PID dezvoltată de autor în jurul unui echipament numeric. Pe lângă funcția sa principală de calcul a mărimii de ieșire conform legii de reglare, regulatorul îndeplinește și funcțiile de comutare automat-manual, de limitare deschidere, de modificare parametri și

modificare consemn, de comandă automată a pornirii și opririi, de monitorizare, de comandă la distanță.

Pentru realizarea acestui regulator numeric a fost ales un sistem cu microcontroler care satisface cerințele atât din punct de vedere al vitezei de lucru, al numărului de mărimi de intrare și ieșire implicate, cât și din punctul de vedere al volumului de calcule și variabile folosite. Pentru conectarea echipamentului de calcul la proces a fost proiectată și realizată o interfață cu rolul de adaptare a tipului și nivelului semnalelor de intrare la tipul și nivelul semnalelor acceptate de microcontroler, și de izolare electrică a acestora. Programul de aplicație a fost scris în limbajul C.

### **2.6.2. Contribuții**

1. Analiza comparativă a celor șase structuri de reglatoare PID provenind de la diverse firme,
2. Definirea sarcinilor și funcțiilor unui regulator numeric cu legea de reglare PID în vederea dezvoltării și implementării în aplicații,
3. Proiectarea și realizarea în totalitate a regulatorului numeric cu sistem cu microcontroler, ca model de laborator în cadrul unui contract cu UCM Reșița; modelul a fost recepționat de beneficiar după verificarea în laborator a tuturor funcțiilor sale și acceptat ca modul de dezvoltare a unui produs industrial.

### **Cap.3. Structură de regulator de turație bazat pe principiul buclei cu caracter integrator și reacție după deschidere permanent conectată**

În acest capitol este prezentat un regulator de turație a cărui structură a fost elaborată pornind de la două categorii de restricții:

- Utilizarea unei structuri bazate pe folosirea unui servosistem electrohidraulic stabilizat.
- Respectarea normelor IEE [IEC 97] impuse pentru caietul de sarcini al unui regulator de viteză pentru un hidrogenerator.

În primul paragraf sunt precizate sarcinile regulatorului de turație. În al doilea paragraf sunt expuse considerentele teoretice care stau la baza structurii propuse. Obiectul următorului paragraf îl constituie punctarea unor aspecte referitoare la metodologia de proiectare a regulatorului în variantă analogică, caracteristicile și funcționarea acestuia. Ultimul paragraf este destinat prezentării unei variante numerice de implementare a acestuia.

Regulatorul în variantă analogică a fost elaborat în anul 1994 de către un colectiv din care a făcut parte și autorul, în cadrul unui contract de cercetare cu S.C. U.C.M. Reșița S.A. [\*\*\* 94]. Structura analogică a fost implementată și experimentată în cooperare cu S.C. U.C.M. Reșița S.A. în intervalul 1997-1998. Prima implementare practică s-a realizat la CHE Herculane (1998), iar a doua la CHE Dicle-Turcia (1999), având până acum mai multe zeci de mii de ore de funcționare cu performanțe apreciate de utilizator. Varianta numerică este în faza de implementare și face de asemenea obiectul unei colaborări între Universitatea "Politehnica" din Timișoara și S.C. U.C.M. Reșița S.A.

#### **3.1 Sarcinile regulatorului de turație**

Conform caietului de sarcini al regulatorului de turație, acesta trebuie să îndeplinească următoarele cerințe:

- 1] să realizeze un statism permanent după deschidere conform definiției în norme [IEC 97].
- 2] să realizeze un statism permanent după putere conform definiției în norme,
- 3] să realizeze un statism tranzitoriu conform definiției în norme,
- 4] să permită realizarea și comutarea "între" sau "pe" următoarele regimuri de funcționare:
  - regim de conducere automată/manuală
  - regim de comandă locală/externă
  - regim de funcționare în sarcină/gol

### 3.2. Structuri cu comportare de tip integrator

Structura de regulator de turație prezentată în acest capitol se bazează pe conceptul de *sistem cu comportare de tip integrator* [DRA 01]. Opțiunea s-a făcut având în vedere că subsistemele cu comportare de tip integrator produc din punct de vedere practic, într-un sistem de reglare automată stabil, o echilibrare staționară bine controlată a mărimilor de intrare.

În esență este vorba de situația care se întâlnește în buclele de reglare convenționale stabilizate prin variante ale reguletoarelor PID cu componenta integratoare, reguletoare a căror intrare ia în regim staționar valoarea zero.

Subsistemele cu reacție cu comportare de tip integrator se comportă în principiu ca și un bloc integrator. În particular, bucla cu comportare de tip integrator se poate realiza cu elemente care nu sunt de tip integrator (P, PT1, etc) caz în care eventuala ei întrerupere se soldează, la nivel de subsistem cu o structură stabilă. Utilizarea unei astfel de soluții în cazul de față s-a datorat în principal necesității respectării explicite a condițiilor IEE menționate în paragraful anterior și posibilității de integrare în buclă, ca elemente componente, a servosistemului electro-hidraulic stabilizat.

#### 3.2.1. Elemente referitoare la sisteme cu comportare de tip integrator

##### 3.2.1.1 Aspecte generale

Un sistem cu orientarea  $u \rightarrow y$  este de tip integrator dacă

$$y(t) = y(t_0) + \int_{t_0}^t u(t)dt \quad (3.2-1).$$

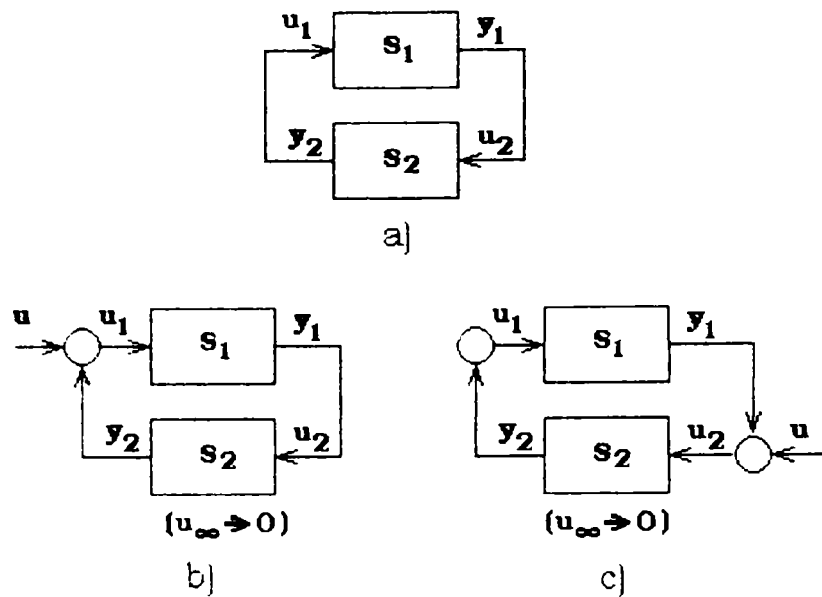
Sistemul integrator impune în regim permanent condiția

$$u(t) = u_x = 0. \quad (3.2-2)$$

Generalizând, se consideră că un sistem are caracter integrator dacă în regim permanent prezența lui impune respectarea condiției (3.2-2), iar în regim dinamic, în vecinătatea punctului de funcționare respectiv comportarea este caracterizată cu aproximație printr-o dependență de tip (3.2-1).

Caracterul de sistem integrator poate fi realizat în diferite moduri. Unul dintre acestea pleacă de la structura cu caracter autonom din fig.3.2.1.a în care cele două blocuri, notate cu  $S_1$  și  $S_2$ , sunt fiecare stabile și au coeficienții de transfer  $K_1$  și  $K_2$ , astfel încât

$$K = K_1 K_2 = 1. \quad (3.2-3)$$



**Fig.3.2.1.** Conexiune de două blocuri cu comportament integrator

Dacă sistemele sunt lineare atunci  $K_1$  și  $K_2$  sunt fiecare constante. Dacă sistemele sunt nelineare, atunci  $K_1$  și  $K_2$  depind de punctul de funcționare. Astfel, dacă blocurilor  $S_1$  și  $S_2$  le corespund în regim staționar caracteristicile  $y_1 = f_1(u_1)$ , respectiv  $y_2 = f_2(u_2)$ , atunci, pentru a se realiza condiția (3.2-3)  $f_2$  va fi inversa funcției  $f_1$  ( $f_2=f_1^{-1}$ ). Trebuie observat că avem de a face în ansamblu cu o structură cu reacție pozitivă indiferent de modul în care se consideră calea directă și calea de reacție (o aprofundare teoretică a problemei se găsește în [DRA 02]).

Calitativ, caracterul integrator rezultă din impunerea condiției că amplificarea  $K$  a buclei din fig.3.2.1.a este unitară, ca urmare, în cazul când asupra ei acționează o mărime externă  $u$  ca în fig.3.2.1.b sau fig.3.2.1.c, bucla poate atinge o stare de echilibru, respectiv se poate găsi în regim permanent constant numai dacă mărimea de intrare  $u$  este nulă, deci dacă este satisfăcută condiția (3.2-2). Altfel, mărimile din sistem vor prezenta variații care teoretic pot fi de amplitudine infinită, iar practic - în cazul unor sisteme fizice - vor determina saturarea cel puțin a ieșirii unuia dintre cele două subsisteme  $S_1$  și  $S_2$ .

Cantitativ, problema poate fi abordată de o manieră mai generală, după cum sistemele sunt lineare sau nelineare.

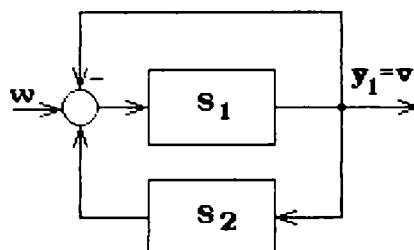
În următoarele două secțiuni se detaliază aspectele calitative și se dezvoltă într-o variantă simplificată unele aspecte cantitative. Dezvoltările acoperă aplicația abordată în teză prin faptul că regulatorul de viteză pentru turbine hidraulice este construit în jurul buclei cu caracter integrator.

### 3.2.1.2. Detalierea unor aspecte calitative referitoare la sistemele cu comportare de tip integrator

Buclele cu comportare de tip integrator pot servi, în principiu, pentru controlul oricărei mărimi  $v$  care contribuie la transferul serial al informației din buclă. Principiul este ilustrat în fig.3.2.2 în care  $S_1$  și  $S_2$  sunt sistemele

din fig.3.2.1,  $v = y_1$  este mărimea care trebuie controlată, iar  $w$  este mărimea de conducere. În acest caz rolul mărimii  $u$  din relația (3.2-2) este jucat de diferența  $w-v$ :

$$u = w - v \quad (3.2-4)$$



**Fig.3.2.2.** Variantă primară de utilizare a buclei cu caracter integrator pentru controlul staționar rigid al unei mărimi din lanțul serial în care se include bucla

Dacă prin reacția realizată după  $y_1$  schema rezultată este stabilă, atunci pentru  $K = 1$  ea realizează în regim permanent constant în mod automat condiția (3.2-2), deci

$$v = y_1 = w, \quad (3.2-5)$$

ceea ce înseamnă că  $v$  ia tocmai valoarea prescrisă. În cazul real,  $K \neq 1$  astfel că schema realizează în regim permanent constant

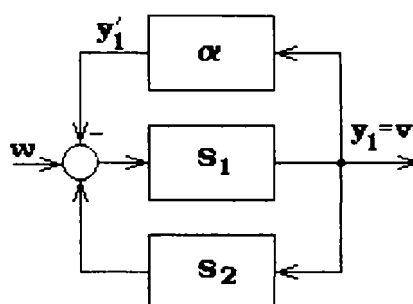
$$v = y_1 = \frac{1}{1 - \frac{K}{K_1}} \cdot w, \quad (3.2-6)$$

ceea ce înseamnă o eroare de reglare staționară relativă de valoare

$$\varepsilon_v = \frac{w - v}{w} = \frac{K - 1}{K_1}. \quad (3.2-7)$$

Este important de subliniat că în cazurile practice abordate în teză  $K_1 \gg K$  și ca urmare erorile, cauzate de abaterile de linearitate, sunt foarte mici, neglijabile (v. paragraful §3.2.1.3.).

Schema din fig.3.2.2. este un caz particular al schemei din fig.3.2.3 care realizează reacția după  $v = y_1$  printr-un element de transfer proporțional cu amplificarea  $\alpha$  generalizând capabilitatea schemei din fig.3.2.2 prin înlocuirea dependențelor (3.2-5) și (3.2-6) respectiv cu



**Fig.3.2.3.** Variantă primară de utilizare a buclei cu caracter integrator pentru controlul staționar ajustabil prin amplificarea  $\alpha$ , al unei mărimi din lanțul serial în care este inclusă bucla

$$v = y_1 = \frac{1}{\alpha} \cdot w, \tag{3.2-5'}$$

și

$$v = y_1 = \frac{1}{\alpha - \frac{1-K}{K_1}} \cdot w. \tag{3.2-6'}$$

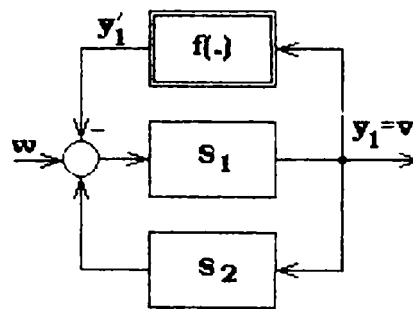
Prin intermediul parametrului  $\alpha$ , ajustabil, se poate asigura o modificare controlabilă a coeficientului de transfer al sistemului la fel ca și în cazul schemei electronice a unui amplificator operațional ideal cu reacție.

În fig.3.2.4 și fig.3.2.5 apar extensii ale ideii din fig.3.2.3. În primul caz reacția de control a ieșirii  $v = y_1$  se face printr-un element nelinear la a cărei ieșire apare mărimea  $y_1' = f(y_1)$ . Schema forțează condiția staționară

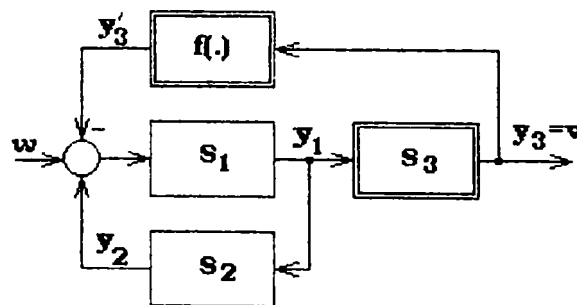
$$f(y_1) = w, \tag{3.2-8}$$

iar dacă  $f$  este inversabilă, condiția

$$v = y_1 = f^{-1}(w). \tag{3.2-9}$$



**Fig.3.2.4.** Extensie de utilizare a buclei cu caracter integrator pentru controlul staționar ajustabil prin  $f(\cdot)$ , al unei mărimi din lanțul serial în care este inclusă bucla



**Fig.3.2.5.** O a doua extensie de utilizare a buclei cu caracter integrator pentru controlul staționar ajustabil prin  $f(\cdot)$ , al unei mărimi din lanțul serial în acerește inclusă bucla

În al doilea caz  $S_3$  este un subsistem inerțial, stabil, cu caracteristica de transfer de regim permanent constant

$$y_3 = f_3(y_1). \tag{3.2-10}$$

Sistemul poate să servească pentru reglarea mărimii  $v = y_3$  la valoarea

$$v = y_3 = f^{-1}(w) \quad (3.2-11)$$

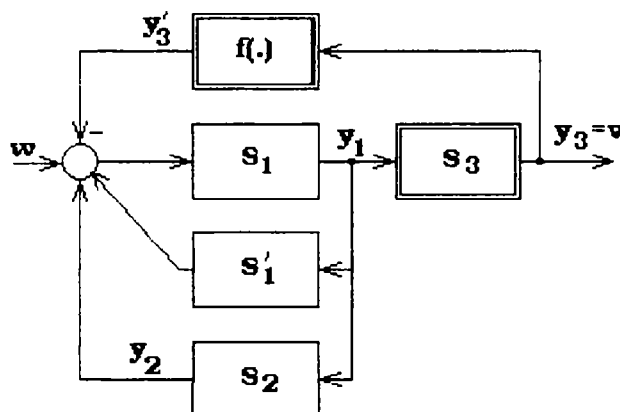
folosind o comandă

$$y_1 = f_3^{-1}(y_3) \quad (3.2-12)$$

generată de bucla  $S_1 - S_2$  cu comportare de tip integrator, sau pentru reglarea mărimii  $y_1$  la valoarea

$$y_1 = f_3^{-1}(f^{-1}(w)). \quad (3.2-13)$$

Extensia din fig.3.2.6 adaugă la cea din fig.3.2.5, subsistemul  $S_1'$  care este de tip derivator. Prin introducerea lui se modifică *dinamica* buclei cu caracter integrator în condițiile păstrării dependențelor (3.2-11) și (3.2-12) sau (3.2-13).



**Fig.3.2.6.** O extensie de utilizare a buclei cu caracter integrator pentru controlul ajustabil staționar și dinamic al unei mărimi din lanțul serial

În cazul când  $S_1'$  este un subsistem linear în timp continuu el poate fi caracterizat prin funcții de transfer de forma  $H_{S_1'}(s) = \frac{K_{S_1'} \cdot s}{1 + T_{S_1'} s}$  sau

$H_{S_1'}(s) = \frac{K_{S_1'} \cdot s}{(1 + T_{S_{11}} s) \cdot (1 + T_{S_{12}} s)}$ . Parametrul  $K_{S_1'}$ , ajustabil, servește pentru

modificarea controlată a dinamicii sistemului.  $T_{S_1'}$ ,  $T_{S_{11}}$  și  $T_{S_{12}}$  sunt constante de timp. În cazul când  $S_1'$  este un sistem linear în timp discret el

poate avea funcții de transfer de forma  $H_{S_1'}(z) = \frac{K_{S_1'} \cdot (z-1)}{z-a}$  sau

$H_{S_1'}(z) = \frac{K_{S_1'} \cdot (z-1)}{(z-a_1)(z-a_2)}$ ,  $a$ , sau  $a_1$  și  $a_2$  fiind polii acestui bloc.

Șirul extensiilor poate fi continuat înglobând bucla cu caracter integrator în diferite structuri de reglare.

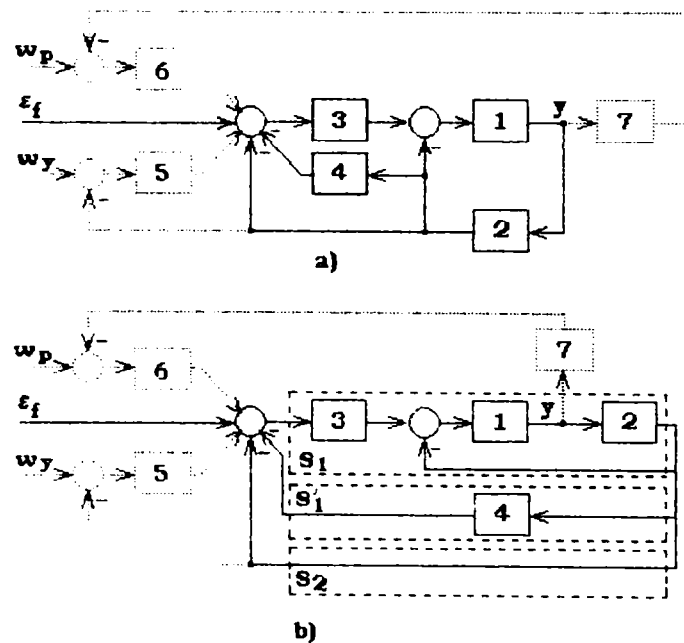
În fig.3.2.7.a. este prezentată o structură de sistem de reglare de vitezei turbinei unui hidrogenerator, în care blocurile au următoarea semnificație:



1. Servosistem electro-hidraulic stabilizat (SSEH stabilizat),
2. Bloc amplificator,
3. Bloc amplificator,
4. Bloc amplificator,
5. Bloc măsură frecvență,
6. Bloc măsură putere,
7. Aducțiune+turbină+hidrogenerator.

În fig.3.2.7.b. este reprezentată aceeași structură cu blocurile aranjate sub o formă ce permite identificarea elementelor din structura prezentată fig.3.2.6. Prin adoptarea corectă a valorilor parametrilor ajustabili din blocurile 3, 1 și 2 se poate obține o structură cu comportament integrator, prin adoptarea adecvată a blocului 4 stătimele tranzitoriu, iar prin blocurile 5 și 6 stătimele permanente după deschidere, respectiv putere. Structura are astfel capacitatea de a asigura performanțele impuse sistemului.

Principial, prezentarea altor cazuri de extensie nu mai poate aduce în discuție elemente noi din punctul de vedere al buclei cu caracter integrator. Este important de realizat faptul că utilizarea unei astfel de bucle, sub una dintre formele prezentate în paragraful anterior și în una din structurile din fig.3.2.7. este consecință în primul rând a unor considerente de natură practică. Un astfel de caz este prezentat în paragraful 3.3.



**Fig.3.2.7.** Exemplu de utilizare a structurii cu caracter integrator într-un sistem de reglare automată

### 3.2.1.3. Abordarea cantitativă a elementelor cu comportare de tip integrator în cazul linear

În fig.3.2.8 este reluată structura din fig.3.2.1.a (cu respectarea condiției din relația 3.2-3), pentru cazul în care  $S_1$  și  $S_2$  sunt sisteme lineare în timp continuu cu funcțiile de transfer

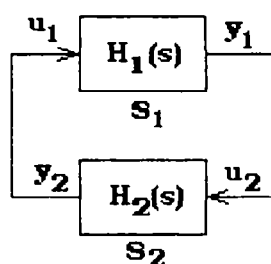
$$H_i(s) = \frac{b_{im}s^m + \dots + b_{i1}s + b_{i0}}{a_{in}s^n + \dots + a_{i1}s + a_{i0}}, \quad a_{i0} \neq 0, b_{i0} \neq 0, i = \overline{1,2}. \quad (3.2-14)$$

În consecință  $K_i = \frac{b_{i0}}{a_{i0}}, i = \overline{1,2}$ . iar polinomul caracteristic al sistemului

(3.2-14), (numărătorul  $P_1(s)$  al expresiei  $1 + H_1(s) \cdot H_2(s) = \frac{P_1(s)}{P_2(s)}$ ) rezultă cu

termenul liber nul:

$$a_{10}a_{20} + b_{10}b_{20} = a_{10}a_{20}\left(1 + \frac{b_{10}}{a_{10}} \cdot \frac{b_{20}}{a_{20}}\right) = a_{10}a_{20}(1 + K_1 \cdot K_2) = 0.$$



**Fig.3.2.8.** Particularizarea structurii din fig.3.2.1.a în cazul:  $S_1$  și  $S_2$  - sisteme lineare în timp continuu

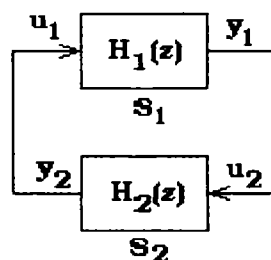
Deci polinomul admite ca rădăcină pe  $s = 0$ , ceea ce înseamnă că

$$P_1(s) = sP_1'(s).$$

În consecință, indiferent care este orientarea  $u \rightarrow y$  a buclei (vezi situațiile din fig.3.2.1.b. și fig.3.2.1.c., fig.3.2.2- fig.3.2.6.), aceasta se va comporta ca un sistem de tip integrator având funcția de transfer de forma

$$H_{uy}(s) = \frac{P_3(s)}{s \cdot P_1'(s)}, \quad (3.2-15)$$

în care  $P_3(s)$  este un polinom dependent de caracterul concret al subsistemelor  $S_1$  și  $S_2$ .



**Fig.3.2.9.** Particularizarea structurii din fig.3.2.1.a în cazul:  $S_1$  și  $S_2$  - sisteme lineare în timp discret

Analog, se consideră pentru cazul în timp discret structura din fig.3.2.9. în care  $H_i(z) = \frac{b_{im}z^m + \dots + b_{i1}z + b_{i0}}{a_{in}z^n + \dots + a_{i1}z + a_{i0}}$ ,  $i = \overline{1,2}$ . În consecință, amplificările

luate în considerare sunt

$$K_i = \frac{\beta_i}{\alpha_i}, i = \overline{1,2} \text{ unde } \alpha_i = \sum_{k=0}^{k=n} a_{ik}, \beta_i = \sum_{k=0}^{k=m} b_{ik}, i = \overline{1,2}, \alpha_i \neq 0, \beta_i \neq 0, .$$

Suma coeficienților polinomului caracteristic (numărătorul  $P_1(z)$  al expresiei  $1 + H_1(z) \cdot H_2(z) = \frac{P_1(z)}{P_2(z)}$ ) fiind nulă,

$$\alpha_{10}\alpha_{20} + \beta_{10}\beta_{20} = \alpha_{10}\alpha_{20}\left(1 + \frac{\beta_{10}}{\alpha_{10}} \cdot \frac{\beta_{20}}{\alpha_{20}}\right) = \alpha_{10}\alpha_{20}(1 + K_{10} \cdot K_{20}) = 0,$$

polinomul admite, potrivit teoremei lui Bezout, rădăcina  $z = 1$ . Deci

$$P_1(z) = (z-1)P'_1(z),$$

iar bucla se va comporta, indiferent de orientarea ei ca un sistem de tip integrator. Omoloaga relației (3.2-15) este

$$H_{S_i}(z) = \frac{P_3(z)}{(z-1)P'_1(z)}, \quad (3.2-16)$$

în care  $P_3(z)$  este un polinom dependent de caracterul concret al subsistemelor  $S_1$  și  $S_2$ .

Din punct de vedere practic este important de observat că întregul raționament se bazează pe condiția (3.2-3) și este necesar să se sublinieze faptul că, indiferent de caracterul sistemului (timp continuu/timp discret, respectiv analogic/digital), ea poate fi îndeplinită numai cu aproximație. Practic

$$K = K_1 \cdot K_2 \neq 1, \quad (3.2-17)$$

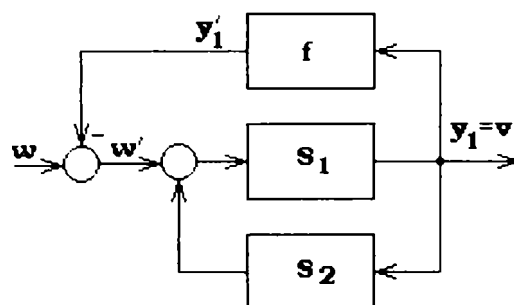
iar efectul îl constituie faptul că sistemul va prezenta o comportare de tip *cvasüintegratoare*. Pentru exemplificare se consideră situația din fig. 3.2.4. restructurată sub forma din fig.3.2.10., în care  $f$  este tot un bloc linear, în particular

$$H_{S1}(s) = \frac{1}{0.5s+1} \cdot \frac{1}{s+1}, H_{S2}(s) = \frac{3 \cdot K}{s+3}, f(s) = \frac{1}{s^2 + 3 \cdot s + 1}.$$

În acest caz  $K_1 = 1, K_2 = K,$

$$H_A(s) = \frac{y_1(s)}{w'(s)} = \frac{s+3}{0.5 \cdot s^3 + 3 \cdot s^2 + 5.5s + 3 - 3 \cdot K}$$

$$H(s) = \frac{y_1(s)}{w(s)} = \frac{s^3 + 6 \cdot s^2 + 10 \cdot s + 3}{0.5 \cdot s^5 + 7.5 \cdot s^4 + 15 \cdot s^3 + (22.5 - K) \cdot s^2 + (15.5 - 9 \cdot K) \cdot s + (6 - 3 \cdot K)}$$



**Fig.3.2.10.** Exemplu pentru calculul abaterii ieșirii la modificarea lui K

Dacă este îndeplinită condiția  $K=1$  (3.2-3), atunci caracterul integrator este evident, deoarece

$$H_A(s) = \frac{y_1(s)}{w'(s)} = \frac{s+3}{s(0.5 \cdot s + 3 \cdot s + 5.5)}$$

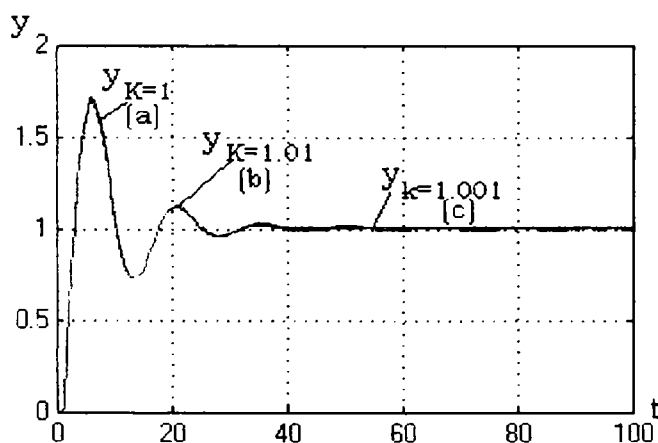
Dacă însă  $K \neq 1$ , luând o valoare apropiată de aceasta, atunci amplificarea  $H_A(0) = \frac{1}{1-K}$  are o valoare cu atît mai mare cu cît K este mai apropiat de 1 și în consecință  $y_1' \approx w$  adică  $y_1$  are valoarea prescrisă prin w.

De exemplu, pentru  $K=1.01$ , adică o abatere de 1%, amplificările sunt de  $H_A(0) = \frac{3}{3-3 \cdot 1.01} = \frac{3}{0.03} \cong 100$ , iar  $H(0) = \frac{3}{2.97} \cong 1.01$  (față de  $H(0)=1$ , diferența este de  $\cong 0.01$ , reprezentând 1%). Pentru o abatere de 0.1%, amplificările sunt de  $H_A(0) = \frac{3}{3-3 \cdot 1.001} = \frac{3}{0.003} \approx 1000$ , iar

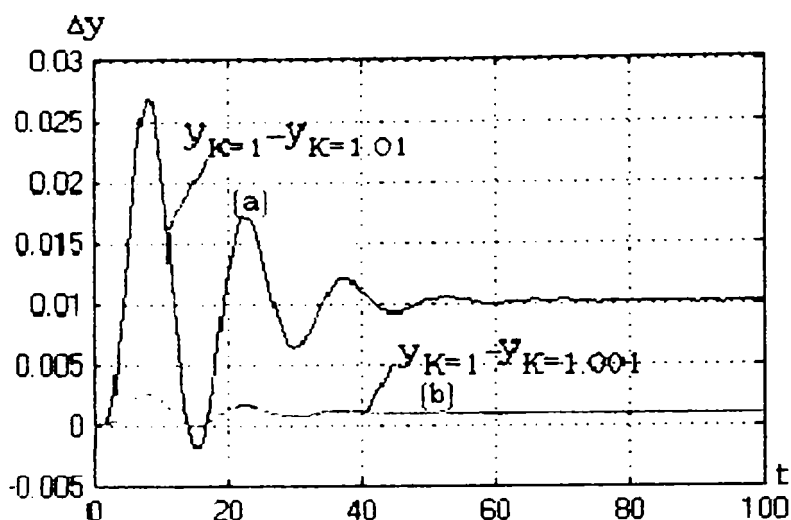
$H(0) = \frac{3}{2.997} \cong 1.001$  (față de  $H(0)=1$ , diferența este de  $\cong 0.001$ , reprezentând

0.1%) În fig.3.2.11 prin curba a) este redată variația în timp a ieșirii  $y_{K=1}(t)$ , prin curba b) este redată variația în timp a ieșirii  $y_{K=1.01}(t)$ , iar prin curba c) este redată variația în timp a ieșirii  $y_{K=1.001}(t)$ . În fig.3.2.12 prin curba a) este redată variația în timp a abaterii

$y_{K=1}(t) - y_{K=1.01}(t)$  iar prin curba b) este redată variația în timp a abaterii  $y_{K=1}(t) - y_{K=1.001}(t)$  în cazul aplicării unui semnal treaptă  $w=\sigma(t)$ .



**Fig.3.2.11.** Ieșirile sistemului în cazurile (a)  $K=1$ , (b)  $K=1.01$ , (c)  $K=1.001$

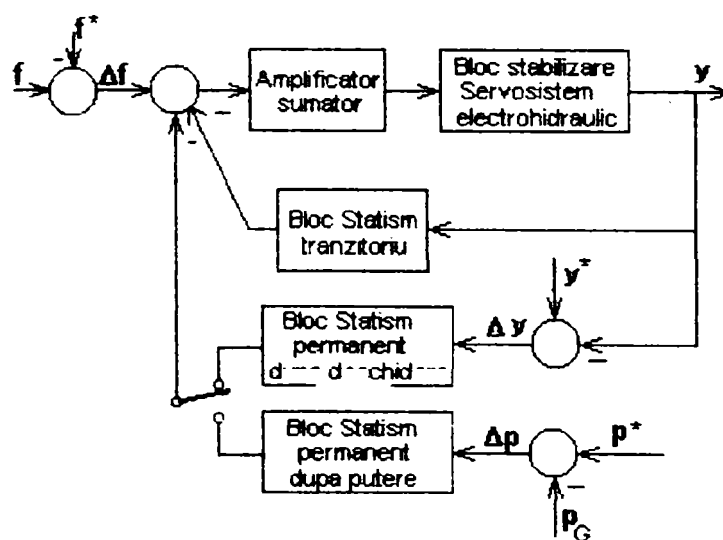


**Fig.3.2.12.** Abaterea ieșirii în cazurile (a)  $K=1.01$  și (b)  $K=1.001$  față de cazul  $K=1$

În consecință, din punct de vedere practic rezultă o robustețe a caracterului integrator al structurii.

### 3.3 Structura de principiu a regulatorului de turație

Regulatele de turație/frecvență folosite pentru hidroagregate reprezintă structuri hibride din punct de vedere constructiv. În acest sens o caracteristică sistemică distinctivă a regulatelelor de turație/frecvență o constituie includerea elementului de execuție - de natură electrohidraulică - în structura lor. [FLO 83], [BĂL 01], [PRE 92-a], [PRE 92-b]. Acelor echipamente, realizate inițial analogic, iar în prezent preponderent numeric, li se impune realizarea unor parametri prin intermediul cărora să se poată controla în foarte bune condiții turația și/sau puterea activă ale hidrogeneratorului pe care îl deservește [IEC 97].



**Fig.3.3.1.** Structura de principiu a regulatorului de turație

În fig. 3.3.1 este prezentată structura de principiu a regulatorului de turație menționat în preambulul acestui capitol. Structura evidențiază 4 blocuri funcționale:

1. *blocul de stabilizare a servosistemului electro-hidraulic,*
2. *blocul de realizare a statismului permanent după deschidere,*
3. *blocul de realizare a statismului tranzitoriu după deschidere*
4. *blocul de realizare a statismului după putere.*

### 3.3.1 Blocul de stabilizare a servosistemului electro-hidraulic

Blocul conține în principal două canale de reacție cu funcție de stabilizare:

- a) canalul de stabilizare a poziției  $z$  a sertarului distribuitor
- b) canalul de stabilizare a poziției  $y$  a aparatului director.

Cele două canale realizează o structură în cascadă, cu bucla de poziție a sertarului distribuitor subordonată buclei de poziție a aparatului director.

- Bucla de stabilizare a poziției sertarului distribuitor conține convertorul electro-hidraulic (CEH), variometrul sertarului distribuitor împreună cu filtrul aferent (VAR SD) și canalul SSD (stabilizare sertar distribuitor). Mărimea de intrare în buclă este  $U_z^*$  (semnal de conducere a mișcării sertarului distribuitor). Mărimea de ieșire a canalului SSD este tensiunea  $U_{CEH}$  (semnal de comandă a mișcării sertarului distribuitor), iar mărimea de ieșire a buclei este  $z$  (poziția sertarului distribuitor).

În componența acestei bucle intră elementele:

- un filtru de tip PT2 de amplificare  $K_{ZE}$  cu rolul de a adapta domeniul de variație al mărimii mecanice  $z$  la domeniul de lucru al circuitelor electronice și de a filtra perturbațiile parazite induse pe canalul de măsură
- un comparator, care furnizează diferența mărimilor  $U_z$  (semnal de reacție după poziția sertarului distribuitor) și  $U_z^*$ .
- un element proporțional, de amplificare  $K_1$ , care asigură o comportare cvasiselectivă a buclei, permițând o funcționare în regim liniar doar într-o plajă de  $[-0.33\%, 0.33\%]$  din cursa totală a sertarului distribuitor în vecinătatea valorii prescrise  $U_z^*$ .

În exteriorul plajei menționate, bucla funcționează în regim neliniar asigurând o deplasare de viteză constantă a sertarului distribuitor. În plaja menționată, comportarea buclei orientată de la  $U_z^*$  la  $z$ , poate fi modelată în mod simplificat printr-un element de tip PT1 cu funcția de transfer de forma

$$H_z(s) = \frac{K_z^*}{1 + T_z \cdot s} \quad (3.3-1)$$

- Bucla de stabilizare a poziției aparatului director conține bucla de stabilizare a poziției sertarului distribuitor, variometrul aparatului director împreună cu filtrul aferent (VAR AD) și canalul SAD (stabilizare aparat director). Mărimea de intrare în buclă este  $U_y^*$

(semnal de conducere a poziției aparatului director furnizat de regulator). Mărimea de ieșire a canalului SAD este tensiunea  $U_z^*$  iar mărimea de ieșire a buclei este  $y$  (poziția aparatului director).

În componența acestei bucle intră elementele:

- un filtru de tip PT2 de amplificare  $K_{yE}$  ce asigură variația liniară a tensiunii  $U_y$  (semnal de reacție după poziția sertarului distribuitor) în domeniul său de variație atunci când  $y$  parcurge întreg domeniul său de variație (în cazul particular [0 mm, 400 mm]),
- un comparator, care furnizează diferența mărimilor  $U_y^*$  și  $U_y$ .
- un element proporțional cu rol de regulator, de amplificare  $K_2$ , asigură încadrarea erorii de poziționare a aparatului director, datorită insensibilității servomecanismului, în plaja [-0.5%, 0.5%] din cursa totală a aparatului director.

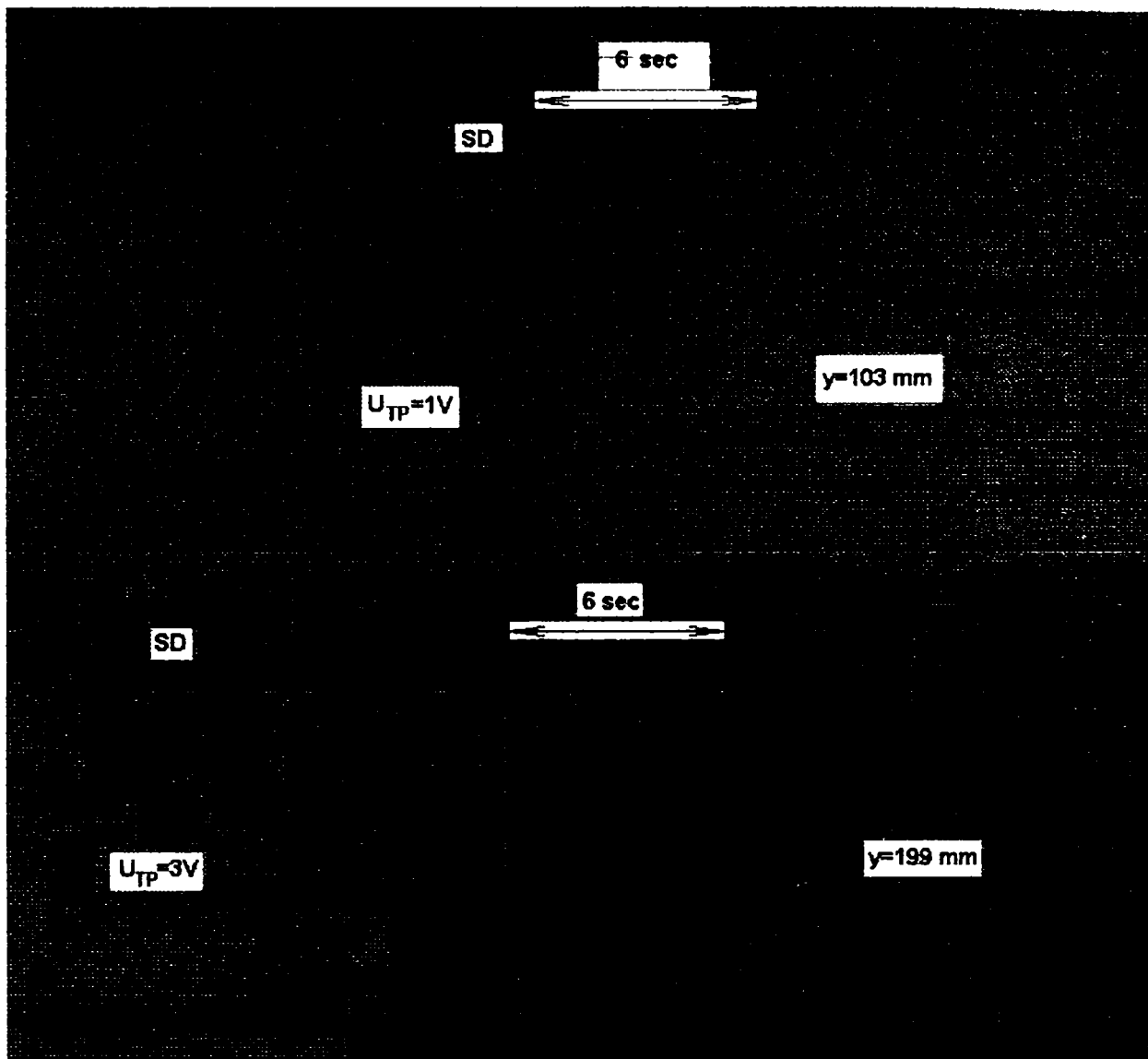
Urmărind studiile din [PRE 81], [PRE 82], [DRA 96], [NAN 98] și analizând interacțiunile ce apar într-un servosistem electro-hidraulic, am considerat că rezultatul construcției unui model informațional plecând de la modelele tuturor părților componente nu este realist, din cauza numeroaselor neliniarități și a interacțiunilor complexe.

Modelele existente în literatură, modele de aproximare, au permis sinteza unor structuri în cascadă, cu reacție după  $z$  și  $y$  stabile, cu performanțe staționare bine controlabile din punct de vedere tehnic [PRE 86]. În literatură nu există metode care din punct de vedere dinamic să argumenteze riguros proiectarea blocului de stabilizare. Aceasta se datorează neliniarității pronunțate a procesului condus.

În aceste condiții am considerat că din punctul de vedere al proiectării regulatorului și a simulării comportamentului sistemului de reglare, este potrivită modelarea comportamentului sistemului stabilizat pe baza înregistrărilor experimentale. Pentru acest scop, am folosit înregistrări ale semnalelor de intrare și ieșire ale servosistemului electro-hidraulic stabilizat, efectuate pe standul de încercări de la UCM Reșița. În fig.3.3.2. sunt prezentate câteva înregistrări considerate relevante din punctul de vedere al modelării. Ele ilustrează răspunsurile  $z$  și  $y$  ale sistemului stabilizat la variații treaptă de diferite amplitudini și polarități ale semnalului  $u_y^*$ .

Se constată că sistemul este neliniar. El este liniarizabil în anumite condiții și în vecinătatea unor puncte de funcționare.

Dependent de amplitudinea semnalului  $u_y^*$  ( $U_{TP}$  în figură), în funcționare apar atât regimuri liniare la mici variații cât și regimuri neliniare la mari variații.



**Fig.3.3.2.** Răspunsul servosistemului electro-hidraulic stabilizat la prescriere de 1V respectiv 3V

Sistemul stabilizat prezintă histerezis, în sensul că la variații într-un sens și în altul ale mărimii de intrare are comportări diferite.

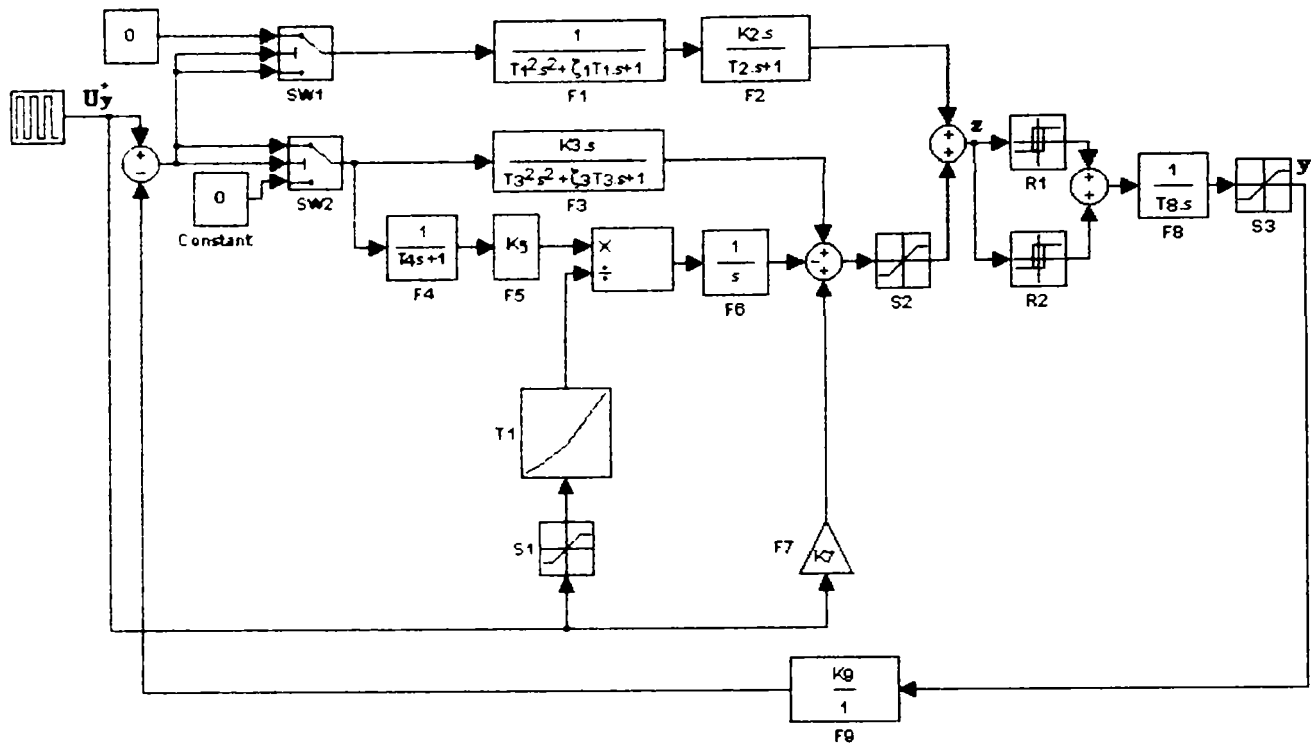
Înregistrările reținute în cazul de față evidențiază patru probe:

- proba (A) corespunzătoare unei variații de 1V a lui  $u_y^*$  (de la 0V la 1V) având un regim de funcționare cu comportare liniară,
- proba (B) corespunzătoare unei variații de 3V (de la 0V la 3V) a lui  $u_y^*$  având un regim de funcționare cu comportare neliniară,
- proba (C) corespunzătoare unei variații de -1V (de la 1V la 0V) a lui  $u_y^*$  având un regim de funcționare cu comportare liniară,
- proba (D) corespunzătoare unei variații de -3V (de la 3V la 0V) a lui  $u_y^*$  având un regim de funcționare cu comportare neliniară.

În contextul de mai sus, autorul a elaborat pe baza unui număr mare de înregistrări, modelul neliniar al servosistemului electro-hidraulic stabilizat prezentat prin schema Simulink din fig.3.3.3. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Comutatoarele SW1, SW2 comută la modificarea polarității bornei de intrare mediane.





**Fig.3.3.3.** Modelul matematic nelinier al servosistemului electro-hidraulic stabilizat

Diferitele canale din model corespund în principiu și redau funcționarea celor 4 regimuri la care se referă probele A, B, C, D din diagrama de mai sus astfel:

Pentru mărimea  $z$ :

- Subsistemul format din blocurile SW2, F3, F4, F5, F6, F7, T1, S1, S2 modelează comportarea la variații pozitive ale semnalului de intrare  $u_y^*$ . Blocul liniar F3 surprinde oscilațiile amortizate ale lui  $z$  din momentele imediat următoare aplicării trepte de intrare. Prin S1 se face distincția între variațiile mici și variațiile mari ale mărimii de intrare.
- Canalul SW1, F1, F2 modelează comportarea la variații negative ale semnalului de intrare  $u_y^*$ . Blocul F1 surprinde oscilațiile amortizate ale lui  $z$  din momentele imediat următoare aplicării trepte de intrare. Conexiunea F1, F2 are funcția de transfer de forma

$$\frac{K_2 \cdot s}{(T_1^2 \cdot s^2 + \zeta \cdot T_1 \cdot s + 1)(T_2 \cdot s + 1)}$$

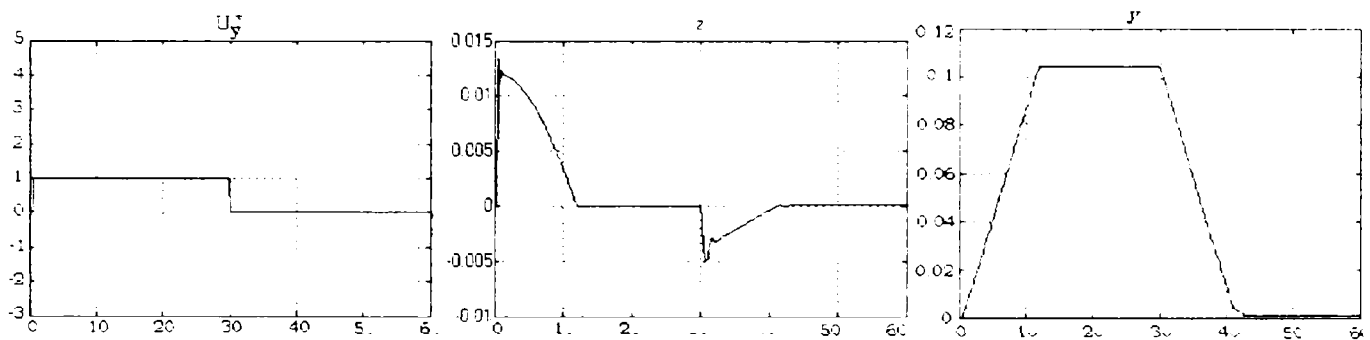
Pentru mărimea  $y$ :

- Canalul R1, R2, F8 și S3 modelează comportarea ieșirii în toate regimurile de funcționare.

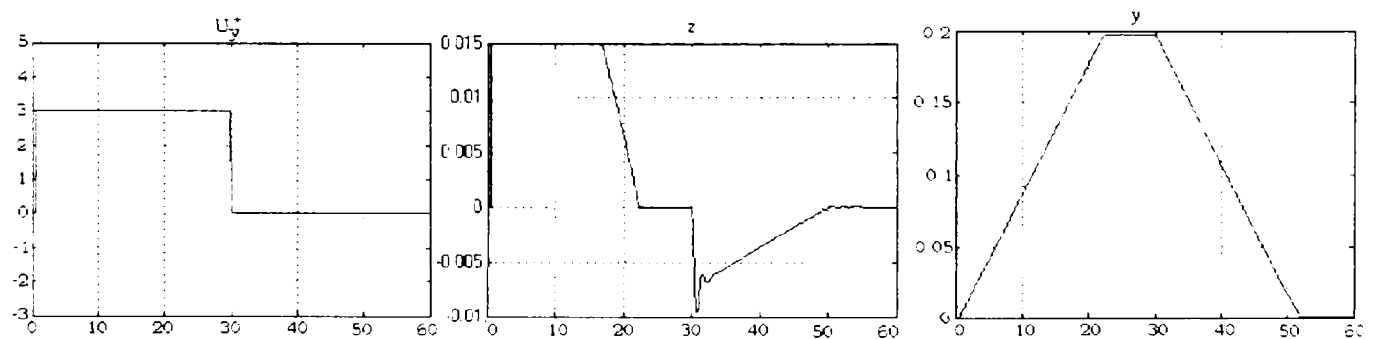
Pentru servosistemul electro-hidraulic stabilizat la care se referă rezultatele din fig.3.3.2., parametrii modelului din fig.3.3.3. determinați pe baza analizelor rezultatelor diferitelor probe au valorile din tabel (LS1, LS2, LS3 sunt limitările blocurilor S1, S2 respectiv S3):

parametru	$T_1$	$\zeta_1$	$K_2$	$T_2$	$K_3$	$T_3$	$\zeta_3$	$T_4$
Valoare	0.5	0.68	1.406	0.22	0.0002	0.1	0.4	0.55
u.m	sec		m sec·V <sup>-1</sup>	sec		sec		sec
parametru	$K_5$	$K_7$	$T_8$	$K_9$	$LS_1$	$LS_2$	$LS_3$	
valoare	0.153	0.012	0.22	6	0-10	0-15	0-400	
u.m	m·sec <sup>-1</sup> ·V <sup>-1</sup>	m·V <sup>-1</sup>	sec	V·m <sup>-1</sup>				

Rezultatele obținute prin simulare cu acest model sunt prezentate în fig.3.3.4. pentru  $u_y^* = \sigma(t) - \sigma(t-30)$ , impuls de 30 de secunde și amplitudine 1V, și în fig.3.3.5. pentru  $u_y^* = 3\sigma(t) - 3\sigma(t-30)$ , impuls de 30 de secunde și amplitudine 3V.



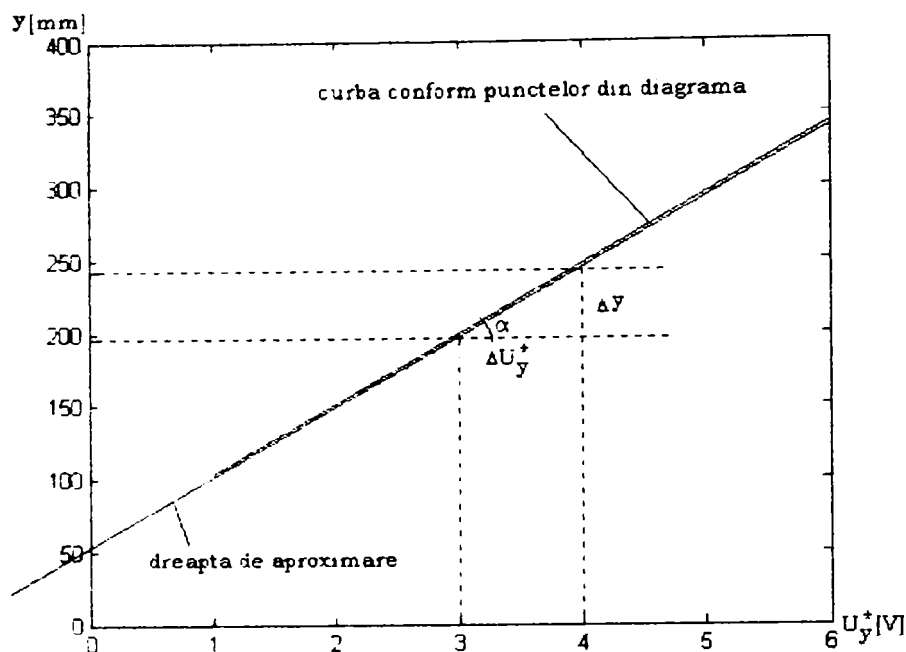
**Fig.3.3.4.** Rezultatele simulării servosistemului electro-hidraulic stabilizat pentru  $u_y^* = \sigma(t) - \sigma(t-30)$



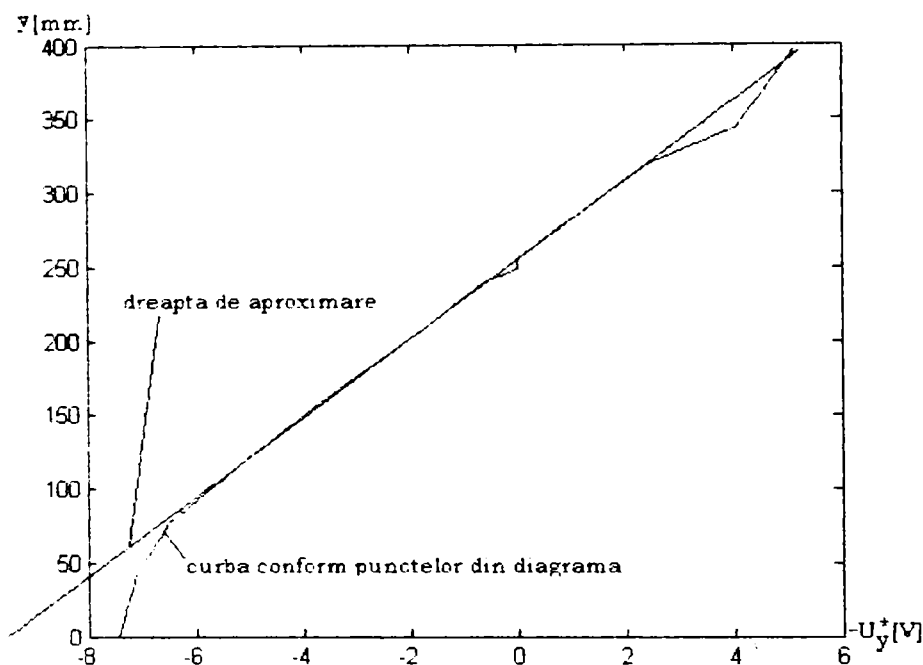
**Fig.3.3.5.** Rezultatele simulării servosistemului electro-hidraulic stabilizat pentru  $u_y^* = 3\sigma(t) - 3\sigma(t-30)$

În vederea proiectării regulatorului de turație (v. paragraful următor), sunt necesare caracteristicile de regim staționar  $\Delta y(\Delta U_y^*)$  și  $\Delta U_y(\Delta y)$  ale servosistemului electro-hidraulic stabilizat.

Fig.3.3.6, fig.3.3.7 și fig.3.3.8 se referă la caracteristica  $\Delta y(\Delta U_y^*)$ . Curba din fig.3.3.6 redă caracteristica corespunzătoare înregistrărilor din care face parte și grupul de caracteristici din fig.3.3.2. Curba din fig.3.3.7 corespunde unui al doilea grup de încercări efectuat pe standul de la UCM Reșița în colaborare cu colectivul de la Universitatea „Politehnica” din Timișoara [\*\*\* 94].



**Fig.3.3.6.** Caracteristica  $y(U_y^*)$  corespunzătoare înregistrărilor din fig.3.3.2



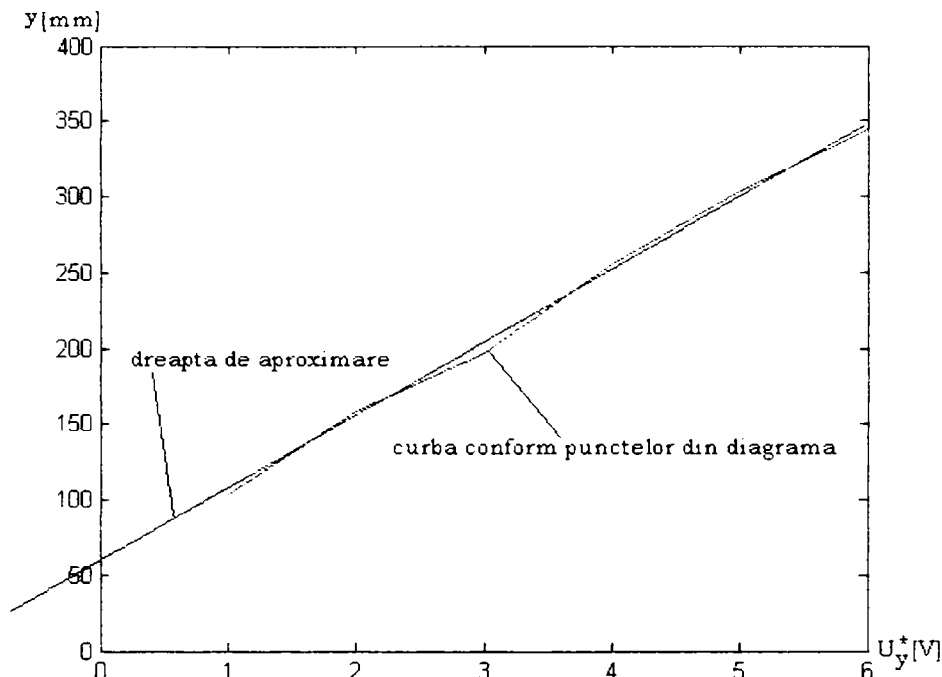
**Fig.3.3.7.** Caracteristica  $y(U_y^*)$  corespunzătoare înregistrărilor din contractul [\*\*\* 94]

Caracteristica din fig.3.3.8 este obținută cu modelul din fig.3.3.3., panta fiind ajustabilă prin modificarea amplificării canalului de reacție F9. Inspectând punctele ce au dus la caracteristicile a) și b), se remarcă așezarea neliniară a acestora. Situația se explică prin unele deficiențe ale standului de încercări (în principal jocuri mecanice în variometre și la capătul de cursă care corespunde poziției închis a aparatului director, la care se adaugă și posibile pierderi de ulei datorită neetanșezării perfecte) care în implementările din centrale sunt eliminate. Localizarea sursei neliniarităților s-a făcut având în vedere și caracteristica din

fig.3.3.9. care redă o dependență neinfluențată de fenomenele care au loc în canalul  $U_y^* \rightarrow y$ .

Se observă, pe de o parte (caracteristicile din fig.3.3.6 și fig.3.3.7), că dependența  $\Delta y(\Delta U_y^*)$  este un segment de linie dreaptă, liniarizabil prin același model în vecinătatea oricărui punct de funcționare:

$$\Delta y = -K_s \Delta U_y^* \quad (3.3-2)$$



**Fig.3.3.8.** Caracteristica  $y(U_y^*)$  corespunzătoare înregistrărilor din modelul Simulink din fig.3.3.3

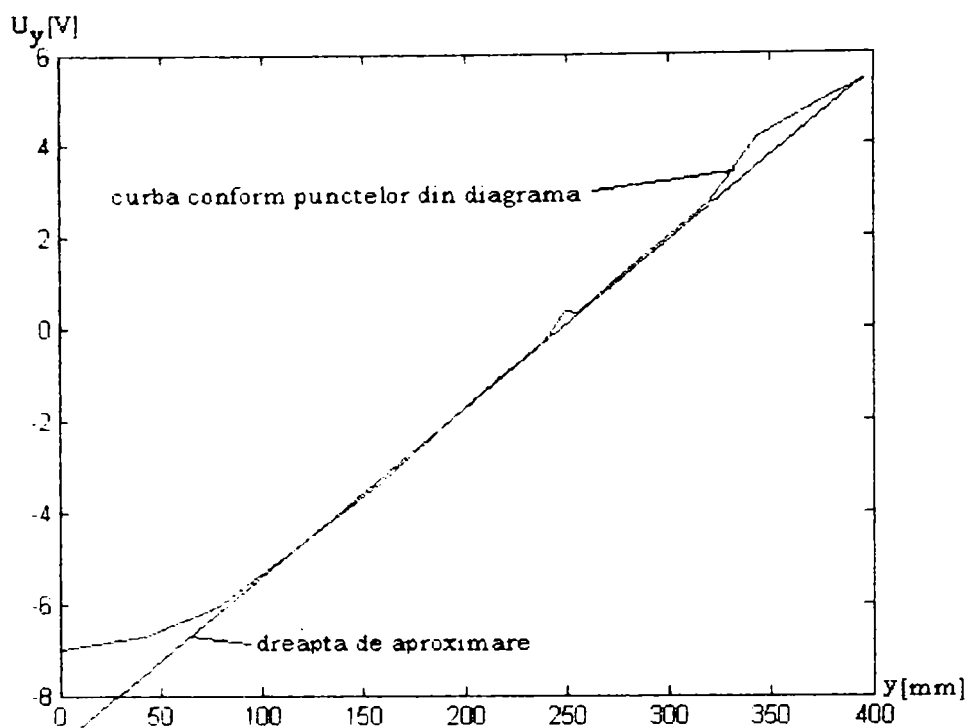
Pe de altă parte, se constată că modelul surprinde această comportare de regim staționar a servosistemul electro-hidraulic stabilizat (caracteristica din fig.3.3.8).

În relația (3.3-2), pentru cazul din fig.3.3.6. avem  $K_{s1} = \text{tg}\alpha = 0,0465 \text{ m}\cdot\text{V}^{-1}$ . Din fig.3.3.7. și din fig.3.3.8. se obțin  $K_{s2} = 0,0272 \text{ m}\cdot\text{V}^{-1}$  respectiv  $K_{s3} = 0,0465 \text{ m}\cdot\text{V}^{-1}$ . De fapt modelul permite ajustarea acestei valori prin amplificarea canalului de reacție F9.

În fig.3.3.9 este prezentată dependența  $U_y(y)$  din cadrul încercărilor [\*\*\* 94]. Ea caracterizează canalul variometrului AD, utilizat ca element de măsură a poziției servomotorului principal. Se observă că și în acest caz caracteristica se poate liniariza în orice punct cu excepția capătului de scală. Relația în acest caz este

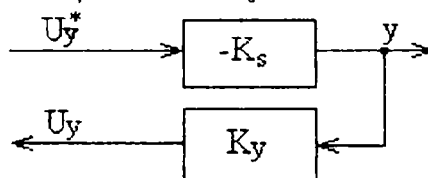
$$\Delta U_y = K_y \Delta y \quad (3.3-3)$$

cu  $K_y = 36 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ . Se observă că produsul  $K_y \cdot K_s$  corespunzătoare aceluiași servosistem (în cazul nostru  $K_{s2}$ ) este egal cu  $0,0272 \cdot 36 = 0,9792$  o valoare foarte apropiată de 1. Această observație va fi utilizată în paragrafele următoare.



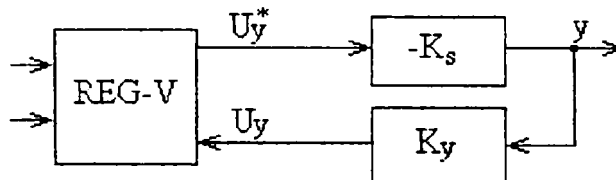
**Fig.3.3.9.** Caracteristica  $U_y(y)$  corespunzătoare înregistrărilor din

Servosistemul electro-hidraulic stabilizat, poate fi în consecință modelat în regim permanent constant prin schema bloc din fig.3.3.10., cu mărimea de intrare  $U_y^*$  care este mărimea de conducere, mărimea de ieșire  $y$  poziția aparatului director, și mărimea de reacție  $U_y$  - semnalul obținut la ieșirea elementului de măsură.



**Fig.3.3.10.** Schema bloc a servosistemului stabilizat

Interacțiunea servosistemului electro-hidraulic stabilizat cu regulatorul de viteză propriu-zis (REG-V), care conține *blocul de realizare a statismului permanent după deschidere*, *blocul de realizare a statismului tranzitoriu după deschidere* și *blocul de realizare a statismului după putere* poate fi reprezentată simplificat ca în fig.3.3.11.



**Fig.3.3.11.** Schema bloc a ansamblului regulator de viteză și servosistem stabilizat

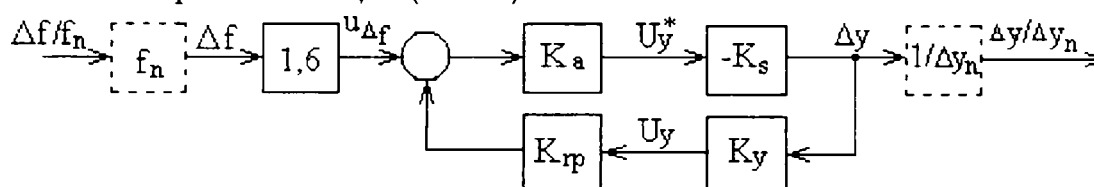
În paragrafele următoare se procedează la analiza unor spectre referitoare la cele trei blocuri.

### 3.3.2 Blocul de realizare a statismului permanent după deschidere

Conform standardului IEE, statismul permanent după deschidere se calculează cu formula (v. și cap.2, rel.(2.2-1)):

$$b_p = - \frac{\Delta(\frac{f}{f_n})}{\Delta(\frac{y}{y_n})} \quad (3.3-4)$$

Regulatorul trebuie astfel conceput încât să permită ajustarea controlabilă de către operator a valorii statismului  $b_p$ . Pentru a realiza acest lucru s-a considerat schema bloc din fig.3.3.12 valabilă în regim staționar. Ea detaliază parțial schema din fig.3.3.11. Blocurile reprezentate cu linie continuă modelează de o manieră simplificată regulatorul împreună cu servosistemul stabilizat. Blocurile reprezentate cu linie întreruptă au fost introduse doar în scop de calcul pentru a se putea opera cu mărimile raportate care apar în relația (3.3-4).



**Fig.3.3.12.** Schema bloc a ansamblului regulator de viteză în care se evidențiază blocurile pentru statismul permanent, și servosistem stabilizat

Blocul notat cu 1.6 corespunde relației din paragraful 2.5.2.1. punctul 1.5. Blocurile  $-K_s$  și  $K_y$  au semnificația din fig.3.3.11. Blocurile notate cu  $K_{rp}$  și  $K_a$  corespund canalelor ce fac legătura între mărimea  $U_y$  și locul de incidență al mărimii  $u_{\Delta f}$ , respectiv locul de incidență al mărimii  $u_{\Delta f}$  și mărimea  $U_y^*$ .

Conform acestei scheme:

$$\frac{\Delta y}{\Delta y_n} = \frac{1}{\Delta y_n} * \frac{K_a * (-K_s)}{1 - K_a * (-K_s) * K_y * K_{rp}} * 1.6 * f_n * \frac{\Delta f}{\Delta f_n} \quad (3.3-5)$$

În consecință, rezultă:

$$\frac{\frac{\Delta f}{f_n}}{\frac{\Delta y}{\Delta y_n}} = - \frac{1 + K_a * K_s * K_y * K_{rp}}{K_a * K_s} * \frac{\Delta y_n}{1.6 * f_n} \quad (3.3-6)$$

care poate fi rescrisă și sub forma

$$\frac{\Delta(\frac{f}{f_n})}{\Delta(\frac{y}{y_n})} = - \frac{1 + K_a * K_s * K_y * K_{rp}}{K_a * K_s} * \frac{\Delta y_n}{1.6 * f_n} \quad (3.3-7)$$

Fie  $b_{p\%}$ , exprimarea lui  $b_p$  în procente, deci  $b_{p\%} = b_p \cdot 100$ . Având în vedere că membrul stâng din (3.3-7) este tocmai  $b_p$ , din (3.3-7) rezultă:

$$K_{rp} = \frac{\alpha}{K_y} \cdot b_{p\%} = \frac{1}{K_a \cdot K_s \cdot K_y} \quad (3.3-8)$$

în care  $\alpha = \frac{1.6 \cdot f_n}{100 \cdot \Delta y_n}$  este o constantă.

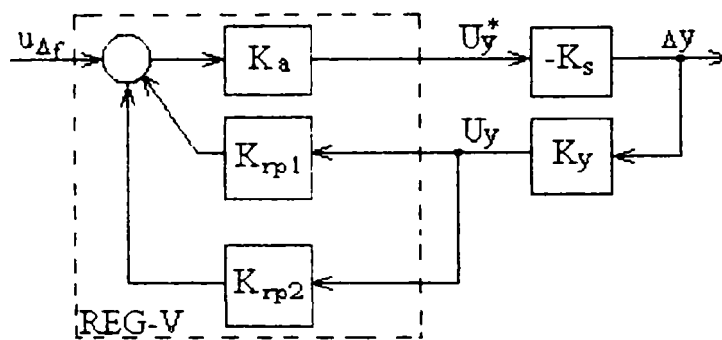
Celor doi termeni din (3.3-7) le corespunde din punct de vedere sistemic o structură cu două canale paralele, unul cu amplificarea

$$K_{rp1} = \frac{\alpha}{K_y} \cdot b_{p\%} \quad (3.3-9)$$

și celălalt cu amplificarea

$$K_{rp2} = -\frac{1}{K_a \cdot K_s \cdot K_y} \quad (3.3-10)$$

Rezultatul este modelat prin schema din fig.3.3.13.



**Fig.3.3.13.** Schema bloc a ansamblului regulator de viteză, servosistem stabilizat, conform (3.3-8)

Amplificarea  $K_{rp1}$  a primului canal este proporțională cu parametrul  $b_{p\%}$ , oferind astfel o soluție simplă de ajustare atât în variantă analogică cât și în variantă numerică a statismului permanent după deschidere. În ceea ce privește amplificarea  $K_{rp2}$  a celui de-al doilea canal, se observă că produsul amplificărilor din bucla alcătuită din blocurile  $K_a$ ,  $-K_s$ ,  $K_y$  și  $K_{rp2}$  este unitară:

$$(K_a \cdot (-K_s) \cdot K_y) \cdot K_{rp2} = -\frac{K_a \cdot (-K_s) \cdot K_y}{K_a \cdot K_s \cdot K_y} = 1 \quad (3.3-11)$$

Așadar, potrivit celor prezentate în §3.2., bucla are comportare de sistem cu caracter integrator. Acest fapt este avantajos din punctul de vedere realizării statismului după putere, după principiul utilizat în §3.3.4. Din punct de vedere constructiv, este important ca în buclă să se ajusteze un număr minim de amplificări. Adoptând

$$K_a = \frac{1}{K_s \cdot K_y} \quad (3.3-12)$$

amplificarea celui de-al doilea canal folosit pentru  $K_{rp}$  devine unitară ( $K_{rp2}=1$ ). Se obține

$$K_{rp} = \frac{\alpha}{K_y} * b_{p\%} - 1.$$

Potrivit celor prezentate în paragraful anterior, produsul  $K_s K_y \cong 1$ . Acest lucru se explică prin sensibilitatea foarte mare a convertorului electrohidraulic, care face ca starea de echilibru să se mențină prin variații extrem de mici ale erorii în bucla de reglare a lui  $y$  din cadrul servosistemului electrohidraulic stabilizat. În consecință, se consideră

$$K_a = 1.$$

În încheiere, reținem că din relația de definiție a statismului (3.3-4), cursa  $\Delta y$  a servomotorului principal se poate exprima cu ajutorul lui  $\alpha$  și  $b_{p\%}$  sub forma

$$\Delta y = -\frac{1}{\alpha * b_{p\%}} * u_{\Delta f} \quad (3.3-13)$$

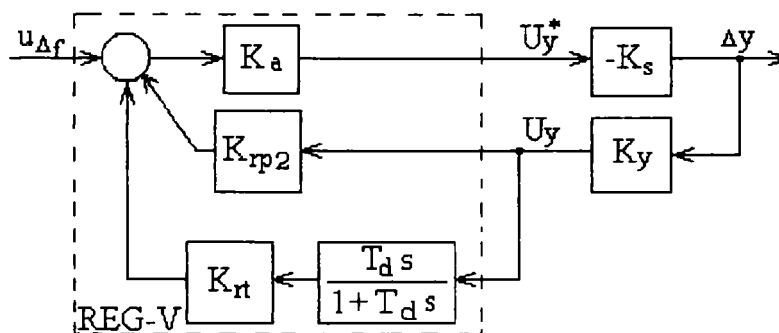
Această formulă redă dependența între variația tensiunii de la ieșirea blocului măsură frecvență, tensiune ce reprezintă o măsură a abaterii de frecvență din rețea și cursa servomotorului aparatului director. În această dependență, statismul  $b_{p\%}$ , este o mărime ajustabilă, care influențează invers proporțional variațiile lui  $y$ . În cadrul aplicației din [\*\*\* 94] valorile lui  $b_{p\%}$  au fost  $\{1, 2, \dots, 10\}$ .

### 3.3.3 Blocul de realizare a statismului tranzitoriu după deschidere

Statismul tranzitoriu după deschidere este dat, prin definiție, conform standardului IEE, de relația:

$$b_t = -\frac{\Delta(\frac{f}{f_n})}{\Delta(\frac{y}{y_n})} \quad \text{când } T_d \text{ tinde la } \infty, \text{ iar } b_p = 0 \quad (3.3-14)$$

în condițiile utilizării unei reacții elastice după  $y$  cu constantă de timp tranzitorie de valoare  $T_d$ .

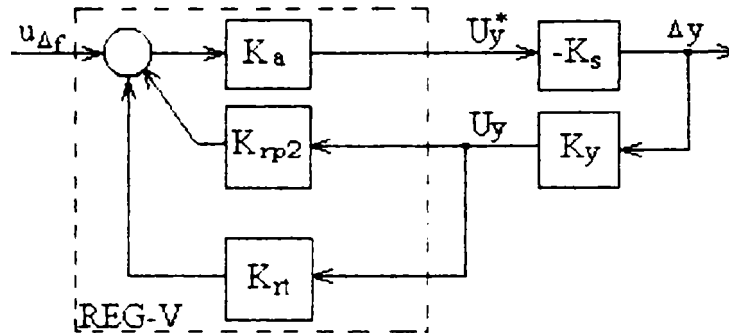


**Fig.3.3.14.** Schema bloc a ansamblului regulator de viteză, servosistem stabilizat, cu blocurile de statism permanent și tranzitoriu după poziție



În structura simplificată a sistemului de reglare a vitezei din fig.3.3.14, această reacție este realizată de blocul DT1 înseriat cu amplificatorul  $K_{rt}$ . Schema din fig.3.3.14. se obține în principiu din schema din fig.3.3.13 pentru  $b_p\% = 0$  ( $K_{rp1} = 0$ ), prin adăugarea reacției elastice.

Când  $T_d \rightarrow \infty$  atunci expresia  $\frac{K_{rt} \cdot T_d \cdot s}{1 + T_d \cdot s} \rightarrow K_{rt}$ . În consecință, pentru estimarea lui  $b_t$  conform relației (3.3-12) (cu condițiile  $T_d \rightarrow \infty$ ,  $b_p=0$ ) se va folosi schema din fig.3.3.15.



**Fig.3.3.15.** Structura ansamblului regulator de viteză servosistem stabilizat, pentru determinarea  $b_t$

Având în vedere relația:

$$b_t = \frac{b_{t\%}}{100} \quad (3.3-15)$$

la fel ca și în cazul relației (3.3-8), se obține egalitatea

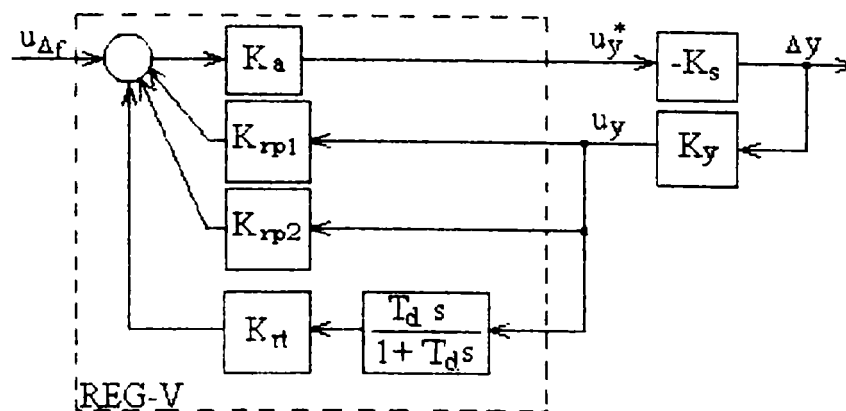
$$K_{rt} - K_{rp2} = \frac{\alpha}{K_y} \cdot b_{t\%} - K_{rp2} \quad (3.3-16)$$

de unde rezultă formula:

$$K_{rt} = \frac{\alpha}{K_y} \cdot b_{t\%} \quad (3.3-17).$$

În consecință, structura de reglare cu statism permanent și cu statism tranzitoriu după deschidere are aspectul din fig.3.3.16.

La fel ca în relația (3.3-9), din definiția lui  $b_t\%$  se obține, pentru schema din fig.3.3.15., dependența în regim staționar între  $\Delta y$  și  $u_{\Delta f}$ :



**Fig.3.3.16.** Structura de reglare cu statism permanent și cu statism tranzitoriu după deschidere

$$\Delta y = -\frac{1}{\alpha * h_{10}} * \Delta u_{\Delta f} \quad (3.3-18)$$

Având în vedere principale regimuri de funcționare (mers în sarcină și mers în gol) care pretind dinamici diferite pentru regulatorul de viteză, în aplicația din [\*\*\* 94] s-a realizat:

$b_{tg,s} \% \in \{5\%, 10\%, \dots, 50\%\}$  și  $T_d \in \{0.1, 0.2, \dots, 4.9 \text{ sec}\}$  pentru mers în sarcină,

$b_{tg,s} \% \in \{10\%, 20\%, \dots, 100\%\}$  și  $T_d \in \{0.1, 0.2, \dots, 9.9 \text{ sec}\}$  pentru mers în gol,

### 3.3.4 Blocul de realizare a statismului după putere

Blocul de realizare a statismului după putere s-a bazat pe următorul principiu:

Puterea debitată de generator este funcție de deschiderea  $y$ , dependența funcțională  $p=f(y)$  fiind specifică fiecărei amenajări. În măsura în care această caracteristică poate fi identificată din punct de vedere practic cu precizie suficientă pentru a putea fi inversată pe porțiunea activă, dependența inversă  $y=f^{-1}(p)$  poate fi folosită pentru a realiza o reacție suplimentară după putere, prin care să se compenseze statismul permanent după deschidere, indiferent de valoarea acestuia. Folosind această reacție împreună cu cea necesară pentru a realiza statismul după putere, se obține o schemă care, pe de o parte, asigură statismul după putere conform standardelor, iar pe de altă parte, permite comutarea fără întreruperi la intrarea regulatorului din regimul cu statism după deschidere în regimul cu statism după putere.

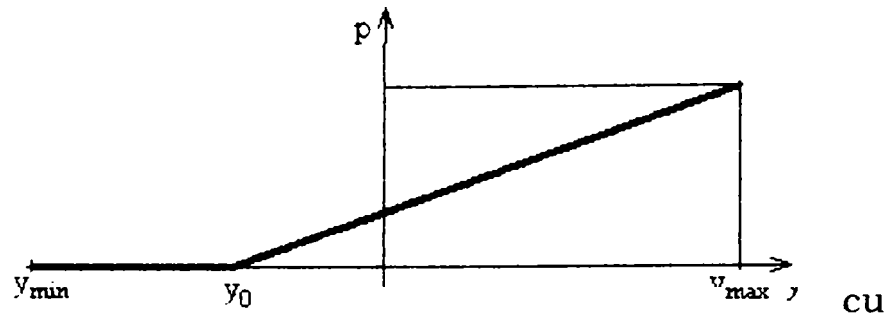
Acest principiu a fost folosit cu succes pentru regulatorul dezvoltat în [\*\*\* 94] și este prezentat pentru prima dată în literatură în lucrarea de față.

S-a considerat dependența  $p=f(y)$  de forma:

$$p = \begin{cases} 0 & \text{pentru } y \in [y_{\min}, y_0) \\ K_{yp} * (y - y_0) & \text{pentru } y \in [y_0, y_{\max}] \end{cases} \quad (3.3-19)$$

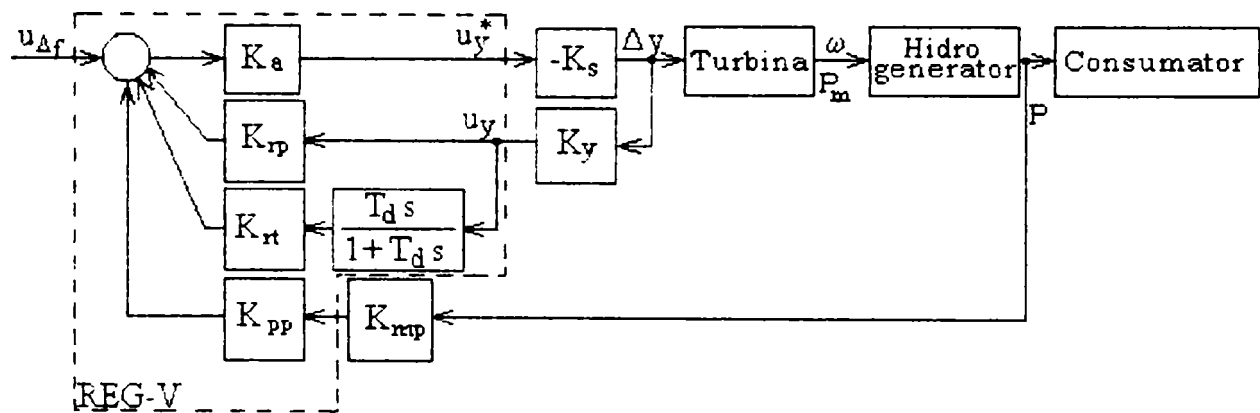
cu  $K_{yp}$ ,  $y_0$  și  $y_{\max}$  corespunzătoare datelor de proiectare nominale ale ansamblului servosistem electro-hidraulic – hidrogenerator.

Ei îi corespunde caracteristica din fig.3.3.17.



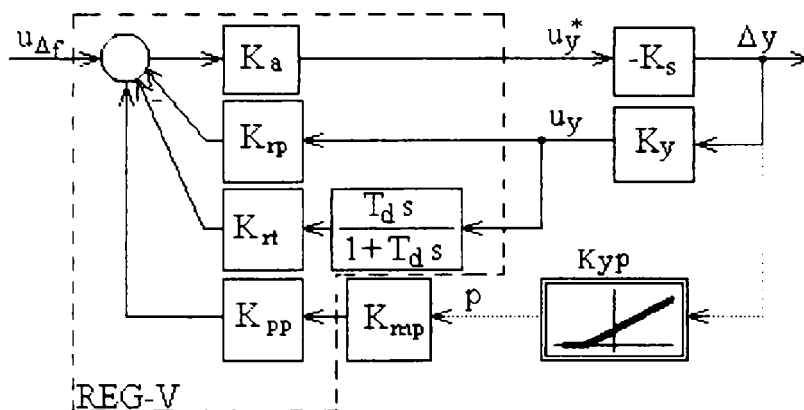
**Fig.3.3.17.** Caracteristica deschidere-putere

În fig.3.3.18.a. este prezentată structura unui sistem cu reacție după deschidere și după putere. Teoretic, este vorba despre un sistem de reglare cu statism după deschidere și după putere. Practic, după cum se arată în continuare, prin structurarea adecvată a amplificării  $K_{pp}$ , schema ajunge să se comporte ca o structură cu statism numai după putere. Totodată, schema prezintă avantajul că, prin întreruperea reacției după putere, trece într-o structură cu statism după deschidere. Efectuând operația de comutare în momentul în care se trece la încărcarea generatorului, practic se obține un sistem de reglare cu structură variabilă fără șocuri de comutare.



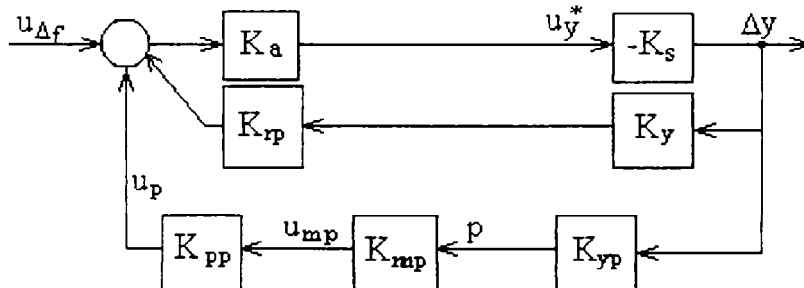
**Fig.3.3.18.** Structura unui sistem cu reacție după deschidere și după putere

$K_{mp}$  este amplificarea elementului de măsurare a puterii iar  $K_{pp}$  este amplificarea din regulator a măsurii de putere. În sensul celor precizate mai sus, amplificarea  $K_{pp}$  va fi folosită prin disjungere pe două canale. Unul pentru a realiza statismul după putere iar celălalt pentru a compensa statismul după deschidere. Astfel, într-o primă etapă, avem în vedere că, în prin utilizarea dependenței  $p=f(y)$ , în locul schemei din fig.3.3.18 se poate considera schema din fig.3.3.19. Pentru a evidenția faptul că în sistemul real, nu există o legătura fizică  $\Delta y \rightarrow p$  s-a folosit reprezentarea cu linie întreruptă.



**Fig.3.3.19.** Structura unui sistem cu reacție după deschidere și după putere folosind dependența  $p=f(y)$

Pentru determinarea valorii amplificării  $K_{pp}$  se consideră schema din fig.3.3.20. obținută din schema din fig.3.3.19. Ea este valabilă în regim staționar pentru situația când punctul de funcționare se găsește pe porțiunea liniară a caracteristicii 3.3-19. Utilizarea elementului proporțional  $K_{pp}$  în această schemă se datorează faptului că și caracteristica  $p=f(y)$  prin liniarizare în vecinătatea oricărui punct de funcționare corespunzător unei deschideri  $y > y_0$  este tot un element de tip proporțional (între variația deschiderii și variația puterii este o relație de proporționalitate de valoare  $K_{yp}$ ). În această figură,  $u_{mp}$  este măsura puterii debitate de generator.



**Fig.3.3.20.** Structura sistemului în regim staționar și în condiții de dependență lineară între deschidere și putere

Conform standardelor IEE, statismul după putere este

$$b_{pp} = - \frac{\Delta\left(\frac{f}{f_n}\right)}{\Delta\left(\frac{p}{p_n}\right)} \quad (3.3-20.a)$$

Folosind exprimarea procentuală a acestuia ( $b_{pp\%}$ )

$$b_{pp} = \frac{b_{pp\%}}{100} \quad (3.3-20.b)$$

pentru schema din fig.3.3.20. este valabilă relația:

$$\frac{1}{K_y} \cdot K_{pp} \cdot K_{mp} \cdot K_{yp} + K_{rp} = \frac{\alpha \cdot b_{pp}\%}{K_y} + \frac{1}{K_a \cdot K_s \cdot K_y} \quad (3.3-21)$$

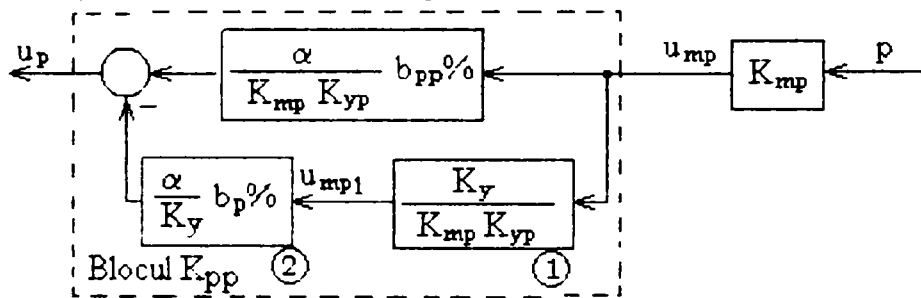
Având în vedere (3.3-8), din (3.3-21) rezultă:

$$K_{pp} = \frac{\alpha}{K_{mp} \cdot K_{yp}} \cdot (b_{pp}\% - b_p\%) \quad (3.3-22)$$

respectiv:

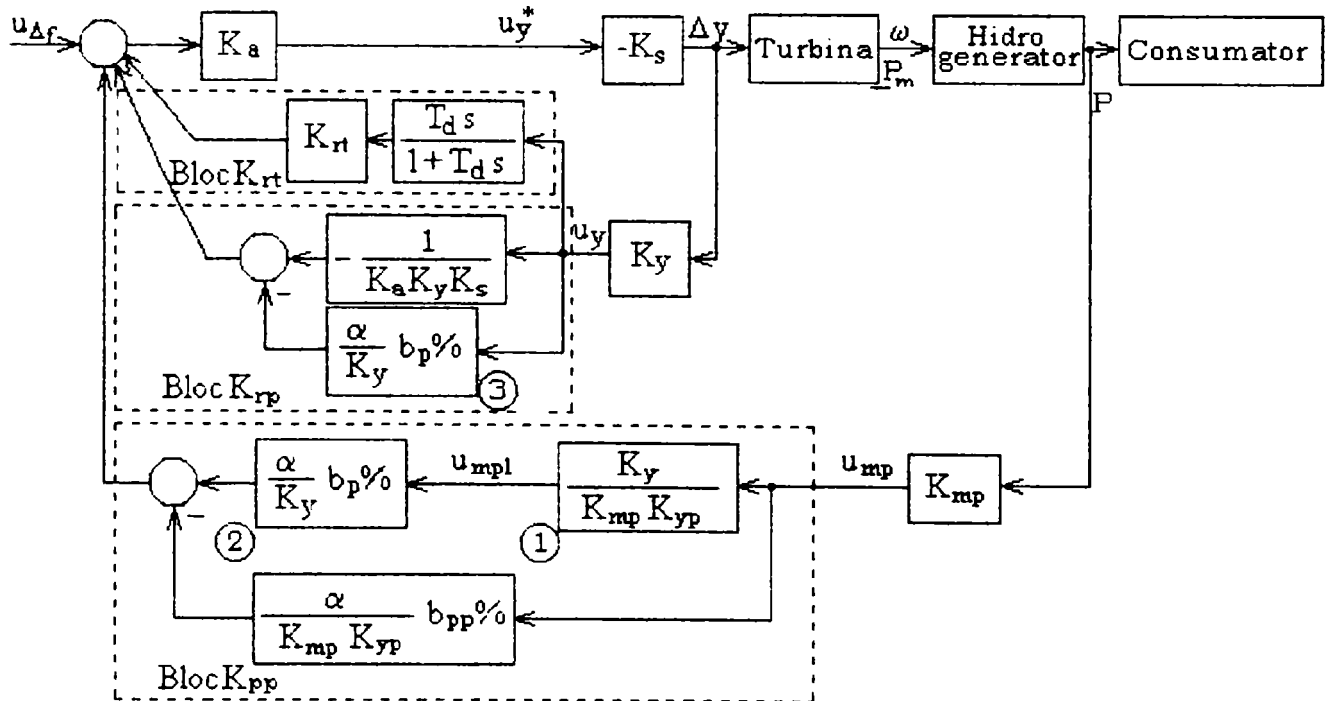
$$K_{pp} = \frac{\alpha}{K_{mp} \cdot K_{yp}} \cdot b_{pp}\% - \frac{K_y}{K_{mp} \cdot K_{yp}} \cdot \frac{\alpha}{K_y} \cdot b_p\% \quad (3.3-23)$$

Pentru realizarea amplificării  $K_{pp}$  conform acestui rezultat, trebuie utilizată structura derivație din fig.3.3.21. Explicația utilizării a două blocuri 1 și 2 pe canalul inferior apare în prezentarea ce urmează.



**Fig.3.3.21.** Structura de implementare a amplificării  $K_{pp}$

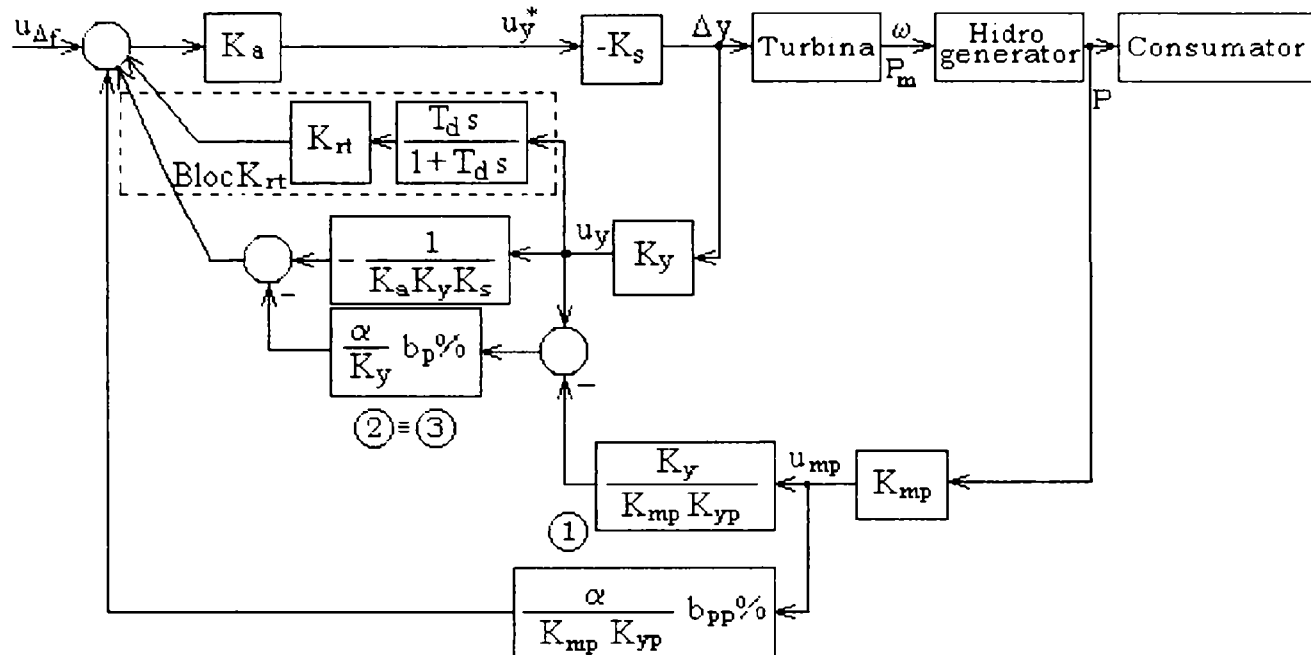
Integrând această structură în schema din fig.3.3.18. se obține schema din fig.3.3.22.



**Fig.3.3.22.** Structura sistemului de reglare (implementarea regulatorului)

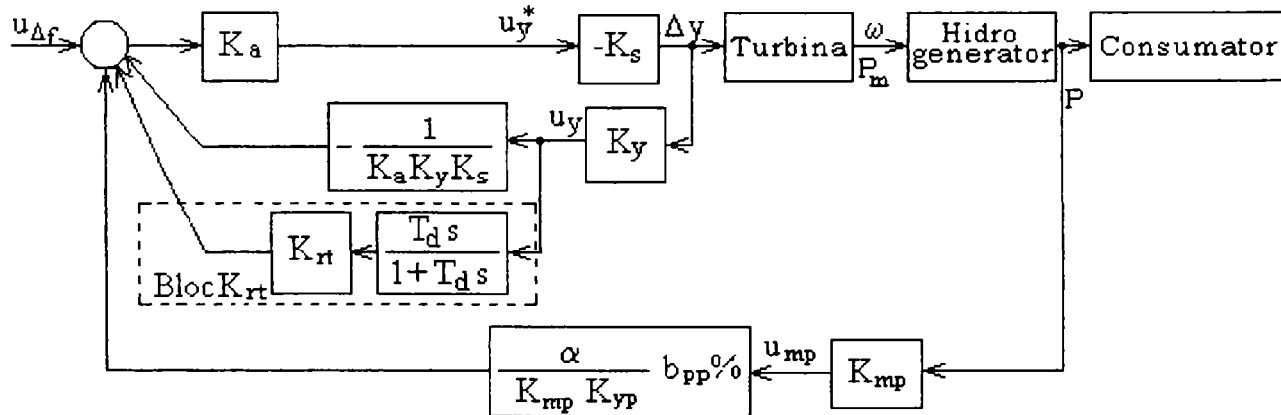
Plecând de la identitatea blocurilor 2 și 3 și de la poziția acestora față de sumatorul principal, rezultă posibilitatea eliminării blocului 2 prin aducerea

aditivă a mărimii  $u_{mp1}$  la intrarea blocului 3. Se obține schema din fig.3.3.23.



**Fig.3.3.23.** Structura blocului  $K_{pp}$

În această structură, mărimea de intrare a blocului 3 devine teoretic identic nulă (practic, influența abaterilor care apar este neglijabilă, fapt confirmat practic). În consecință, din punctul de vedere al interacțiunilor care apar, se poate omite blocul 3. Schema din fig.3.3.21 reducându-se la cea din fig.3.3.24. în care nu mai apare decât structura care realizează statismul după putere (și cel tranzitriu după deschidere).

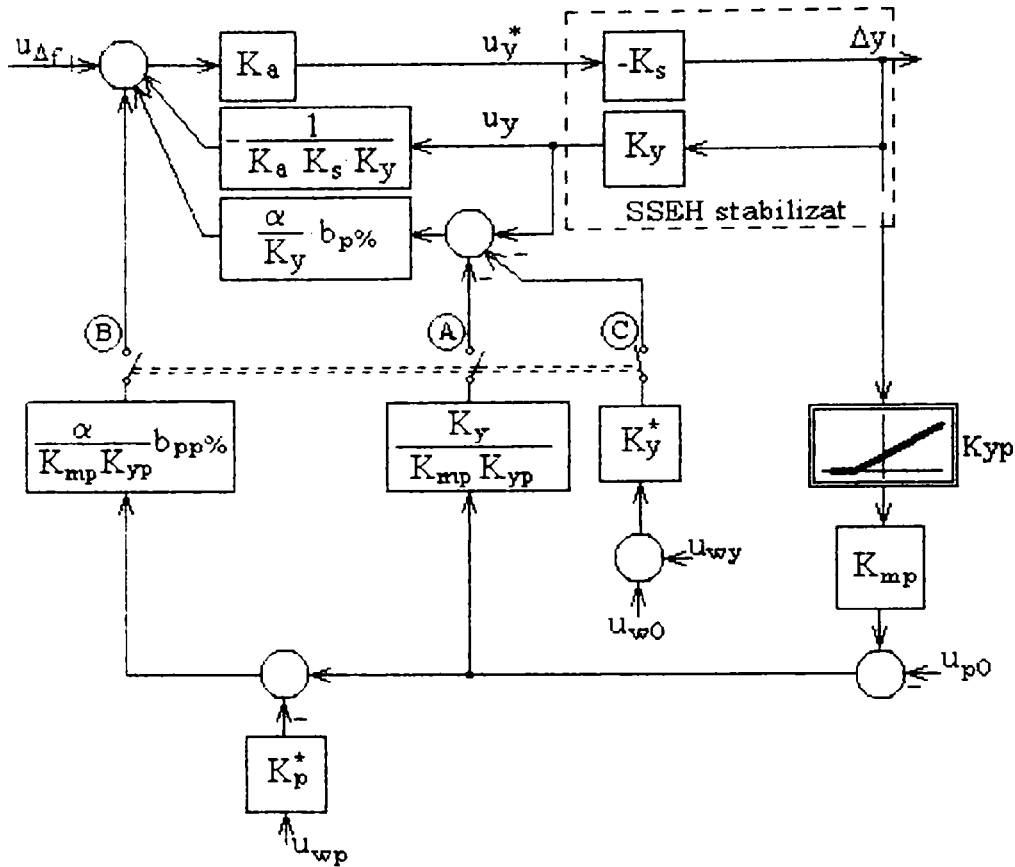


**Fig.3.3.24.** Structura blocului  $K_{pp}$

Această schemă permite, prin intermediul modificării coeficientului  $b_{pp\%}$  controlul statismului după putere conform relațiilor (3.3-20.a) și (3.3-20.b).

### 3.3.5 Structura de ansamblu a regulatorului de turație

Blocurile prezentate în paragrafele anterioare se integrează din punct de vedere informațional în schema de ansamblu, în regim permanent, sub forma prezentată în fig.3.3.25



**Fig.3.3.25.** Structura de ansamblu a sistemului de reglare

În plus față de cele prezentate în paragrafele anterioare, această schemă are prevăzute două mărimi de prescriere:  $u_{wy}$ ,  $u_{wp}$  și două mărimi constante  $u_{w0}$ ,  $u_{p0}$ .

Schema lucrează cu:

- statism după deschidere, atunci când întrerupătoarele A și B sunt deschise și C este închis.
- statism după putere, atunci când întrerupătoarele A și B sunt închise și C este deschis.

În cazul a), în ipoteza că  $u_{yf}=0$  și având în vedere bucla cu caracter integrator, schema asigură în regim staționar dependența:

$$K_y \cdot \Delta y - K_y^* \cdot (u_{wy} + u_{w0}) = 0 \quad (3.3-24)$$

adică

$$\Delta y = \frac{K_y^*}{K_y} (u_{wy} + u_{w0}) \quad (3.3-25)$$

Rezultatul permite determinarea amplificarea  $K_y^*$  din condiția ca la parcurgerea de către  $u_{wy}$  a întregului domeniu de lucru  $[u_{wy\_min}, u_{wy\_max}]$ ,  $y$  să parcurgă întreaga cursă  $[y_{min}, y_{max}]$ . Prin urmare se obține relația:

$$K_y^* = K_y \cdot \frac{\Delta y_{\max}}{u_{wy\_max} - u_{wy\_min}} \quad (3.3-26)$$

Valoarea lui  $u_{w0}$  se obține din condiția ca pentru valoarea mediană a lui  $u_{wy}$ ,  $u_{wy\_med} = -0.5(u_{wy\_max} - u_{wy\_min})$ , să se obțină o valoare mediană a lui  $\Delta y$  ( $y$  să se afle la mijlocul cursei). Rezultă

$$u_{w0} = u_{wy\_med} = -0.5(u_{wy\_max} - u_{wy\_min}) \quad (3.3-27)$$

Se consideră cazul b) în situația când  $u_{vf} = 0$ . Tot datorită caracterului integrator menționat se obține relația :

$$b_{p\%}(y_0 - \frac{1}{K_{mp} \cdot K_{yp}} \cdot u_{p0}) + b_{pp\%}(y - y_0 + \frac{1}{K_{mp} \cdot K_{yp}} \cdot u_{p0} - \frac{\alpha}{K_{mp} \cdot K_{yp}} K_p^* \cdot u_{wp}) = 0 \quad (3.3-28)$$

Egalitatea se constituie într-o condiție care trebuie îndeplinită astfel încât să permită controlul valorii puterii debitate prin intermediul lui  $u_{wp}$  indiferent de valorile lui  $b_{p\%}$  și  $b_{pp\%}$ , și independent de valoarea practică a lui  $y_0$ . Acest lucru este posibil adoptând într-o primă etapă

$$u_{p0} = K_{mp} \cdot K_{yp} \cdot y_0 \quad (3.3-29)$$

Atunci, din (3.3-27) rezultă :

$$y = \frac{\alpha \cdot K_p^*}{K_{mp} \cdot K_{yp}} \cdot u_{wp} \quad (3.3-30)$$

respectiv

$$f^{-1}(p) - \frac{\alpha \cdot K_p^*}{K_{mp} \cdot K_{yp}} \cdot u_{wp} = 0 \quad (3.3-31)$$

respectiv:

Într-o a doua etapă se calculează  $K_p^*$ . Coeficientul se obține prin relația (3.3-32) obținută într-un mod asemănător cu (3.3-26):

$$K_p^* = K_{mp} \cdot K_{yp} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{y_{\max} - y_{\min}}{u_{wp\_max} - u_{wp\_min}} \quad (3.3-32)$$

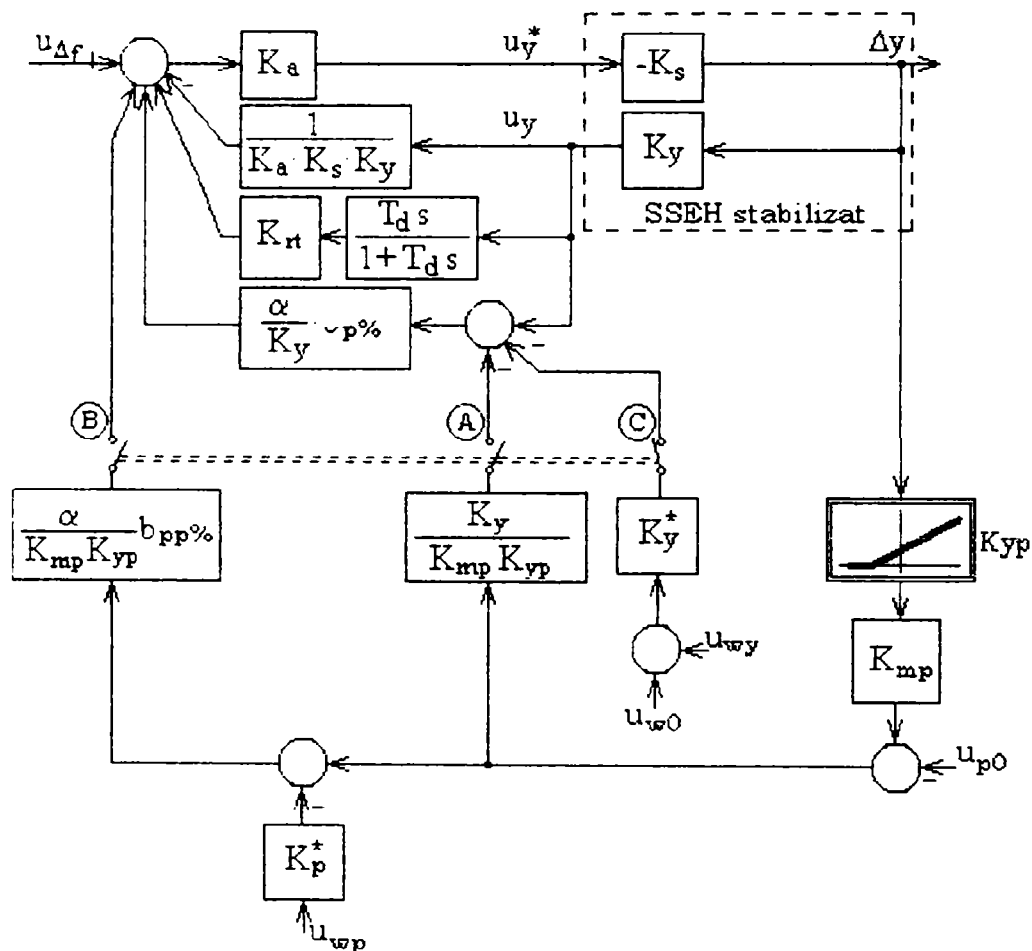
Întrucât (3.3-30) este folosită doar pe porțiunea liniară a caracteristicii deschidere-putere,  $f^{-1}(p) = \frac{1}{K_{yp}} \cdot p$  astfel încât, din (3.3-31) rezultă:

$$p = \frac{\alpha \cdot K_p^*}{K_{mp}} \cdot u_{wp} \quad (3.3-33)$$



În regim dinamic, când se manifestă și statismul tranzitoriu după deschidere, locul schemei din figura 3.3.25 este luat de schema din fig.3.3.26. Ea corespunde schemei din fig.3.3.23.

Implementarea schemei asigură posibilitatea de ajustare a  $b_{p\%}$ ,  $b_{pp\%}$ ,  $b_{r\%}$ , la valorile impuse de tema de proiectare, prescrierile  $u_{wp}$  și  $u_{wy}$  astfel încât să se acopere întreaga cursă a aparatului director și pe  $u_{w0}$  și  $u_{p0}$  astfel încât să asigure compensările pentru care au fost prevăzute în domeniile de incertitudine corespunzătoare.



**Fig.3.3.26.** Structura de ansamblu a sistemului de reglare completată cu canalul pentru statism tranzitoriu

### 3.3.6 Avantajele utilizării structurii cu buclă de tip integrator

Structura de regulator de viteză prezentată în acest capitol prezintă câteva avantaje față de structurile “clasice”, și anume:

- Structura are tot timpul conectat canalul de statism după deschidere. În cazul utilizării statismului după putere, efectul canalului de statism după deschidere se anulează.
- În cazul utilizării statismului după putere,
  - la întreruperea canalului de reacție după putere, rămâne activă reacția statismului după deschidere,

- la întreruperea reacției după deschidere (bucă unitară), datorită faptului că nu există element integrator, comanda se păstrează la un nivel constant dat de nivelul lui  $u_{\Delta f}$ .
- Pentru structurile clasice, prin introducerea unui regulator cu componentă integratoare rezultă un sistem de ordin superior cu cel puțin o unitate. Aceasta înseamnă creșterea inerției în interiorul buclei de reglare cu efecte atât asupra dinamicii sistemului în raport cu mărimea de conducere cât și în raport cu mărimea perturbatoare. Realizarea unei bucle cu caracter integrator în raport cu exteriorul, ca în acest caz, nu recurge la această sporire a inerției, menține condiția de mărime de intrare nulă în regim staționar în raport cu punctul de atac al erorii de reglare folosind pentru constituirea erorii orice combinație dorită de mărimi, inclusiv dependența de mărimea de ieșire a buclei cu caracter integrator.
- Prin proiectarea sistemului de reglare pot fi asigurate și controlate în mod distinct toate condițiile impuse de normele IEC inclusiv cea referitoare la statismul tranzitoriu după deschidere. Asigurarea acestei condiții cu alte structuri este dificilă.

### 3.3.7 Regimurile de funcționare ale regulatorului de turație

Paragraful de față este destinat prezentării modului de realizare a regimurilor de lucru care se cer în general unui regulator de turație. În conformitate cu dezvoltarea din capitolul 2 și cu cerințele din aplicația din [\*\*\*94] interesează:

- 1) regim automat/manual,
- 2) regim de comandă locală/grup,
- 3) regim cu statism după putere/după deschidere,
- 4) regim de funcționare în sarcină/în gol,

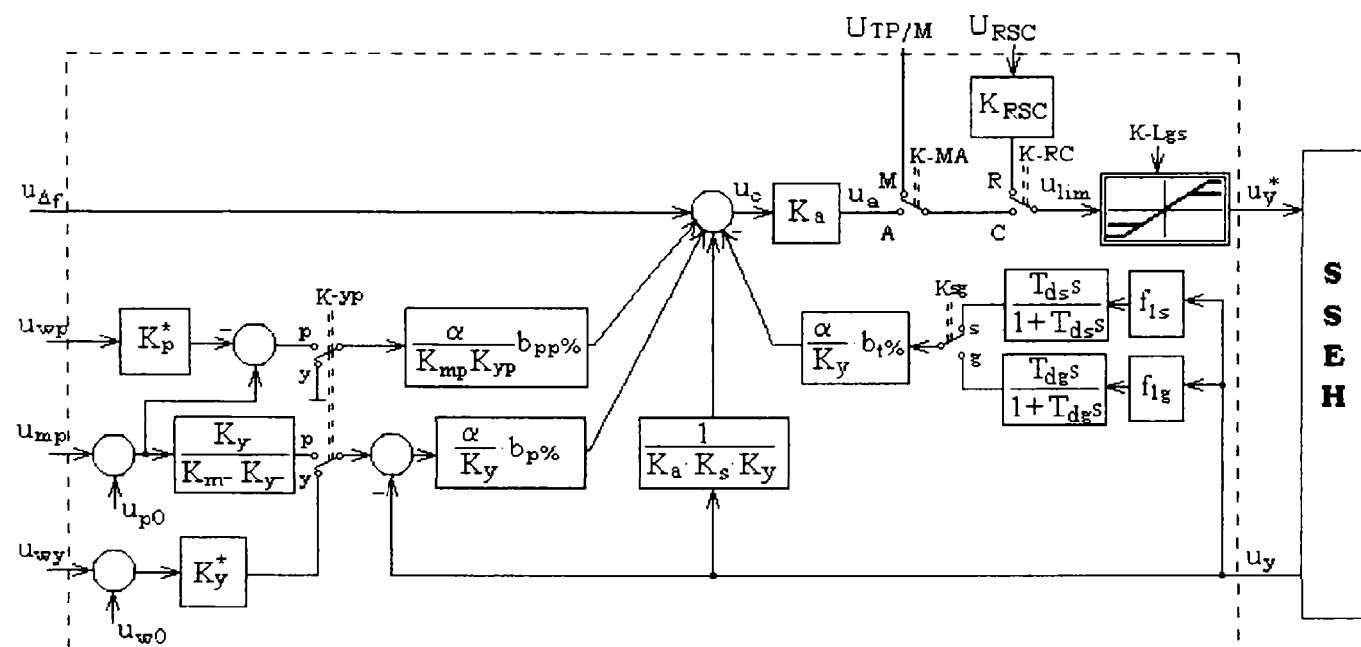


Fig.3.3.27. Structura de ansamblu a sistemului de reglare a turației

Structura elaborată conform fig.3.3.26 poate fi adusă la forma din fig.3.3.27. Pentru realizarea regimurilor impuse au fost prevăzute comutatoare.

În figură regulatorul apare ca un sistem cu orientarea

$$\{ U_{wy}, U_{wp}, U_y, U_{vf}, U_{mp}, U_{TP/M}, U_{RSC} \} \rightarrow \{ U_y^* \}.$$

Cu excepția ultimelor două mărimi de intrare, a căror semnificație este explicată în continuare, semnificația celorlalte mărimi a fost definită în paragraful anterior.

În continuare se detaliază principalele elemente referitoare la configurarea regimurilor enumerate:

### 1) Regimul automat/manual

*Regimul automat (A)* este dat de poziția A a comutatorului  $K_{-MA}$ , caz în care structura funcționează prin mărimea  $U_a$  cu statism după putere sau deschidere și totodată în regim de mers în sarcină sau gol.

*Regimul manual (M)* este dat de poziția M a comutatorului  $K_{-MA}$ . În acest caz bucla de reglare este întreruptă, mărimea de comandă  $u_y^*$  a servosistemului electro-hidraulic fiind sub controlul operatorului uman, prin mărimea  $U_{TP/M}$ . Regimul manual se utilizează în fazele de punere în funcțiune a regulatorului sau de avarie. Amplasarea punctului de întrerupere a buclei după sumatorul principal permite austarea parametrilor regulatorului fără a fi afectată mărimea  $u_y^*$ .

O problemă ce trebuie rezolvată la trecerea din regimul automat în cel manual și invers este evitarea șocurilor ce se pot produce la nivelul lui  $u_y^*$ . Soluția constă în folosirea unui sistem de urmărire care să acționeze întotdeauna asupra mărimii pasive ( $U_{TP/M}$  sau  $U_a$ ) prin aducerea acesteia la o valoare egală cu a mărimii active ( $U_a$  sau  $U_{TP/M}$ ). În paragraful 2.5.4 referitor la realizarea numerică a regulatorului de turație este detaliat algoritmul utilizat pentru evitarea șocurilor.

### 2) Regimul de comandă locală/grup

Comutarea între cele două regimuri se realizează prin cheia  $K_{-RC}$ .

*Regimul de comandă locală (C)* se realizează în cazul în care comutatorul  $K_{-cd}$  se află pe poziția C. În acest caz regulatorul funcționează cu comanda provenind de la ieșirea sumatorului principal (tensiunea  $u_a$ ):

$$U_{lim}(t) = U_a(t).$$

*Regimul de comandă de grup (R)* este realizat în cazul în care comutatorul  $K_{-RC}$  se află pe poziția R. În acest caz se realizează integrarea regulatorului în structura ierarhizată a hidrocentralei,

comanda fiind furnizată în această situație de la nivelul ierarhic superior. Această comandă este reprezentată de tensiunea  $U_{RSC}$  amplificată cu  $K_{RSC}$ :

$$U_{lim}(t) = U_{RSC} \cdot K_{RSC}.$$

### 3) Regimul de funcționare cu statism după putere/după deschidere

Comutatorul care stabilește tipul de regim de funcționare după statism după putere sau deschidere pentru regulator este  $K_{yp}$ . Poziția  $Y$  a acestui comutator determină funcționarea cu statism după deschidere a regulatorului, în timp ce poziția  $P$  determină funcționarea cu statism după putere. Obținerea formulelor de calcul pentru aceste regimuri a fost detaliată și prezentată în §3.3.2., §3.3.3. și §3.3.4.

### 4) Regimul de funcționare în gol/în sarcină

Stabilirea funcționării regulatorului în regim de mers în sarcină sau în regim de mers în gol este realizată prin comutatorul  $K_{gs}$ .

*Regimul de funcționare în gol* este selectat prin poziția ( $g$ ) a comutatorului. Prin această selecție se asigură:

- pe calea de reacție: un statism tranzitoriu după deschidere  $b_{tg}$  specific mersului în gol,
- pe calea directă: limitarea mărimii  $u_y^*$  sub forma:

$$U_y^* = \begin{cases} U_{g \min} & U_{lim} < U_{g \min} \\ U_{lim} & U_{g \min} \leq U_{lim} \leq U_{g \max} \\ U_{g \max} & U_{lim} > U_{g \max} \end{cases},$$

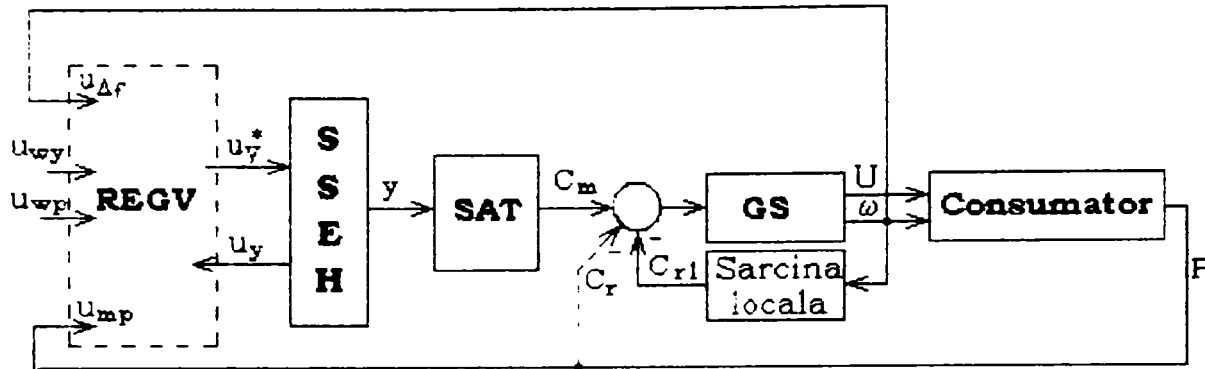
*Regimul de funcționare în sarcină* este selectat prin poziția ( $s$ ) a comutatorului. Prin această selecție se asigură:

- pe calea de reacție: un statism tranzitoriu după deschidere  $b_{ts}$  specific mersului în sarcină,
- pe calea directă: limitarea mărimii  $u_y^*$  sub forma::

$$U_y^* = \begin{cases} U_{s \min} & U_{lim} < U_{s \min} \\ U_{lim} & U_{s \min} \leq U_{lim} \leq U_{s \max} \\ U_{s \max} & U_{lim} > U_{s \max} \end{cases},$$

## 3.4. Simularea funcționării regulatorului de viteză în cadrul sistemului de reglare automată

Pentru simularea funcționării regulatorului de viteză, acesta a fost încadrat în structura de sistem de reglare prezentat în fig.3.4.1.[PRE 96].



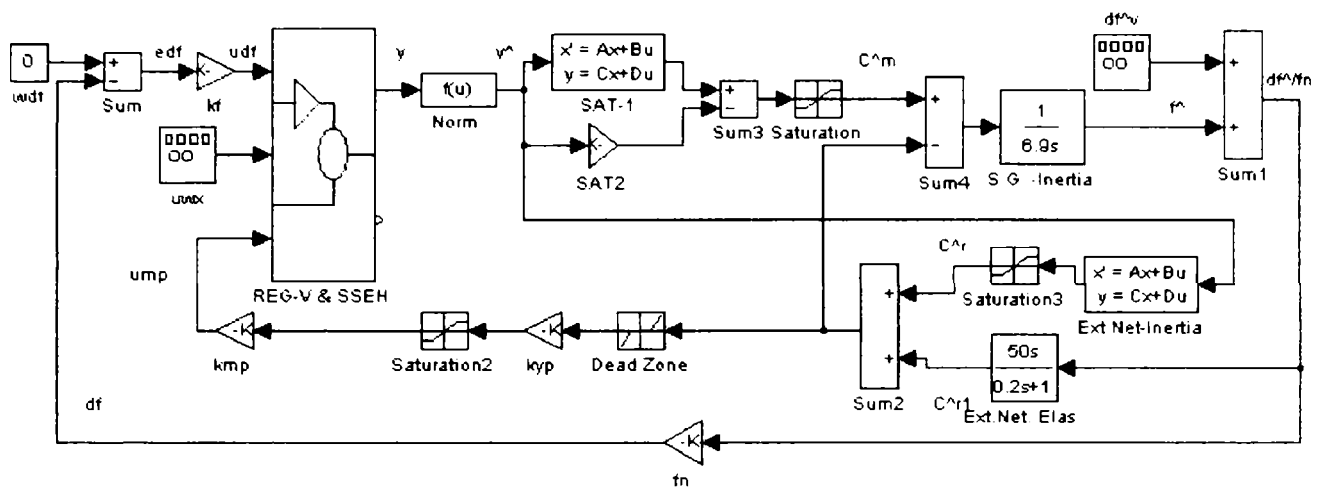
**Fig. 3.4.1** Schema bloc a sistemului de reglare folosită pentru analiza comportării REG - V

În figură s-au folosit abrevierile: SSEH – sistem electrohidraulic stabilizat, SAT – sistem aducțiune – turbină, GS – generator sincron. Alte notații:  $C_m$  – cuplu motor,  $C_r$  – componentă a cuplului rezistent opus de generator corespunzătoare interacțiunii cu sistemul electro-energetic,  $C_{r1}$  – componentă a cuplului rezistent opus de generator corespunzătoare consumatorilor locali,  $U$  – tensiunea la bornele generatorului,  $\omega$  - pulsația tensiunii  $U$ .  $u_{wy}$  și  $u_{wp}$  – sunt referințe pentru  $y$  și  $p$ .

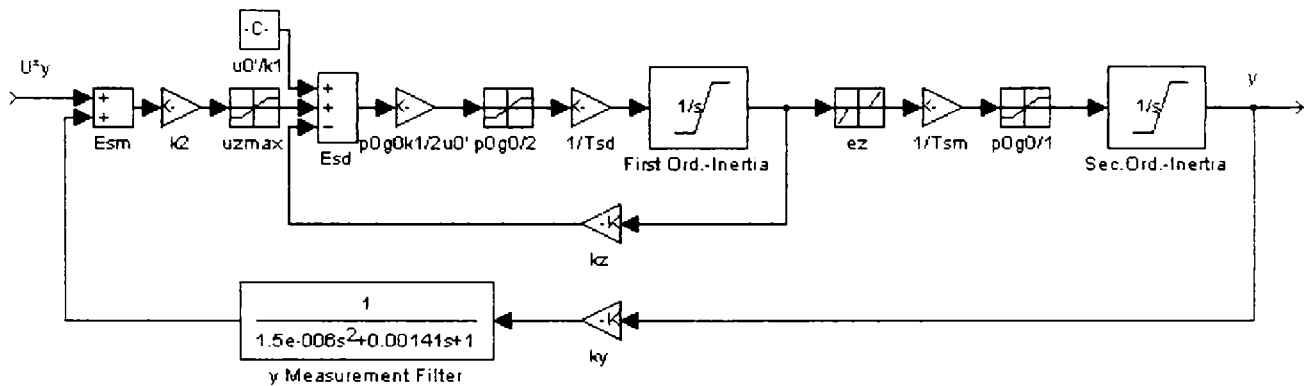
În fig.3.4.2 este prezentată o schemă Simulink folosită pentru simularea sistemului din fig.3.4.1. Mărimile însoțite de simbolul „ ^ ” sunt în valori normate. Normările au fost realizate relativ la valorile nominale ale lui  $y$ ,  $f$ ,  $p$ , respectiv  $y_{nom}=118.8mm$ ,  $f_{nom}=50Hz$ ,  $p_{nom}=47MW$ . Semnalul  $u_{wx}$  corespunde referințelor  $u_{wp}$  și  $u_{wy}$ . Blocul REG-V & SSEH include atât structura REG-V prezentată anterior cât și servosistemul electrohidraulic stabilizat. Schema Simulink a SSEH este redată în fig. 15. Blocul SAT este segmentat în două canale paralele SAT-1 și SAT-2. Ansamblul SAT este un sistem de fază neminimă iar segmentarea s-a utilizat pentru facilități de simulare. Consumatorul și sarcina locală apar împreună prin blocurile Ext.Net. Inertia (cu funcția de transfer  $H_{ExtNetInertia} = \frac{1}{2s+1}$ ) și Ext.Net. Elas

(elastic cu funcția de transfer  $H_{ExtNetElas} = \frac{50s}{0.2s+1}$ ). Semnalul  $df^v$  servește pentru a surprinde șocurile de frecvență care pot să apară în sistem, iar semnalul  $wdf$  servește pentru referința (consemnul) de frecvență. Blocul Norm este destinat normării cursei  $y$  a aparatului director, iar blocul G.S.-Inertia caracterizează inerția rotorului. Constanta de timp electromecanică considerată este de 6.9 sec.

Structura din fig.3.4.3 ilustrează modul de stabilizare a servosistemului electrohidraulic. Modelul, la fel ca și cel din fig.3.4.2, este puternic nelinear. Semnificația parametrilor este cea din [DRA 96]. Față de această lucrare s-au introdus modificări în ceea ce privește blocurile integratoare care nu sunt asociate cu fenomenul de agățare [NAN 97]. Schema SSEH din fig.3.4.3.este preluată din [PRE 81] și [DRA 96].



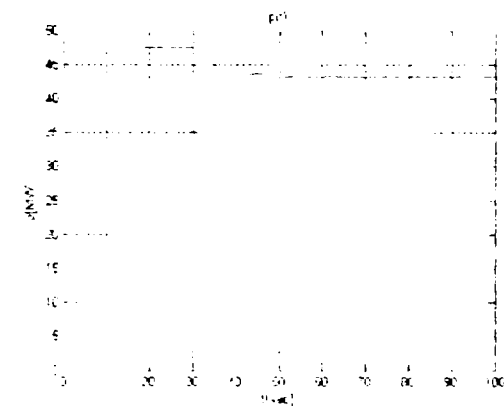
**Fig. 3.4.2** Schemă Simulink folosită pentru simularea structurii din fig.3.4.1.



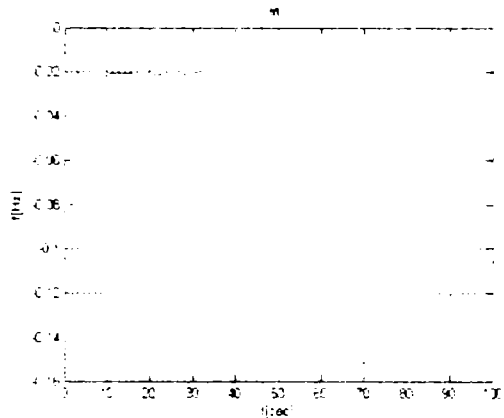
**Fig.3.4.3.** Schema Simulink a SSEH

În figurile următoare sunt redată rezultate obținute prin simulări. Ele corespund într-un total calitativ și în mare măsură cantitativ relativ la modul de comportare a sistemelor de reglare.

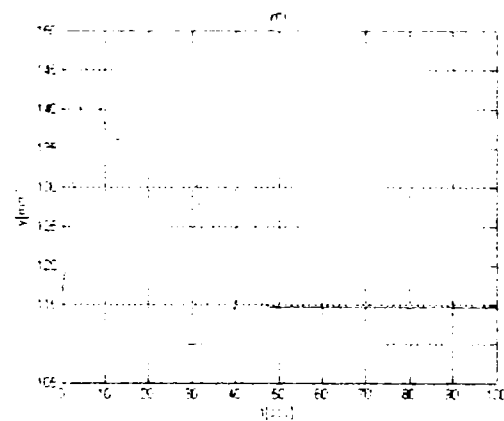
Fig.3.4.4 și 3.4.5 ilustrează comportarea sistemului în situațiile în care  $b_{pp\%} = 11\%$ , respectiv  $b_{pp\%} = 10\%$  la o modificare a referinței de putere de la 44 MW la 47 MW la momentul  $t = 0$  sec și înapoi la 44 MVA la momentul  $t = 30$  sec. Sunt urmărite puterea debitată de generator ( $p$ ), abaterea de frecvență în sistem ( $df$ ) și cursa aparatului director  $y$ . Sunt de remarcat: caracterul de sistem cu fază neminimă și efectul histerezisului care apare în etajele SSEH (fig. 3.4.4a și 3.4.5a), apariția unor erori de regim permanent (fig. 3.4.4b și 3.4.5b) datorate considerării intenționate a unui sistem extern de putere comparabilă cu al generatorului, capacitatea SSEH de a face față solicitărilor fără a atinge plafoanele de saturație (fig. 3.4.4c și 3.4.5c) din intervalul de manevră de  $[-0.18 \text{ m}, 0.18 \text{ m}]$ .



- a -

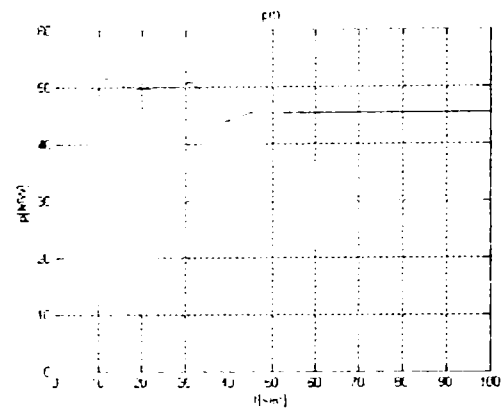


- b -

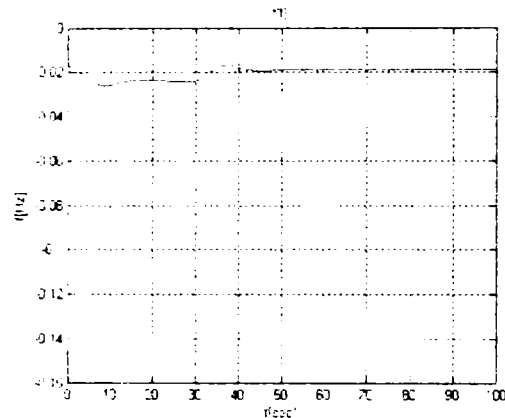


- c -

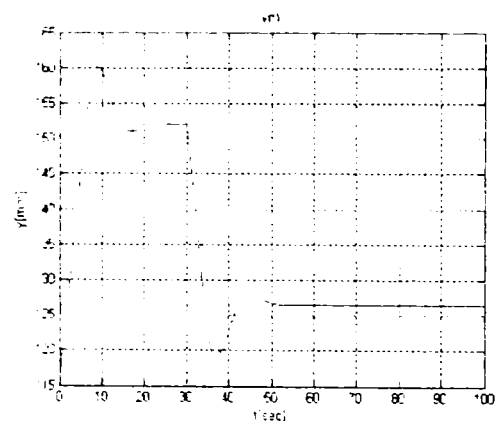
**Fig.3.4.4**



- a -



- b -



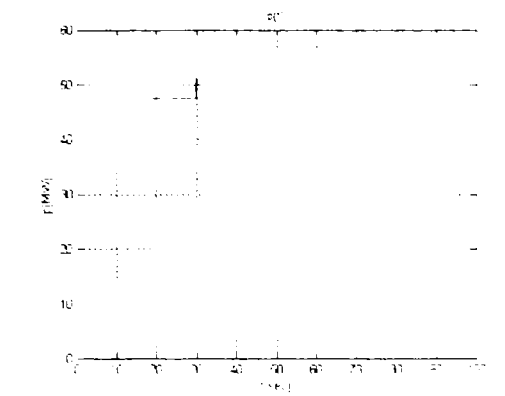
- c -

**Fig.3.4.5**

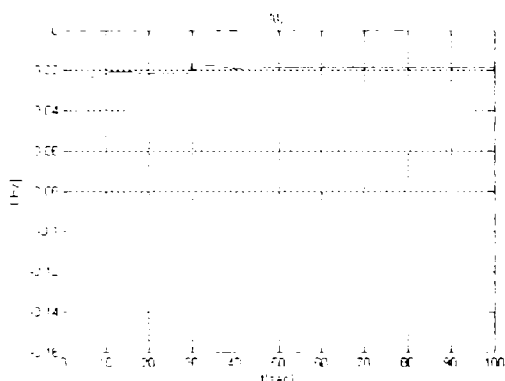
Figurile 3.4.6 și 3.4.7 ilustrează comportarea sistemului la un scenariu în care sistemul se găsește inițial, la fel ca și în cazurile anterioare, în echilibru la o încărcare cu sarcină nominală de 44 MW și o frecvență de 49.984 Hz, la momentul  $t = 0$  sec se modifică în treaptă prescrierea de putere la 47 MW, iar la  $t = 30$  sec. se produce o modificare bruscă a frecvenței rețelei externe cu +1 Hz (fig. 3.4.6), respectiv cu -0.5 Hz.

Până la modificarea frecvenței rețelei sistemul are comportarea deja cunoscută. În continuare se remarcă pe lângă comportarea de sistem cu fază neminimă, capacitatea grupului de a contribui la corecția frecvenței (grupul nu are capacitatea de corecția singur complet abaterea de frecvență) și variația lui  $y$  fără a atinge plafoanele de saturație, ceea ce denotă o

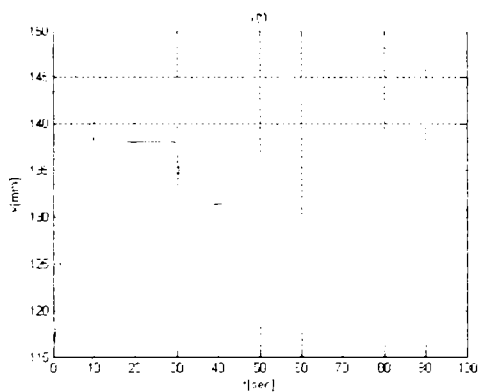
capacitate de menținere a vitezei de reacție la variații cu mult mai mari ale frecvenței rețelei.



- a -

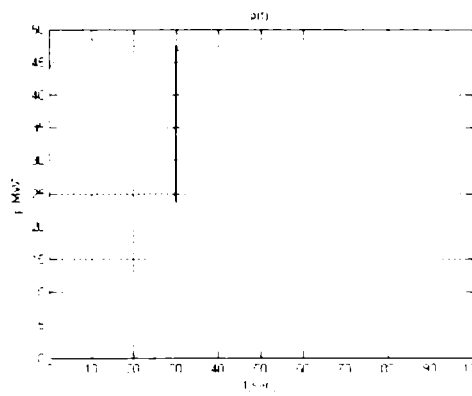


- b -

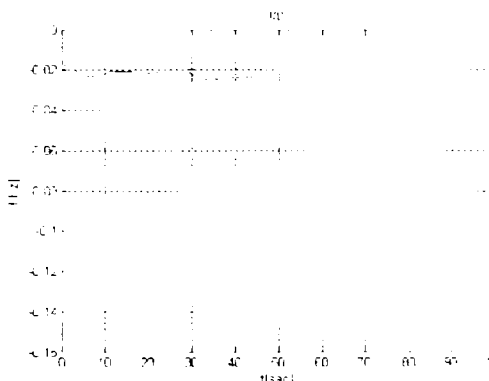


- c -

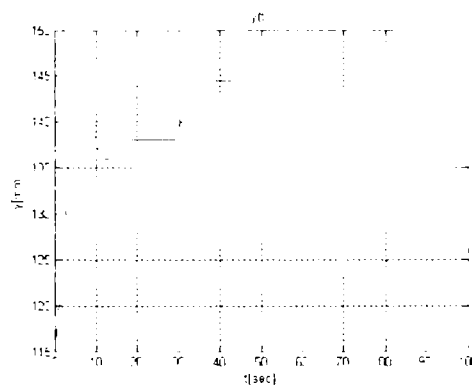
**Fig.3.4.6**



- a -



- b -



- c -

**Fig.3.4.7**

### 3.5. Problematika implementării regulatorului de turație pe un echipament numeric

Pe lângă avantajele ajustării foarte simple a statismelor după deschidere și putere și al configurării diferitelor structuri, schema din fig.3.3.27 prezintă avantajul de a opera cu blocuri proporționale, exceptând nivelul statismului tranzitoriu unde apar blocuri DT1. Toate aceste aspecte permit transpunerea nemijlocită a structurii regulatorului de turație prezentată atât în varianta analogică cât și în varianta numerică. În cel de-al doilea caz, calea cea mai facilă de transpunere o reprezintă implementarea cvasi-



continuală bazată pe metode de substituție [DRA 86], [LAT 77], [BAB 85], [WOL 98], [DUM 93], [AST 93].

Pentru elaborarea unei structuri de implementare a regulatorului de turație pe un sistem de conducere numeric s-au parcurs următorii pași:

1. Analiza mărimilor de intrare și ieșire (număr, tip, domeniu de variație),
2. Analiza funcțiilor și a operațiilor ce trebuie executate de către sistemul numeric, analiza perioadei de eșantionare,
3. Adoptarea unui sistem numeric și a unui mediu de programare,
4. Proiectarea interfeței hard între mărimile din proces și sistemul numeric,
5. Definirea resurselor sistemului numeric care îndeplinesc operațiile cerute,
6. Scrierea ordinogramelor programului de implementare,
7. Verificarea funcționării în laborator, pe blocuri și în ansamblu a regulatorului,
8. Verificarea funcționării pe stand de încercări a regulatorului.

### **3.6. Concluzii și contribuții**

1. În acest capitol este prezentată o nouă structură de regulator de viteză bazată pe principiul buclei cu caracter integrator, pentru turbine de hidrogenerator, concepută la Universitatea "Politehnica" din Timișoara, departamentul de Automatică și Informatică Industrială și specialiști de la Departamentul de Cercetare Proiectare al S.C. UCM Reșița.
2. Elementul de originalitate îl constituie integrarea servosistemului electro-hidraulic stabilizat într-o buclă cu amplificare în circuit deschis unitară. Bucla închisă prezintă față de exterior o comportare de tip integrator.
3. Regulatorul de viteză satisface cerințele impuse de normele CEI.
4. Regulatorul prezintă următoarele avantaje:
  - prin întreruperea buclei cu caracter integrator va rezulta un sistem stabil, deoarece sistemul deschis este stabil.
  - realizarea unei bucle cu caracter integrator în raport cu exteriorul, ca în acest caz, nu recurge la sporirea inerției sistemului caracteristică elementelor integratoare, menținând însă condiția de mărime de intrare nulă în regim staționar în raport cu punctul de atac al erorii de reglare,
  - prin proiectarea sistemului de reglare pot fi asigurate și controlate în mod independent toate condițiile impuse de normele CEI inclusiv cea referitoare la statismul tranzitoriu după deschidere, lucru mai dificil de realizat cu alte structuri,
  - regulatorul operează doar cu blocuri proporționale, exceptând nivelul statismului tranzitoriu unde apar blocuri DT1, aceasta facilitând implementarea numerică a acestuia.
5. Rezultatele proiectării au fost validate practic printr-un produs industrial fiind în funcțiune la două hidrocentrale începând din 1998, respectiv 1999. S-a procedat la simularea sistemului pe un model în care regulatorul este redat printr-un model foarte apropiat de realizarea

practică, iar partea de aducțiune-turbină, generator sincron și sistem extern printr-un model simplificat. Scenariile de simulare imaginate ilustrează o comportare performantă a regulatorului.

*Contribuții aduse:*

Activitatea de proiectare, realizare a prototipului și de implementare a regulatorului de viteză prezentat în acest capitol, în variantă analogică, a constituit o muncă de echipă desfășurată pe parcursul a patru ani. În cadrul acesteia, autorul tezei a avut în principal sarcini legate de subsistemul care realizează statismul după putere. Totodată, a participat la numeroase experimente și teste de laborator în cursul cărora a desfășurat o activitate laborioasă. În acest context el își asumă următoarele contribuții:

1. Teoretizarea globală a acestui nou tip de structură de buclă cu comportare de tip integrator, cu contribuții pe partea realizării statismului după putere;
2. Proiectarea părții de realizare a statismului după putere pentru regulatorul original,
3. Proiectarea tehnologică a unor subsisteme și participare la punerea în funcțiune a regulatorului analogic împreună cu beneficiarul S.C. UCM Reșița.

## Cap.4. Blocul de cuplare

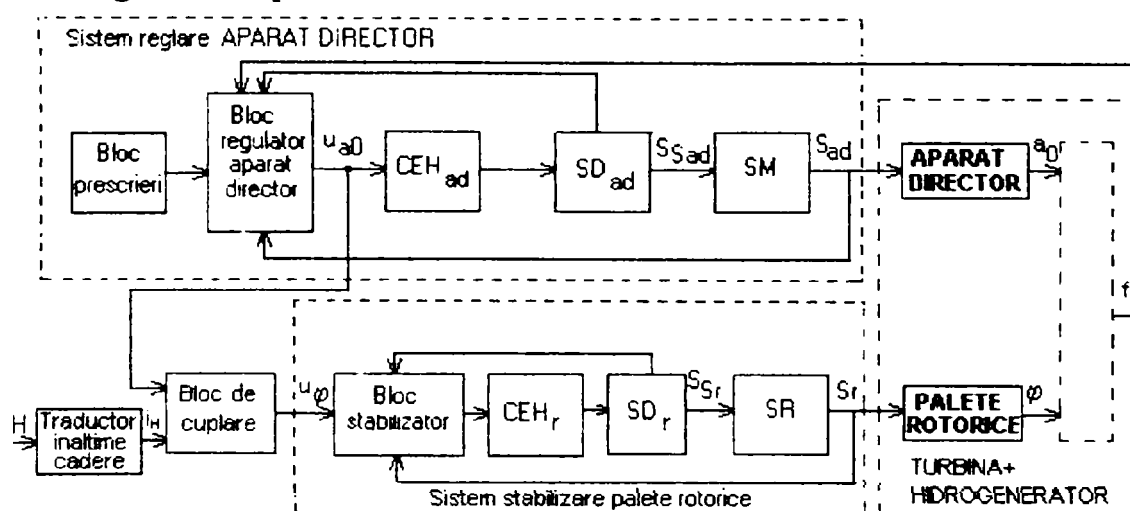
În cazul turbinelor Bulb și Kaplan, pentru a modifica puterea produsă de aceste mașini, este necesară reglarea poziției a două servosisteme. În aceste condiții trebuie asigurată corelarea și modificarea simultană a poziției paletelor aparatului director (statorice), cum a fost prezentat în cap.2. și cap.3, și cea a paletelor rotorului. Pentru aceasta, în cazul sistemelor de reglare clasice, se utilizează un echipament special denumit *combinator* [PAV 68]. În acest capitol se prezintă un algoritm de determinare a unghiului paletelor rotorice, precum și o variantă numerică de realizare a blocului combinator, denumit în lucrare, "bloc de cuplare". Sunt detaliate funcțiile pe care le îndeplinește blocul de cuplare, modul de implementare a acestora, precum și rezultatele experimentale referitoare la încercările unui bloc de cuplare numeric proiectat și realizat de autor.

### 4.1. Poziția și funcțiile blocului de cuplare

În esență, blocul de cuplare are rolul de a furniza mărimea de referință  $u_\varphi$  pentru bucla de stabilizare a poziției paletelor rotorice, controlând unghiul  $\varphi$  al acestora prin intermediul mărimii  $S_r$  (cursa servomotorului SR), în funcție de poziția paletelor statorice ( $a_0$ ), transmisă indirect prin mărimea  $u_{a0}$  de comandă a buclei de stabilizare a poziției paletelor statorice, și în funcție de nivelul căderii de apă  $H$ , transmis prin intermediul mărimii  $i_H$ .

a) Poziția ocupată de blocul de cuplare în ansamblul sistemului de reglare care asigură conducerea operației de poziționare a paletelor rotorice este prezentată în fig.4.1.1. Notațiile din figură au următoarea semnificație:

- CEH-Convertor electro-hidraulic
- SD-Sertar distribuitor
- SM-Servomotor pentru aparatul director
- SR- Servomotor pentru rotor
- Bloc prescrieri- generează mărimile de conducere ale sistemului de reglare al aparatului director



**Fig.4.1.1:** Schema bloc de principiu a sistemului de reglare a vitezei unei turbine hidraulice cu două organe de reglare

Indicii „r” și „ad” corespund rotorului, respectiv aparatului director.

**OBSERVAȚII:**

-Blocul de cuplare operează cu semnalele  $u_{\varphi}$ ,  $u_{a0}$  și  $i_H$  ce conțin informația despre valoarea  $\varphi$  a unghiului paletelor rotorice, valoarea  $a_0$  a poziției aparatului director, respectiv valoarea înălțimii căderii de apă  $H$ . Referirile ulterioare din acest paragraf, relative la mărimile de intrare sau ieșire din blocul de cuplare vor purta numele  $\varphi$ ,  $a_0$  respectiv  $H$  deoarece se consideră că în faza de prezentare teoretică este importantă informația și nu semnalul purtător de informație.

-În regim staționar constant, dependențele  $\varphi(u_{\varphi})$ ,  $i_H(H)$ , și  $a_0(u_{a0})$  sunt descrise de caracteristici prezentate în paragraful 4.3. În regim dinamic,  $u_{\varphi}(t)$  și  $u_{a0}(t)$  anticipează însă variațiile  $\varphi(t)$  și  $a_0(t)$ , iar  $i_H(t)$  variază temporizat în raport cu  $H(t)$ . La nivelul considerațiilor din cadrul acestui capitol, aspectul dinamic nu este detaliat.

- b) Din punct de vedere tehnic, blocul de cuplare poate fi realizat în diferite variante. Aceste variante pot fi clasificate după mai multe criterii, de regulă în funcție de tehnologia de realizare a blocului de cuplare și în funcție de sarcinile pe care trebuie să le îndeplinească acest bloc.

Astfel, din punct de vedere tehnologic se disting:

- v1.1- realizarea electro-mecanică - cunoscută sub denumirea de *camă combinatorică* [PAV 68], varianta este răspândită în special în centralele hidroelectrice fabricate înainte de 1980.
- v1.2- realizarea electronică digitală – cunoscută sub una din următoarele denumiri:
  - camă numerică*, atunci când implementează doar funcția *camă combinatorică*,
  - bloc de cuplare*, atunci când realizează și alte funcții; aceasă variantă este pe plan mondial în curs de răspândire generală iar soluțiile adoptate nu sunt abordate în literatură, nici teoretic și nici tehnic, chiar în documentațiile reguletoarelor.

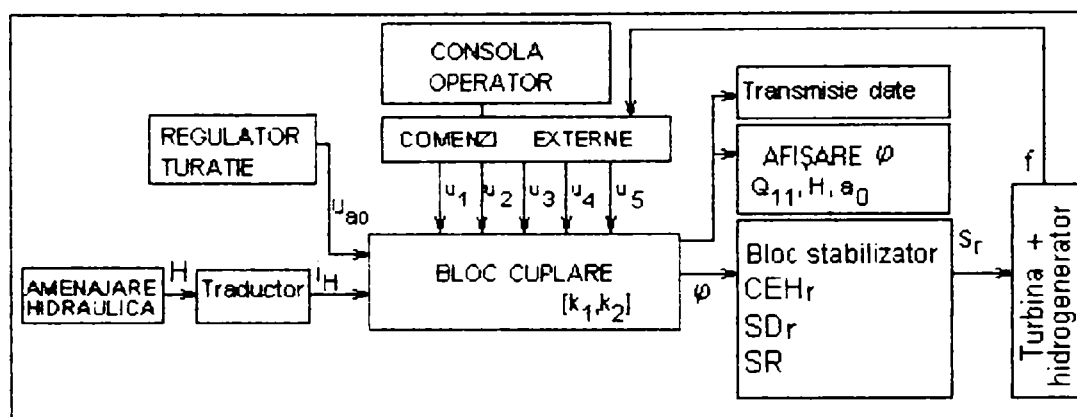
Din punctul de vedere al sarcinilor pe care le îndeplinește blocul de cuplare, apar două situații:

- v2.1- blocul realizează doar funcția *camă combinatorică* (un simplu *bloc de cuplare* ca cel din fig.4.1.1. care nu conține și bucla de reglare);
- v2.2- blocul realizează atât funcția *camă combinatorică* cât și alte funcții de conducere și supervizare a funcționării buclei de stabilizare a poziției paletelor rotorice (un

ansamblu realizat din *blocul de cuplare* împreună cu *blocul de stabilizare* în fig.4.1.1.).

Se observă că varianta v2.1 poate fi asociată cu oricare din variantele v1.1 sau v1.2, pe când v2.2 poate fi realizată din punct de vedere tehnologic doar în forma v1.2.

Pentru precizarea funcțiilor blocului de cuplare, se consideră schema informațional-funcțională din fig.4.1.2, care ilustrează, în cazul variantei v2.2, mai complexă, redă și modul în care blocul se interconectează cu exteriorul.



**Fig.4.1.2.** Schema informațional-funcțională referitoare la încadrarea blocului de cuplare

În schemă mărimile de intrare în blocul de cuplare  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_3$ ,  $u_4$  și  $u_5$  sunt de tip logic și stările acestora au semnificația:

- $u_1 = 0$ , dacă grupul se află în staționare  
1, dacă grupul se află în mișcare sau poate primi comandă de pornire ,
- $u_2 = 0$ , dacă se primește comandă de pornire grup  
1, dacă se primește comandă de revenire la repaus,
- $u_3 = 0$ , dacă grupul este în regim de funcționare normală  
1, dacă grupul este în regim de funcționare de avarie
- $u_4 = 0$ , dacă turația de lucru  $n$  este mai mică decât turația de ambalare  $n_a$ <sup>1</sup>.  
1, dacă turația de lucru  $n$  este mai mare sau egală cu turația de ambalare  $n_a$ .
- $u_5 = 0$ , indică utilizarea în regim de "limitare la stânga" a curbelor normale (maxime normale)<sup>2</sup>  
1, indică utilizarea în regim de "limitare la stânga" a curbelor majorate (maxime majorate)<sup>2</sup>,

$k_1$  și  $k_2$  sunt mărimi de stare de tip variabilă logică, care au următoarea semnificație:

<sup>1</sup> Turația de ambalare, notată  $n_a$ , este acea valoare a turației de la care sistemul de reglare automată scapă turația de sub control.

<sup>2</sup> vezi § 4.3.1.2.

<sup>3</sup> "mers în gol" este regimul de lucru în care generatorul nu este conectat la sarcină.

- $k_1 = 0$ , dacă grupul se află înainte de prima pornire  
 $1$ , dacă grupul se află după prima pornire
- $k_2 = 0$ , dacă ultimul palier atins de paletele rotorice a fost  $\varphi_{mig^3}$   
 (poziția de mers în gol)  
 $1$ , dacă ultimul palier atins de paletele rotorice a fost  $\varphi_{dm}$   
 (poziția deschis maxim).

c). În ierarhia funcțiilor pe care blocul de cuplare trebuie să le îndeplinească, se disting două categorii de funcții:

- funcții principale ( $f_p$ ) - sunt reprezentate de
  - $f_p$  camă combinatorică, validă atât pentru v2.1 cât și pentru v2.2, constă în implementarea caracteristicii de cuplare

$$\varphi = \Phi(a_0, H) \quad (4.1-1)$$

Atunci când blocul de cuplare îndeplinește funcția camă combinatorică, se spune că el se află în *regim de lucru normal*.

- $f_p$  de stabilizare, validă doar pentru v2.2, are rolul de stabilizare a servosistemului electro-hidraulic aferent paletelor rotorice. Problema stabilizării se pune la fel ca și pentru aparatul director (§3.3).
- funcții auxiliare ( $f_a$ ) sunt reprezentate de funcții de elaborare a mărimii de conducere  $u_\varphi$  pentru moduri de lucru particulare, precum și de funcții de monitorizare realizabile prin blocul de cuplare.

- $f_a$  de pregătire pornire - care constă în deplasarea paletelor rotorice între două poziții fixe dus-întors, în scopul pregătirii pornirii în regim de lucru normal. Funcția implementează caracteristica de cuplare

$$\varphi(t) = \Phi_p(t, k_{10}, k_{20}, a_0, u_1, u_2, u_3) \quad (4.1-2)$$

în care  $k_{10}$ ,  $k_{20}$  sunt valorile inițiale ale mărimilor de stare  $k_1$ ,  $k_2$ , ale blocului de cuplare.

- $f_a$  de protecție - asigură o evoluție a sistemului în *regimul de avarie*, sau de ambalare în cazul aruncării de sarcină, și anume deplasarea paletelor rotorice cu o viteză prestabilită spre poziția de mers în gol.

Caracteristica implementată de această funcție este de forma

$$\varphi(t) = \Phi_a(t, k_{10}, a_0, u_3, u_4) \quad (4.1-3)$$

- $f_a$  de limitare a deschiderii paletelor rotorice – limitează deplasarea paletelor rotorice atunci când deschiderea aparatului director  $a_0$  iese dintr-un interval prestabilit  $[a_{0\min,H}, a_{0\max,H}]$ , situație denumită *regim de limitare*, asigurând dependența

$$\varphi = \Phi_{\lim}(a_0, H, u_5) \quad (4.1-4)$$

în condițiile în care

$$a_0 \geq a_{0\max} \text{ sau}$$

$$a_0 \leq a_{0\min}$$

$$(4.1-5)$$

- $f_a$  de monitorizare –constă în transmiterea de date și informații despre starea sistemului în centrală sau la distanță.

Prezentarea manierei de realizare practică a acestor funcții face obiectul paragrafelor ce urmează.

## 4.2. Implementarea funcțiilor blocului de cuplare în variantă numerică (v1.2 conform §4.1)

### 4.2.1 Descrierea funcțiilor

#### 4.2.1.1. Funcția camă combinatorică

Pentru o amenajare hidroenergetică dotată cu turbine cu două organe de reglare, între înălțimea căderii de apă ( $H$ ), deschiderea aparatului director ( $a_0$ ), pe de o parte, și poziția ( $\varphi$ ) a paletelor rotorice ale turbinei, pe de altă parte, atunci când randamentul acestora corespunzător puterii active debitată în condiții date este maxim, există o dependență neliniară specifică. Această dependență este descrisă indirect de caracteristica universală a turbinei care conține un ansamblu de diagrame obținute experimental.

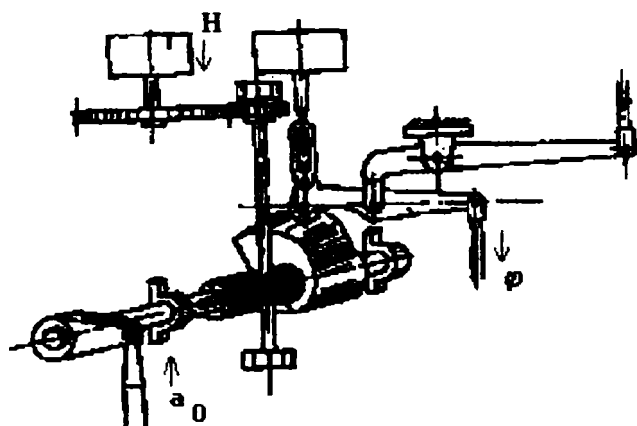


Fig.4.2.1. Cama combinatorică mecanică [PAV 68]

Prin funcția *camă combinatorică* se modelează dependența dedusă din aceste diagrame sub forma (4.1-1) cu semnificația de dependență care generează valoarea optimă a lui  $\varphi$  pentru valori ale lui  $a_0$  și  $H$  date. În varianta v1.1,  $\varphi$  se determină mecanic prin poziția unui palpator pe o cămă spațială (fig.4.2.1) [PAV 68], mărimile de intrare fiind poziția unghiulară a camei ce reprezintă măsura deschiderii aparatului director  $a_0$  și poziția longitudinală a acesteia, ca măsura a înălțimii căderii de apă  $H$ .

În cazul variantei numerice propuse în cadrul tezei, determinarea lui  $\varphi$ , conform funcției *camă combinatorică* se face prin următoarele operații:

- se achiziționează informațiile referitoare la valorile mărimilor de intrare  $H$  și  $a_0$ ,
- se generează pe baza unui tabel cămă combinatorică discretă din memoria blocului de cuplare numeric valoarea lui  $\varphi$  corespunzătoare caracteristicii (4.1-1) care este cunoscută sau, în cazul în care nu este cunoscută se determină conform §4.3.,
- se transmite valoarea lui  $\varphi$  prin mărimea de conducere  $u_\varphi$ , sistemului de stabilizare a servosistemului electro-hidraulic.

Pentru construirea tabelului menționat se pornește de la următoarele dependențe:

$$n_{11} = f_1(Q_{11}) \quad \text{cu parametrul } \alpha_0 \in \{\alpha_{0,1}, \alpha_{0,2}, \dots, \alpha_{0,c}\} = M_{\alpha_0} \quad (4.2-1)$$

cu  $\alpha_{0,1} = \alpha_{0\min}$ ,  $\alpha_{0,c} = \alpha_{0\max}$ , și

$$n_{11} = f_2(Q_{11}) \quad \text{cu parametrul } \varphi \in \{\varphi_{,1}, \varphi_{,2}, \dots, \varphi_{,c}\} = M_\varphi \quad (4.2-2)$$

conținute în caracteristica universală a turbinei. În aceste relații  $n_{11}$  este turația optimă (ce asigură pentru căderea de apă  $H$ , puterea maximă furnizată de hidrogenerator), exprimată în rpm, cu

$$n_{11} \in [n_{11\min}, n_{11\max}],$$

iar  $Q_{11}$  este debitul de apă exprimat în l/s. Dependența dintre  $n_{11}$  și  $H$  este:

$$n_{11} = \frac{n_a * D}{\sqrt{H}} \quad (4.2-3)$$

cu  $n_a$  = turația nominală [rpm],  $D$  = diametrul turbinei [m],  $H$  = căderea [m]. parametrul  $\alpha_0$  este deschiderea aparatului director pentru un model de teoretic de calcul, dependența dintre deschiderea  $a_0$  a aparatului director real și  $\alpha_0$  este:

$$a_0 = \frac{D_{OT} Z_{OM}}{D_{OM} Z_{OT}} \alpha_0 \quad (4.2-4)$$

în care :  
 $D_{OT}$  este diametrul turbinei reale  
 $D_{OM}$  este diametrul turbinei model  
 $Z_{OT}$  este numărul de palete directoare pentru turbina reală  
 $Z_{OM}$  este numărul de palete directoare pentru turbina model.



Înlocuind (4.2-3) și (4.2-4) în (4.2-1) și (4.2-2), rezultă:

$$\frac{n_a D}{\sqrt{H}} = f_1(Q_{11}) \text{ cu parametrul } \frac{D_{OT} Z_{OM}}{D_{OM} Z_{OT}} \quad (4.2-1')$$

$$\frac{n_a D}{\sqrt{H}} = f_2(Q_{11}) \text{ cu parametrul } \varphi \quad (4.2-2')$$

Se observă că, principial, prin eliminarea mărimii  $Q_{11}$  din cele două relații, se poate obține relația (4.1-1), adică funcția camă combinatorică.

Etapele parcurse pentru construirea tabelului camă combinatorică discretă bazate tocmai pe o astfel de eliminare, vor fi prezentate în §4.3. referitor la implementarea funcției camă combinatorică.

#### 4.2.1.2. Funcția de stabilizare

Funcția de stabilizare este prezentată detaliat în §3.3.1.

#### 4.2.1.3. Funcția de “pregătire pornire grup”

Prin această funcție se asigură o secvență de deplasare după un scenariu prestabilit a paletelor rotorice, caracterizată printr-o dinamică mult mai lentă decât cea corespunzătoare funcției de stabilizare; secvența este pregătitoare pentru pornirea efectivă.

Funcția de pregătire pornire grup este validă în cazul în care grupul hidroenergetic îndeplinește următoarele condiții relative la variabilele de intrare și de stare numite *condiții de validare* (în paranteze sunt precizate valorile logice adoptate):

1. este validată o comandă de pregătire a mișcării ( $u_1=1$ ),
2. grupul se află înainte de prima pornire ( $k_{10}=0$ ),
3. ultimul palier de funcționare a paletelor a fost cel de “mers în gol” ( $k_{20}=0$ ),
4. nu este semnalată din exterior o avarie ( $u_3=0$ ),
5. este primit semnalul de pregătire pornire ( $u_2=0$ ).

Operațiile care se execută de către blocul de cuplare sunt:

- semnalarea unei erori atunci când apar condiții de validare a comenzii de pornire și  $a_0 \neq 0$  (aparatură director nu este închis),
- elaborarea unei comenzi

$$\dot{\varphi}(t) = \dot{\varphi}_1 = \text{constant}$$

în condiții de validare, până când se obține o valoare

$$\varphi = \varphi_{\text{mig}} \text{ (de mers în gol),}$$

- setarea stării  $k_2 = 1$  atunci  $\varphi = \varphi_{\text{mig}}$  și rămânerea în așteptare ( $\dot{\varphi}(t) = 0$ ),
- elaborarea unei comenzi  $\dot{\varphi}(t) = \dot{\varphi}_2 = \text{constant}$ , în cazul în care se primește comanda  $u_2 = 1$ , până când se obține o valoare  $\varphi = \varphi_{\text{dm}}$  (poziție deschis maxim),
- încheierea operațiilor din cadrul funcției de pregătire pornire în momentul în care  $a_0 \neq 0$ , și începerea operațiilor funcției camă combinatorică,

#### 4.2.1.4. Funcția de protecție

În regimul de avarie al grupului, paletele rotorice trebuie să fie aduse în poziția de mers în gol cu o viteză prestabilită  $\dot{\varphi}_1$ . Funcția este validă în următoarele condiții:

1. grupul este în mișcare ( $u_1 = 1$ ),
2. este semnalată existența unei avarii ( $u_3 = 1$ ),
3. este semnalată o turație mai mare decât turația de ambalare  $n_{\text{amb}}$  ( $u_4 = 0$ ).

În cadrul acestei funcții se execută operațiile:

- elaborarea unei comenzi  

$$\dot{\varphi}(t) = \dot{\varphi}_1 = \text{constant}$$
 până când se obține o valoare  

$$\varphi = \varphi_{\text{mig}} \text{ (de mers în gol),}$$
- afișarea unui mesaj ce indică regimul de avarie
- setarea stării  $k_2 = 1$  atunci  $\varphi = \varphi_{\text{mig}}$  și rămânerea în așteptare ( $\dot{\varphi}(t) = 0$ ), până la primirea unui nou semnal de pornire

#### 4.2.1.5. Funcția de limitare

În situațiile în care blocul lucrează în regim normal, iar la un moment dat, pentru o înălțime de cădere  $H$ , mărimea de intrare  $a_0$  devine mai mare decât o valoare  $a_{0\text{max},H}$  sau mai mică decât o valoare  $a_{0\text{min},H}$ , situație denumită *regim de limitare*, blocul de cuplare trebuie să păstreze valoarea unghiului  $\varphi$  egală cu cea de la momentul atingerii valorii limită respective ( $a_{0\text{max},H}$  sau  $a_{0\text{min},H}$ ). Cele două valori limită se determină pe baza unor caracteristici de proiectare, dependentă de amenajare; caracteristicile sunt de forma:

$$a_{0\text{max},H} = a_{0\text{max}}(H), \text{ pentru funcționarea cu maxime normale } (u_5 = 0)$$

$$a_{0\text{max},H} = a_{0\text{max\_maj}}(H), \text{ pentru funcționarea cu maxime majorate } (u_5 = 1)$$

$$a_{0\text{min},H} = a_{0\text{min}}(H),$$

Operațiile care se execută în acest caz sunt:

- elaborarea comenzii

$$\varphi = \varphi(a_{0\min,H}, H) \quad \text{pentru} \quad \forall a_0 < a_{0\min,H} \quad (4.2-5)$$

- elaborarea comenzii

$$\varphi = \varphi(a_{0\max,H}, H) \quad \text{pentru} \quad \forall a_0 > a_{0\max,H} \quad (4.2-6)$$

#### 4.2.1.6. Funcția de monitorizare

Blocul de cuplare are sarcina de a informa operatorul sau un sistem ierarhic superior despre starea sau regimul în care se află el, despre valorile mărimilor generate sau despre cele de la intrare. Prin funcția de monitorizare se pot afișa unele informații, în acord cu cerințele beneficiarului centralei hidro-electrice.

Operațiile care se execută sunt:

- Afișarea permanentă a valorii unghiului poziției paletelor rotorului  $\varphi$
- Afișarea opțională a valorilor deschiderii aparatului director  $a_0$ , a înălțimii căderii de apă  $H$ , a debitului  $Q_{11}$  și a turației  $n_{11}$

OBS: - Afișarea mărimilor de intrare este utilă în fazele de verificare, calibrare sau depanare a blocului de cuplare. În aceste situații, funcția de monitorizare trebuie să facă posibilă rularea pas-cu-pas a operațiilor din cadrul funcției camă combinatorică.

- Afișarea mesajelor referitoare la
  - erorile în funcționarea grupului determinate de desincronizări care au apărut între diverse mărimi de intrare sau de stare;
  - regimul de lucru;
    - de pregătire a pornirii,
    - de limitare - lucrul după curbe normale sau majorate,
    - de avarie,
    - normal;
  - diversele stări curente ale paletelor rotorice;
    - sens de deplasare a paletelor rotorului,
    - atingerea de palete a unor poziții prestabilite.
- Transmiterea la distanță a datelor referitoare la valorile unor mărimi din proces ( $\varphi$  și  $Q_{11}$ ).

Afișarea mărimilor, a stărilor și a regimurilor se face pe un display alfanumeric conectat la echipamentul numeric care implementează blocul de cuplare. Mărimile  $\varphi$  și  $Q_{11}$  pot fi afișate la distanță medie pe aparate analogice indicatoare, această soluție fiind folosită la vechile hidrocentrale. În cazul sistemelor de reglare moderne, cu echipamente numerice, se poate renunța la aceste soluții (aparate analogice de indicare), existând o serie de posibilități tehnice de a transmite și afișa informațiile și la distanțe mari.

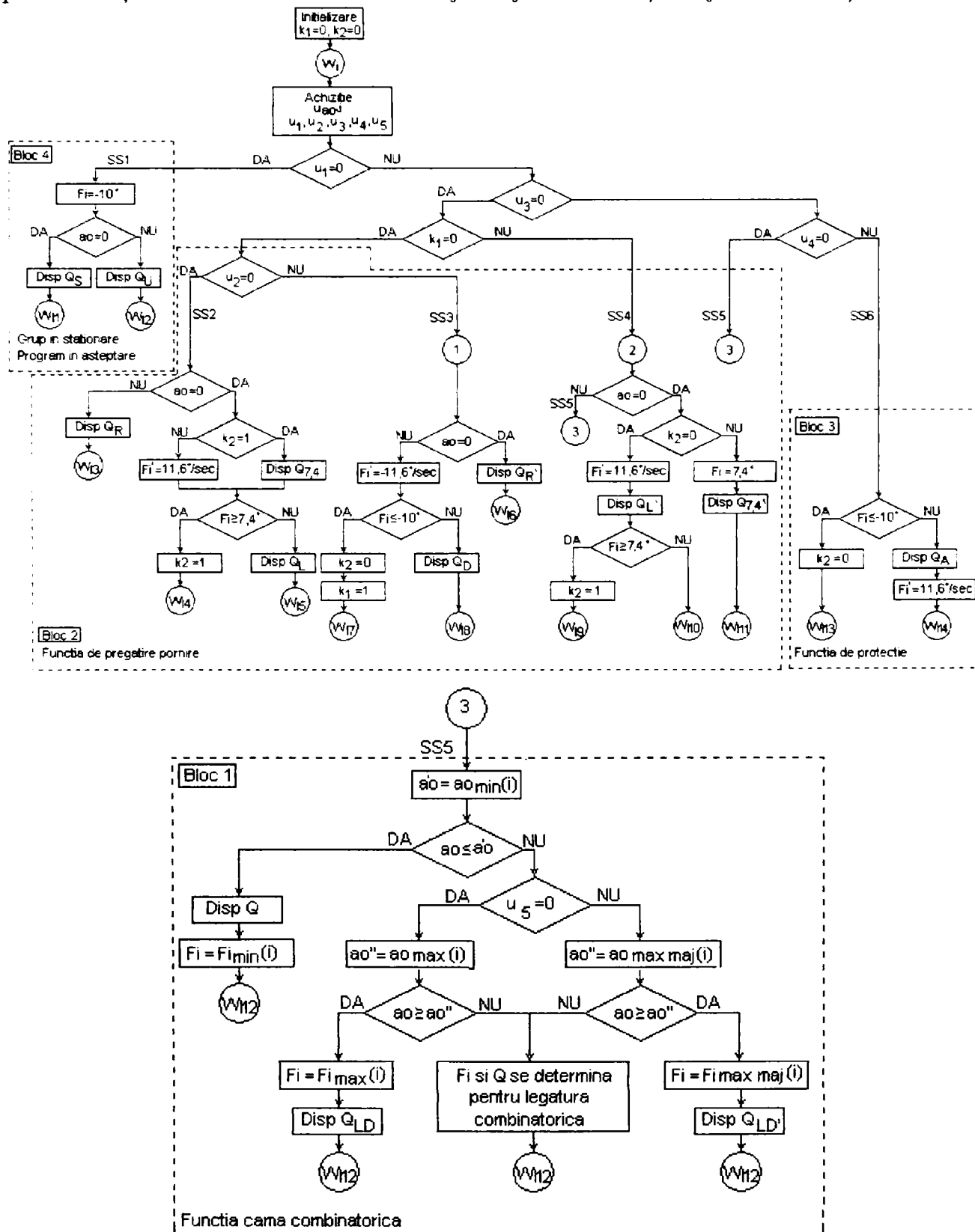


Fig.4.2.2 Organigrama operațiilor ce se execută în cadrul funcțiilor blocului de cuplare

În fig.4.2.2 este prezentată organigrama operațiilor asociate funcțiilor blocului de cuplare descrise în §4.2.1.

Prima operație este cea de inițializare a variabilelor de stare  $k_0$  și  $k_1$  la valoarea "0", după care se execută ciclic câte unul dintre segmentele de operații cuprinse între marcajele " $W_i$ " și " $W_{1,x}$ ". Fiecare segment începe în " $W_i$ " cu achiziția mărimilor de intrare  $u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_{a_0}$  și  $i_H$  și se încheie în unul din punctele " $W_{1,x}$ " după execuția unui șir de operații.

Selecția segmentului care se execută la fiecare revenire în punctul " $W_i$ " se face dependent de combinațiile valorilor mărimilor de intrare și stare.

Organigrama conține mai multe ramuri. Cu privire la acestea se impun următoarele precizări:

- Segmentul de operații corespunzător funcției camă combinatorică este cuprins între modulele "3" și " $W_{1,12}$ ", (Bloc 1).
- Segmentele de operații corespunzător funcției de pregătire pornire sunt încadrate între modulele " $W_i$ " și " $W_{1,3}$ " → " $W_{1,11}$ ", (Bloc 2).
- Segmentele de operații corespunzător funcției de protecție sunt inserate între modulele " $W_i$ " și " $W_{1,13}$ ", " $W_{1,14}$ ", (Bloc 3).
- Segmentele de operații corespunzător așteptării unei comenzi sunt cuprinse între modulele " $W_i$ " și " $W_{1,1}$ ", " $W_{1,2}$ ", (Bloc 4).

Operațiile corespunzătoare funcției de limitare sunt incluse în funcția camă combinatorică (detalii în §4.4.3), iar cele corespunzătoare funcției de monitorizare sunt incluse în toate cele patru blocuri.

### 4.3. Construirea tabelului camă combinatorică discretă

În acest paragraf este descrisă metodologia de construire a *tabelului camă combinatorică* discretă bidimensional de 128 x 128 valori, care are rolul de a reda dependența (4-1):

$$\varphi = \Phi (a_0, H).$$

Dimensiunea 128x128 a fost aleasă din considerente de implementare a blocului de cuplare cu echipament numeric. În primul rând a fost considerată dimensiunea memoriei în care este încărcat tabelul, iar în al doilea rând s-a ținut cont de caracteristicile convertorului analog-numeric prin care sunt achiziționate valorile lui  $a_0$  și  $H$ . Detaliile sunt prezentate în §4.4. referitor la implementarea blocului de cuplare.

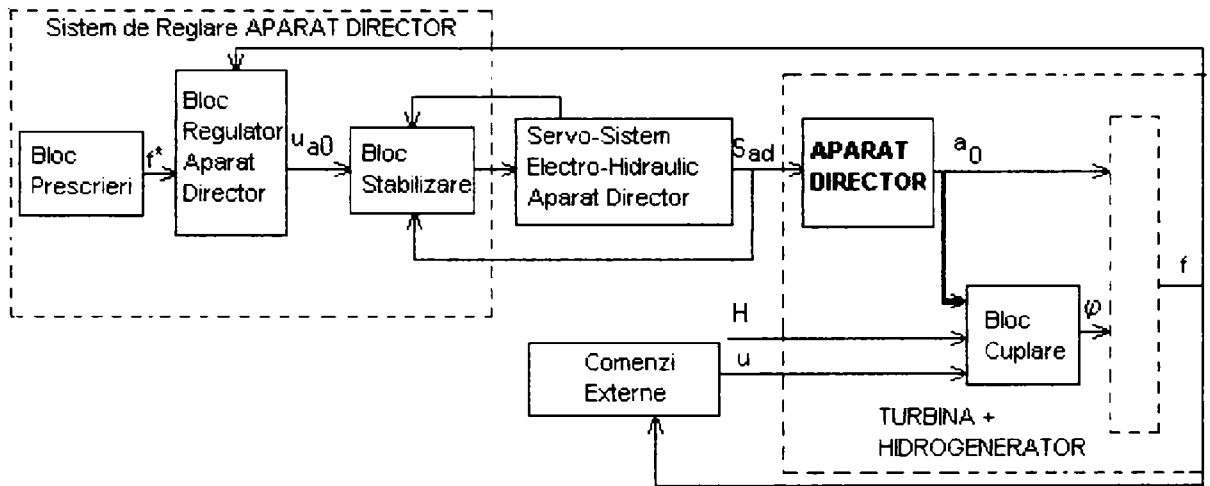
Dependența este definibilă din datele de proiectare ale turbinei numai pentru un regim staționar.

<sup>4</sup> "x" ia valorile 1, 2, ..., 14 corespunzătoare diferitelor puncte de revenire la nodul " $W_i$ ".

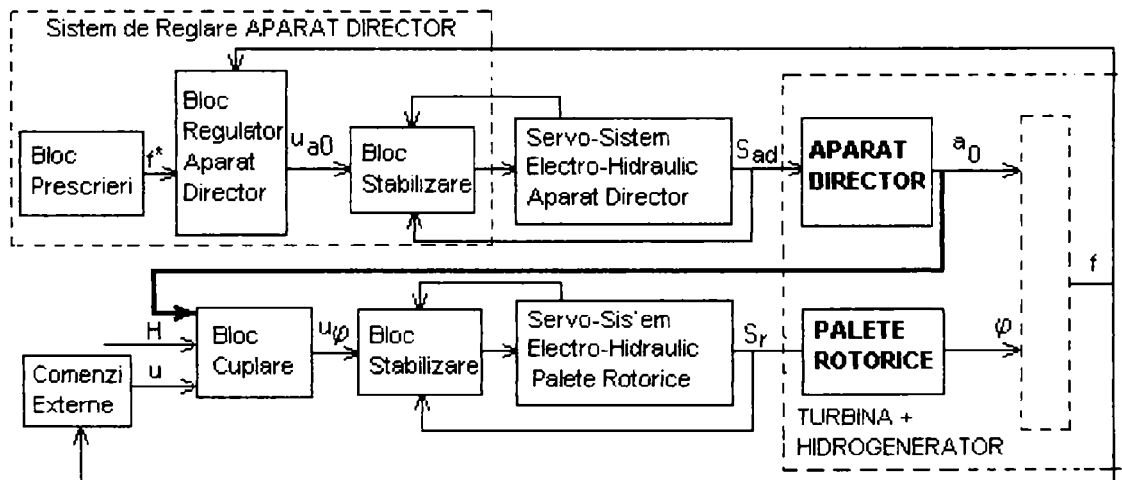
Schema ideală de implementare a dependenței

$$\varphi = \Phi (a_0 , H)$$

are aspectul din fig.4.3.1. Întrucât mișcarea paletelor rotorice se face de către servosistemul electrohidraulic asociat, o implementare posibilă, în varianta că la intrarea camei s-ar aplica mărimea  $a_0$ , este cea din fig. 4.3.2. În această schemă, funcția camă este modificată, fiind adaptată dependenței staționare dintre  $u_\varphi$  și  $\varphi$ . O astfel de implementare are însă dezavantajul temporizării introduse de bucla de stabilizare a paletelor rotorice. Pentru a compensa parțial acest dezavantaj, se folosește schema dată inițial în fig.4.1.1.



**Fig.4.3.1.** Schema ideală de implementare a funcției camă conform relației  $\varphi = \Phi (a_0 , H)$



**Fig.4.3.2.** Variantă de schemă de implementare a funcției camă conform relației  $\varphi = \Phi (a_0 , H)$

Efectuând conexiunea după  $u_{a0}$  se anticipează variația lui  $a_0$  sau, altfel spus, se “compensează temporizarea” de pe canalul  $u_{a0} \rightarrow a_0$ . Evident și de data aceasta funcția camă ține seama de dependența staționară dintre  $u_{a0}$  și  $a_0$ .

Adaptarea, care conduce la o funcție  $\Phi^*(u_{a0})$  are în vedere faptul că:

- i) înălțimea  $H$  variază lent în raport cu timpul și, în consecință, se poate considera constantă pe un interval de timp pe care bucelele din fig.4.1.1 se stabilizează,
- ii) caracteristicile  $\varphi = \Phi(a_0, H) \big|_{H=\text{const}} = \Phi^*(a_0)$ ,  $H$ =parametru, sunt strict monotone și inversabile.

Astfel:

- Se face abstracție de variațiile mărimii  $H$  pe intervale de timp ca și cele de la punctul i).
- Se consideră  $a_0 = f_{a0}(u_{a0})$ ,  $\varphi = f_{\varphi}(u_{\varphi})$  caracteristicile stationare ale celor două bucle de stabilizare, caracteristici continue, monotone și inversabile.

Atunci rezulta:

$$u_{\varphi} = f_{\varphi}^{-1}(\Phi^*(f_{a0}(u_{a0}))) = \Phi^*(u_{a0}), \text{ cu } H \text{ parametru.}$$

Cum între  $H$  și  $i_H$  există dependența

$$i_H = f_H(H),$$

se obține relația

$$u_{\varphi} = \Phi^*(u_{a0}), \text{ cu } i_H \text{ parametru, sau}$$

$$u_{\varphi} = \Phi^*(u_{a0}, i_H), \quad (4.1-1')$$

care reprezintă *funcția camă combinatorică* care va fi implementată.

Tabelul camă combinatorică discretă are pe axa orizontală, ca etichete, valorile lui  $u_{a0}$ :  $(u_{a0})_k$ ,  $k = 1 \div 128$ , (prima coordonată), pe axa verticală valorile lui  $i_H$ :  $(i_H)_j$ ,  $j = 1 \div 128$ , (a doua coordonată) organizate în mulțimile:

$$M_{(u_{a0})} = \{(u_{a0})_1, (u_{a0})_2, \dots, (u_{a0})_{128}\} \quad (4.3-1)$$

$$M_{(i_H)} = \{(i_H)_1, (i_H)_2, \dots, (i_H)_{128}\} \quad (4.3-2)$$

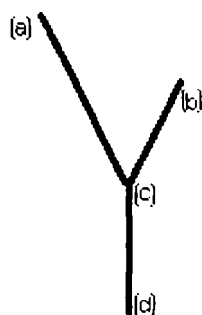
iar în locații valorile lui  $u_{\varphi}$ :

$$u_{\varphi k,j} = \Phi((u_{a0})_k, (i_H)_j) \text{ conform (4-1')}.$$

#### 4.3.1. Punerea problemei construirii tabelului camă combinatorică numerică

Ca punct de pornire, proiectantul camei poate fi pus în diferite situații, în funcție de nivelul datelor furnizate de tehnologul de proces:

- a) se poate pleca de la diagrama universală,
- b) se poate pleca de la caracteristici extrase din diagrama universală.



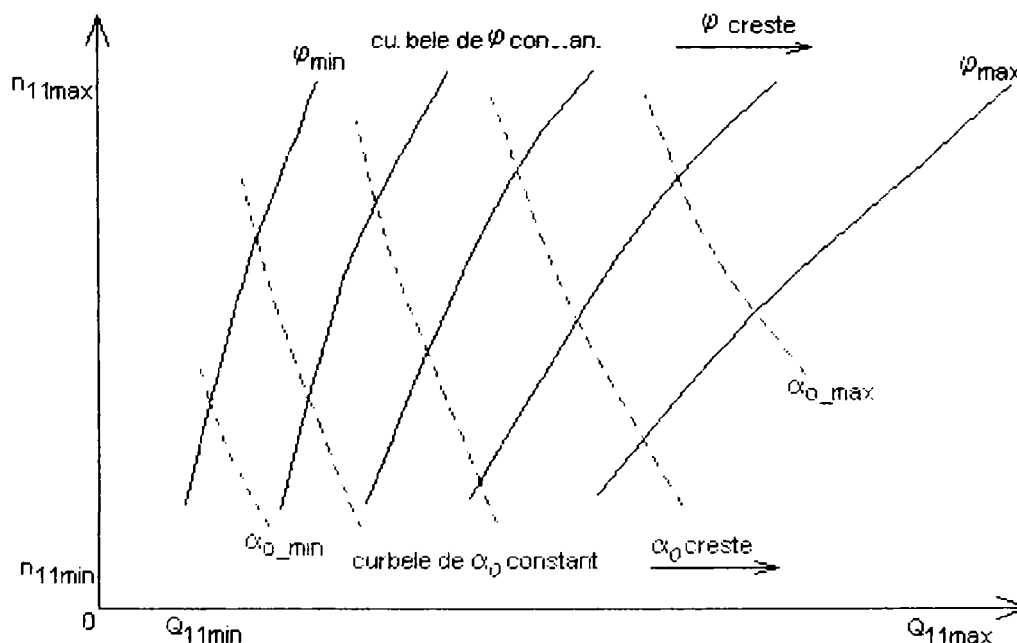
**Fig.4.3.3.** Diagrama operațiilor care se execută pentru construirea tabelului camă combinatorică

Pentru construirea tabelului camă combinatorică în cele două cazuri, se execută operații simbolizate prin diagrama din fig.4.3.3, cu următoarele semnificații:

- obținerea tabelului în cazul (a) presupune o serie de operații diferite de cele din cazul (b), și anume segmentul (a)-(c), precum și operații comune cu cazul (b), și anume segmentul (c)-(d).
- în cazul (b), operațiile diferite sunt simbolizate prin segmentul (b)-(c).
- segmentul (c)-(d) care este comun celor două variante și se referă la operațiile de organizare a datelor din tabel în memorie (v. §4.4.4.2. pct.5.1).
- în punctul (d), este obținut Tabelul camă combinatorică discretă.

#### 4.3.1.1 Construirea tabelului camă combinatorică discretă pentru cazul a)

Punctul de pornire pentru construirea tabelului este așa-numita diagramă universală (fig.4.3.4) [\*\*\* 84]. Ea constă din două familii de curbe corespunzătoare relațiilor (4.2-1) și (4.2-2). Fiecare familie are "c" curbe corespunzătoare la "c" valori ale parametrilor  $\varphi$  și  $\alpha_0$ .



**Fig.4.3.4.** Exemplificare pentru diagrama universală a turbinei [\*\*\* 84]



OBSERVAȚIE: Relațiile dintre  $H$  și  $n_{11}$ , respectiv dintre  $a_0$  și  $\alpha_0$  au fost precizate în §4.2.1.1 prin egalitățile (4.2-3) respectiv (4.2-4).

Semnificația curbelor este următoarea:

- curbele de tip (4.2-1), marcate în fig.4.3.4. cu linie continuă, furnizează valoarea optimă a turației  $n_{11}$  pentru un debit  $Q_{11}$  și o deschidere de valoare  $\varphi$  a paletelor rotorice, optim însemnând o turație pentru care puterea activă debitată este maximă,
- curbele de tip (4.2-2), marcate în fig.4.3.4. cu linie întreruptă, furnizează valoarea optimă a turației  $n_{11}$  pentru un debit  $Q_{11}$  și o deschidere de valoare  $\alpha_0$  a paletelor rotorice.

#### 4.3.1.1.1. Etapele construirii tabelului camă combinatorică discretă

Pentru a obține tabelul camă combinatorică discretă  $\{\varphi_{k,j}\}$ , autorul a dezvoltat și aplicat o metodă de calcul constând în următoarele etape:

##### 1) *Determinarea unor expresii analitice de aproximare a dependențelor diagramei universale.*

- Operația este necesară întrucât, pentru dependențele (4.2-1) din diagrama universală, nu se dispune de expresii analitice, dependențele fiind determinate empiric, prin puncte.
- Având în vedere aspectul acestor curbe, redabil analitic cu aproximare prin expresiile mai multor funcții uzuale, pentru fiecare curbă din familie se parcurg următoarii pași:
  - Se stabilește o mulțime de funcții uzuale utilizabile pentru aproximare, fiecare dintre acestea având un anumit număr de parametri ce trebuie determinați. Vectorul acestor parametri se notează pentru fiecare funcție în parte cu  $p'$  pentru curbele de tipul (4-6) și cu  $p''$  pentru curbele de tipul (4-7).

Funcțiile utilizate pentru aproximare sunt notate generic cu  $y=f(x)$ :

$$y_1(x) = \frac{Ax + B}{x + C} \quad ; \quad y_5(x) = A + Bx^C \quad ;$$

$$y_2(x) = Ae^{Bx} + C \quad ; \quad y_6(x) = \frac{A}{1 + Bx^C} \quad ;$$

$$y_3(x) = Ae^{\frac{B}{x}} + C \quad ; \quad y_7(x) = Ax^2 + Bx + C .$$

$$y_4(x) = (Ax + B)e^{Cx} ;$$

- Folosind metode din analiza matematică, se determină parametri fiecărei funcții de aproximare a fiecărei caracteristici din diagramă.

- Se compară global<sup>5</sup>, printr-un criteriu comun și considerând aceleași puncte, aproximările realizate de funcțiile obținute; de exemplu, ca și criteriu se poate considera metoda celor mai mici pătrate, și se stabilește cea mai bună aproximare.

Fie:

$$\mathfrak{J}_{\alpha_0} = \{f_{1,1}, f_{1,2}, \dots, f_{1,c}\}, \quad (4.3-3)$$

mulțimea funcțiilor de aproximare alese pentru caracteristicile (4-6), pentru cele "c" valori ale parametrului  $\alpha_0$ , și

$$P_{\alpha_0} = \{p_1', p_2', \dots, p_c'\}, \quad (4.3-4)$$

mulțimea vectorilor parametrilor funcțiilor din  $\mathfrak{J}_{\alpha_0}$ , și fie:

$$\mathfrak{J}_{\varphi} = \{f_{2,1}, f_{2,2}, \dots, f_{2,c}\}, \quad (4.3-5)$$

mulțimea funcțiilor de aproximare alese pentru caracteristicile (4.2-2), pentru cele "c" valori ale parametrului  $\varphi$  rezultate după parcurgerea celor trei pași enumerați, iar

$$P_{\varphi} = \{p_1'', p_2'', \dots, p_c''\}, \quad (4.3-6)$$

mulțimea vectorilor parametrilor funcțiilor din  $\mathfrak{J}_{\varphi}$ .

## 2) Determinarea matricei ajutătoare $Q_{11_{\alpha_0}}$ $128 \times 128$ pentru curbele de parametru $\alpha_0$ ,

Matricea este necesară în ultima etapă a metodei de calcul. Determinarea ei se face în ipoteza că dependențele (4.2-1) sunt particularizări ale unui model generativ continuu de parametru  $\alpha_0$ :

$$n_{11} = f_1(Q_{11}) \text{ cu parametrul } \alpha_0 \in [\alpha_{0\min}, \alpha_{0\max}], \quad (4.2-1')$$

și ca urmare și vectorul parametrilor  $P_{\alpha_0}$  conține tot particularizări ale unui alt model generativ vectorial continuu în raport cu  $\alpha_0$ .

În aceste condiții se determină 128 de valori echidistante ale parametrului  $\alpha_0$ ,

$$M_{(\alpha_0)} = \{(\alpha_0)_1, (\alpha_0)_2, \dots, (\alpha_0)_{128}\}, \quad (4.3-7)$$

unde  $(\alpha_0)_1 = \alpha_{0\min}$  și  $(\alpha_0)_{128} = \alpha_{0\max}$ .

Pornind de la punctele de sprijin  $(p_i', \alpha_{0,i})$ , cu  $p_i' \in P_{\alpha_0}$ ,  $\alpha_{0,i} \in M_{\alpha_0}$ ,  $i=1 \div c$ , prin interpolare spline [DRE 96] se determină valorile

<sup>5</sup> Prin "global" s-a denumit faptul că eroarea de aproximație se calculează pe "tip de funcție de aproximare" prin însumarea erorilor de aproximare corespunzătoare tuturor celor "c" curbe din diagrama universală.

vectorului parametrilor corespunzător celor 128 de valori ale lui  $(\alpha_0)_{i \in M(\alpha_0)}$ :

$$M_{(p')} = \{(p')_1, (p')_2, \dots, (p')_{128}\}. \quad (4.3-4')$$

Fie:

$$\mathfrak{J}_{(f_1)} = \{(f_1)_1, (f_1)_2, \dots, (f_1)_{128}\}, \quad (4.3-3')$$

de parametru  $(\alpha_0)_{i \in M(\alpha_0)}$ .

mulțimea de funcții<sup>6</sup> corespunzătoare mulțimii de parametri  $M_{(p')}$ . Mulțimile  $\mathfrak{J}_{(f_1)}$  și  $M_{(\alpha_0)}$  satisfac dependența (4.2-1), adică:

$$n_{11} = (f_1)_k(Q_{11}) \text{ pentru } \alpha_0 = (\alpha_0)_k, k=1 \div 128. \quad (4.2-1'')$$

Se obțin astfel 128 de curbe exprimate analitic ce descriu dependența mărimii  $n_{11}$  de mărimea  $Q_{11}$ , având parametru pe  $\alpha_0 \in M(\alpha_0)$ .

Fie :

$$M_{(n_{11})} = \{(n_{11})_1, (n_{11})_2, \dots, (n_{11})_{128}\}, \quad (4.3-8)$$

cu  $(n_{11})_1 = n_{11\min}$ , și  $(n_{11})_{128} = n_{11\max}$ , o mulțime de valori echidistante ale lui  $n_{11}$ .

Pentru fiecare dintre curbele (4.2-1''), folosind funcția inversă  $(f_1)_k^{-1}$ , se calculează 128 de valori ale lui  $Q_{11}$  corespunzătoare celor 128 de valori echidistante ale mărimii  $n_{11}$ :

$$Q_{11_{\alpha_0}}(k,j) = (f_1)_j^{-1}((n_{11})_k) \quad k=1 \div 128, j=1 \div 128. \quad (4.3-9)$$

Se obține astfel câte o mulțime de 128 de valori ale lui  $Q_{11}$  pentru fiecare dintre cele 128 de valori ale lui  $(\alpha_0)_{j \in M(\alpha_0)}$ . Cu această mulțime se completează tabelul  $Q_{11_{\alpha_0}}$  astfel (fig.4.3.5):

- se completează coloana "j" cu valorile funcției (4.3-9) când k variază de la 1 la 128 (prima coordonată de linie variază pe când a doua coordonată de coloană este păstrată constantă);
- se repetă operația pentru toate cele 128 de coloane.

<sup>6</sup> Aceste 128 de funcții sunt continue și strict monotone pe un interval compact. În consecință sunt bijective și există inversele  $(f_1)_k^{-1}$ ,  $k=1 \div 128$ .

$(n_{11})_{128}$	$Q_{11_{\alpha_0}}(128,1)$				$Q_{11_{\alpha_0}}(128,128)$
$(n_{11})_k$			$Q_{11_{\alpha_0}}(k,j)$		
$(n_{11})_1$	$Q_{11_{\alpha_0}}(1,1)$				$Q_{11_{\alpha_0}}(1,128)$
	$(\alpha_0)_1$	...	$(\alpha_0)_j$	...	$(\alpha_0)_{128}$

**Fig.4.3.5.** Prezentarea sub formă de tabel a structurii matricei  $Q_{11_{\alpha_0}}$

3) *Determinarea matricei intermediare  $Q_{11_{\varphi}}$  pentru curbele de parametru constant  $\varphi$ .*

$Q_{11_{\varphi}}$  este a doua matrice ajutătoare pentru determinarea tabelului camă combinatorică discretă.

$(n_{11})_{128}$	$Q_{11_{\varphi}}(128,1)$				$Q_{11_{\varphi}}(128,c)$
$(n_{11})_k$			$Q_{11_{\varphi}}(k,j)$		
$(n_{11})_1$	$Q_{11_{\varphi}}(1,1)$				$Q_{11_{\varphi}}(1,c)$
	$\varphi_1$	...	$\varphi_j$	...	$\varphi_c$

**Fig.4.3.6** Structura matricei  $Q_{11_{\varphi}}$  prezentată sub formă de tabel

Considerând curbele (4.3-4), pentru fiecare valoare  $(n_{11})_k \in M_{(n_{11})}$ , se calculează câte "c" valori ale lui  $Q_{11}$ , utilizând funcția inversă  $f_{2,j}^{-1}$ , valori notate cu  $Q_{11_{\varphi}}(k,j)$ .

$$Q_{11_{\varphi}}(k,j) = f_{2,j}^{-1}((n_{11})_k) \quad k=1 \div 128, j=1 \div c, \quad (4.3-10)$$

obținându-se o matrice  $Q_{11_{\varphi}}$  de dimensiune 128 x "c"; etichetele de pe verticală (coloană) corespund lui  $n_{11}$ , iar etichetele de pe orizontală (linie) corespund lui  $\varphi$  (fig.4.3.6).

4) *Determinarea tabelului camă combinatorică discretă.*

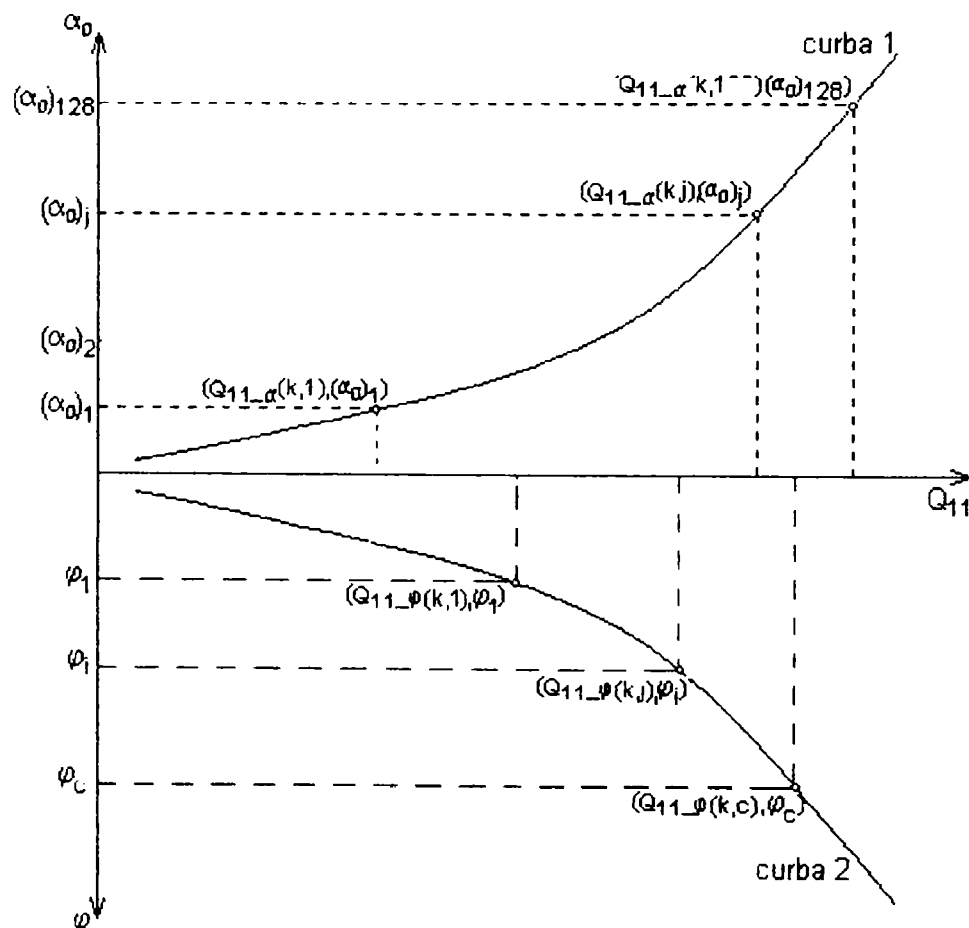
Se consideră cele două matrice ajutătoare  $Q_{11_{\alpha_0}}$  și  $Q_{11_{\varphi}}$ . În fiecare din cele două matrice se consideră linia "k" (corespunzătoare valorii  $(n_{11})_k \in M_{(n_{11})}$  a lui  $n_{11}$ ). Pentru prima matrice, linia "k" conține valorile:

$$Q_{11_{\alpha_0}}(k,j), \quad j=1 \div 128, \quad (4.3-11)$$

iar pentru a doua matrice, linia "k" furnizează valorile:

$$Q_{11_{\varphi}}(k,j), \quad j=1 \div c. \quad (4.3-12)$$

Cele 128 de valori din (4.3-11) corespund celor 128 de valori  $(\alpha_0)_j$ , pentru o singură valoare  $(n_{11})_k$ . În principiu, ele se găsesc pe curba "1" din fig.4.3.6. Cele "c" valori din (4.3-12), corespund celor "c" valori  $\varphi_j \in M_{\varphi}$  pentru aceeași valoare  $(n_{11})_k$ .



g.

**4.3.7. Prezentarea explicativă a relațiilor dintre matricele  $Q_{11_{\alpha_0}}$  și  $Q_{11_{\varphi}}$**

Perechile:

$$(Q_{11_{\varphi}}(k,j), \varphi_j), \text{ pentru } n_{11}=(n_{11})_k \text{ și } j=1 \div c \quad (4.3-13)$$

determină puncte pe curba “2” din fig.4.3.7. Considerând punctele date de (4.3-13) ca mulțime de puncte de sprijin pentru interpolare<sup>7</sup> în raport cu  $Q_{11}$  luând valori în mulțimea descrisă de (4.3-11), se obțin valorile:

$$\varphi_{k,j}, \text{ pentru } n_{11}=(n_{11})_k \text{ și } \alpha_0=(\alpha_0)_j \text{ cu } j=1\div 128. \quad (4.3-14)$$

Aceste 128 de valori reprezintă linia “k” a matricei tabel camă combinatorică discretă cautată.

Prin repetarea pasului anterior pentru toate valorile lui  $(n_{11})_k$ ,  $k=1\div 128$ , se obțin toate cele 128 de linii ale matricei  $\{\varphi_{k,j}\}$ , cu etichetele  $n_{11}=(n_{11})_k$  cu  $k=1\div 128$  și  $\alpha_0=(\alpha_0)_j$  cu  $j=1\div 128$ .

**OBSERVAȚIE:** Matricea ajutătoare  $Q_{11,\alpha_0}$  de dimensiuni 128 x 128 reprezintă informația teoretică despre debit, informație care poate fi afișată la cerere.

#### **4.3.1.1.2.** Adaptarea tabelului camă combinatorică discretă pentru asigurarea regimurilor de funcționare de limitare

Poziția paletelor rotorice este limitată prin unghiul  $\varphi$  al acestora, atât la deschidere (maxim, dreapta), cât și la închidere (minim, stânga).

Din punctul de vedere al operatorului din centrală, limitarea la închidere este unică iar limitarea la deschidere se poate realiza, la alegere (a se vedea §4.1), în două variante numite “limitare cu maxime normale” și “limitare cu maxime majorate”. Pentru exemplificare, în cadrul tezei este tratată doar *limitarea dreapta cu maxime normale*.

Principiul de adaptare a tabelului camă combinatorică discretă pentru asigurarea regimurilor de funcționare de limitare folosit de autor constă în includerea *funcției de limitare* în funcția *camă combinatorică*. Aceasta înseamnă că în tabel sunt înscrise direct valorile limită, minime și maxime, pentru  $\varphi$ , astfel încât valoarea obținută din tabel prin funcția camă combinatorică este gata limitată (vezi fig.4.3.10, fig.4.3.11 și fig.4.3.12).

Au fost luate în considerare și alte moduri de rezolvare, de exemplu lucrând tot cu 3 tabele, separate pentru funcționare normală și pentru funcționare în regim de limitare, tabele care să fie accesate dependent de o logică comparativă, sau folosind alte moduri de organizare a informației referitoare la funcționarea normală și în limitare.

Din analiza posibilităților de realizare a acestui principiu a rezultat că structura prezentată în lucrare realizează cel mai bun compromis între precizia rezultatelor, volumul de memorie necesar și viteza de lucru. La o

<sup>7</sup> Și în acest caz interpolarea spline a fost considerată ca cea mai potrivită și ca urmare utilizată.

analiză de performanță, se remarcă faptul că, spre deosebire de alte metode în care efortul off-line este mai mic, dar în programul de implementare se execută mai multe operații, în metoda aleasă efortul de construire a tabelului (deci off-line) este mai mare dar căutarea în tabel este mai facilă.

Informațiile despre limite se presupun date în tabele identice ca formă pentru limitarea stânga sau dreapta. Acestea conțin câte "c<sub>l</sub>" triplete de valori (n<sub>11,i</sub>, α<sub>olim,i</sub>, φ<sub>lim,i</sub>) legate principal prin relațiile:

$$\varphi_{lim\_max} = L_M(n_{11}, \alpha_{olim\_max}) \quad (4.3-15)$$

$$\varphi_{lim\_min} = L_m(n_{11}, \alpha_{olim\_min}) \quad (4.3-16)$$

$$\alpha_{olim\_max} = L'_M(n_{11}) \quad (4.3-17)$$

$$\alpha_{olim\_min} = L'_m(n_{11}). \quad (4.3-18)$$

În particular, aceste relații sunt valabile și sub forma:

$$\varphi_{lim\_max,i} = L_M(n_{11,i}, \alpha_{olim\_max,i}), \quad i=1 \div c_l \quad (4.3-15')$$

$$\varphi_{lim\_min,i} = L_m(n_{11,i}, \alpha_{olim\_min,i}), \quad i=1 \div c_l \quad (4.3-16')$$

$$\alpha_{olim\_max,i} = L'_M(n_{11,i}) \quad i=1 \div c_l \quad (4.3-17')$$

$$\alpha_{olim\_min,i} = L'_m(n_{11,i}) \quad i=1 \div c_l. \quad (4.3-18')$$

Modul de utilizare a caracteristicilor de limitare este redat de funcția multivocă:

$$\varphi = \begin{cases} \varphi_{lim\_min} = L_m(n_{11}, L'_m(n_{11})), & \text{dacă } \alpha_0 \leq L'_m(n_{11}) \\ \Phi(n_{11}, \alpha_0), & \text{dacă } L'_m(n_{11}) \leq \alpha_0 \leq L'_M(n_{11}) \\ \varphi_{lim\_max} = L_M(n_{11}, L'_M(n_{11})), & \text{dacă } \alpha_0 \geq L'_M(n_{11}) \end{cases} \quad (4.3-19)$$

Întrucât tabelul camă combinatorică discretă are 128 de linii, adică 128 de valori ale lui n<sub>11</sub>, valorile limită pentru α<sub>0</sub>, corespunzătoare caracteristicilor (4.3-17') și (4.3-18') se obțin tot prin interpolare. Etapele sunt identice pentru curbele de limitare stânga și dreapta și constau din:

- Adoptarea celor "c<sub>l</sub>" perechi (n<sub>11,i</sub>, α<sub>olim\_min,i</sub>) ca puncte de sprijin pentru interpolare
- Interpolarea valorilor lui α<sub>0</sub> după valorile lui (n<sub>11</sub>)<sub>k</sub> ∈ M<sub>(n<sub>11</sub>)</sub>, operație ce are ca rezultat două mulțimi de câte 128 de perechi ((n<sub>11</sub>)<sub>k</sub>, (α<sub>0</sub>)<sub>k</sub>) ce determină două curbe, una pentru limitare stânga (C<sub>ls</sub>) și una pentru limitare dreapta (C<sub>ld</sub>) (fig.4.3.8).
- Determinarea valorilor limită stânga ale lui φ, adică a valorilor φ<sub>lim\_min,k</sub>, se realizează în următorii pași:

- Pentru fiecare pereche ((n<sub>11</sub>)<sub>k</sub>, (α<sub>0</sub>)<sub>k</sub>) de pe curba (C<sub>ls</sub>) se caută valorile (α<sub>0</sub>)<sub>j</sub>, (α<sub>0</sub>)<sub>j+1</sub> ∈ M<sub>(α<sub>0</sub>)</sub> astfel încât :

$$(\alpha_0)_j < (\alpha_0)_k < (\alpha_0)_{j+1} \quad (4.3-20)$$

- Se adoptă ca valoare limită stânga pentru φ, corespunzătoare liniei "k" (φ<sub>lim\_st,k</sub>), valoarea lui φ<sub>k,j+1</sub> din tabelul camă combinatorică discretă (fig.4.3.8).

$$\varphi_{lim\_st,k} = \varphi_{k,j+1} \quad (4.3-21)$$

- Se atribuie valoarea  $\varphi_{lim\_st,k}$  tuturor locațiilor din tabelul camă combinatorică discretă aflate pe linia  $(n_{11})_k$ , iar pe coloană la stânga lui  $(\alpha_0)_{j+1}$ . (fig.4.3.7).

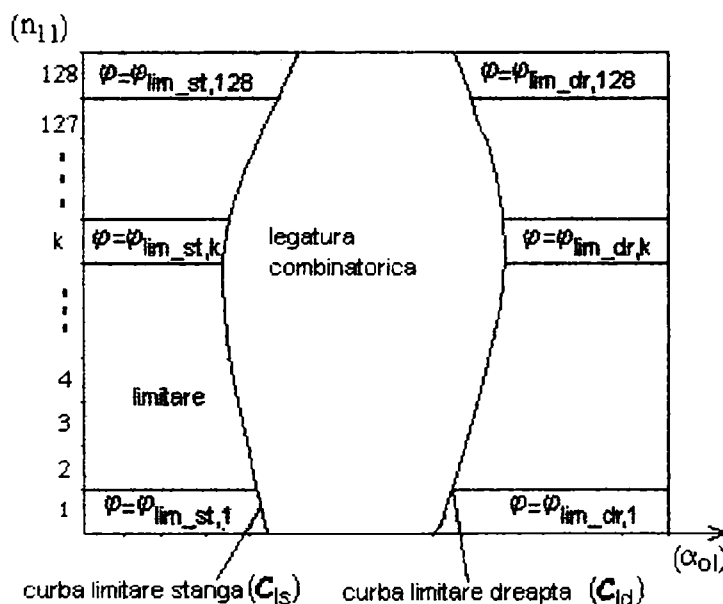
$$\varphi_{k,i} = \varphi_{lim\_st,k} \text{ pentru } i < j+1. \quad (4.3-22)$$

- Se repetă pașii pentru curba de limitare dreapta, cu diferența că relația (4.3-16) devine

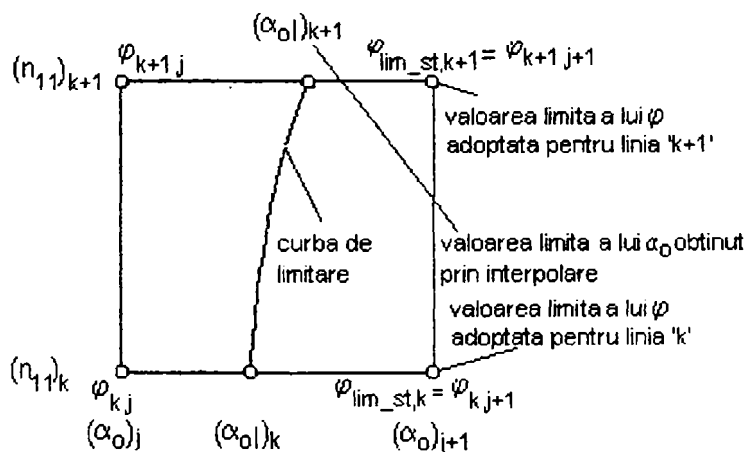
$$\varphi_{lim\_dr,k} = \varphi_{k,j}, \quad (4.3-21')$$

adică valoarea limită se adoptă ca valoare a lui  $\varphi$  din tabelul camă combinatorică discretă corespunzătoare lui  $(\alpha_0)_j$  aflat la stânga lui  $(\alpha_0)_k$ , iar (4.3-17) devine:

$$\varphi_{k,i} = \varphi_{lim\_dr,k} \text{ pentru } i > j \text{ și } i < 128. \quad (4.3-22')$$



**Fig.4.3.8.** Poziția curbelor de limitare în structura tabelului camă combinatorică discretă



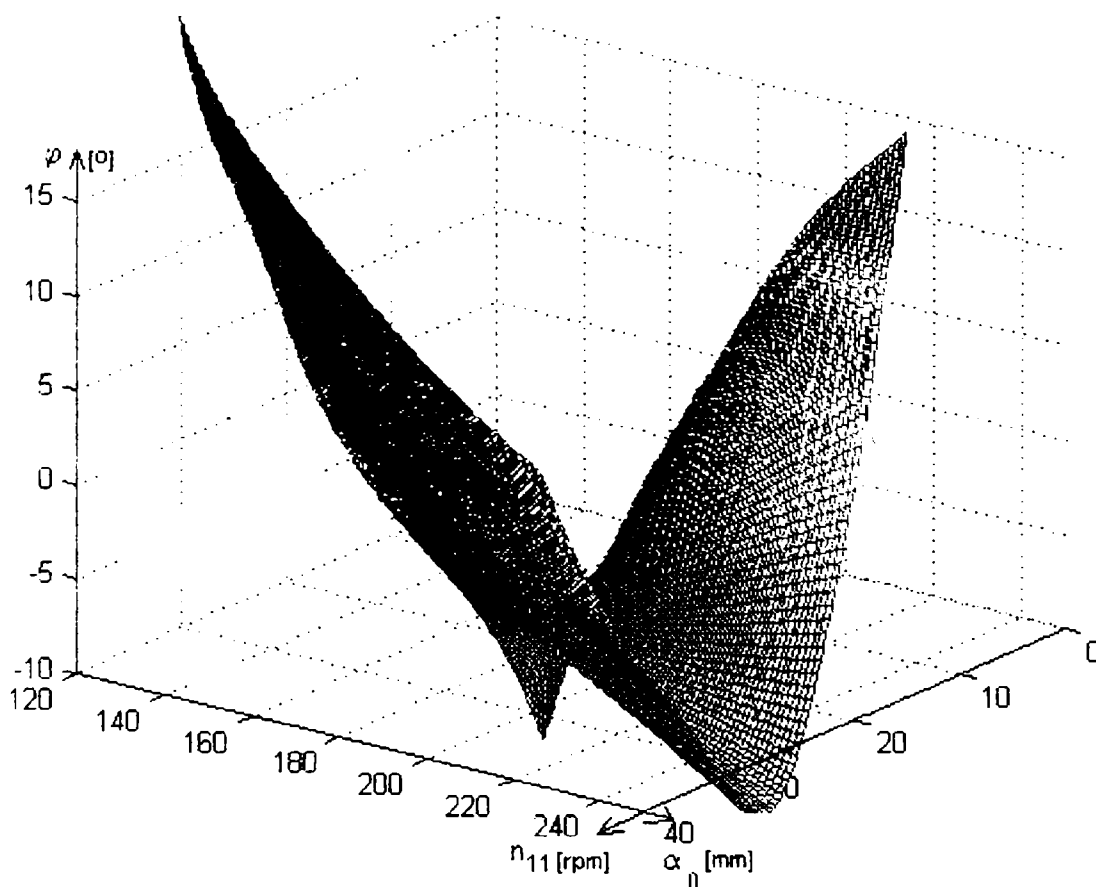
**Fig.4.3.9.** Adoptarea valorilor limită stânga pentru  $\varphi$



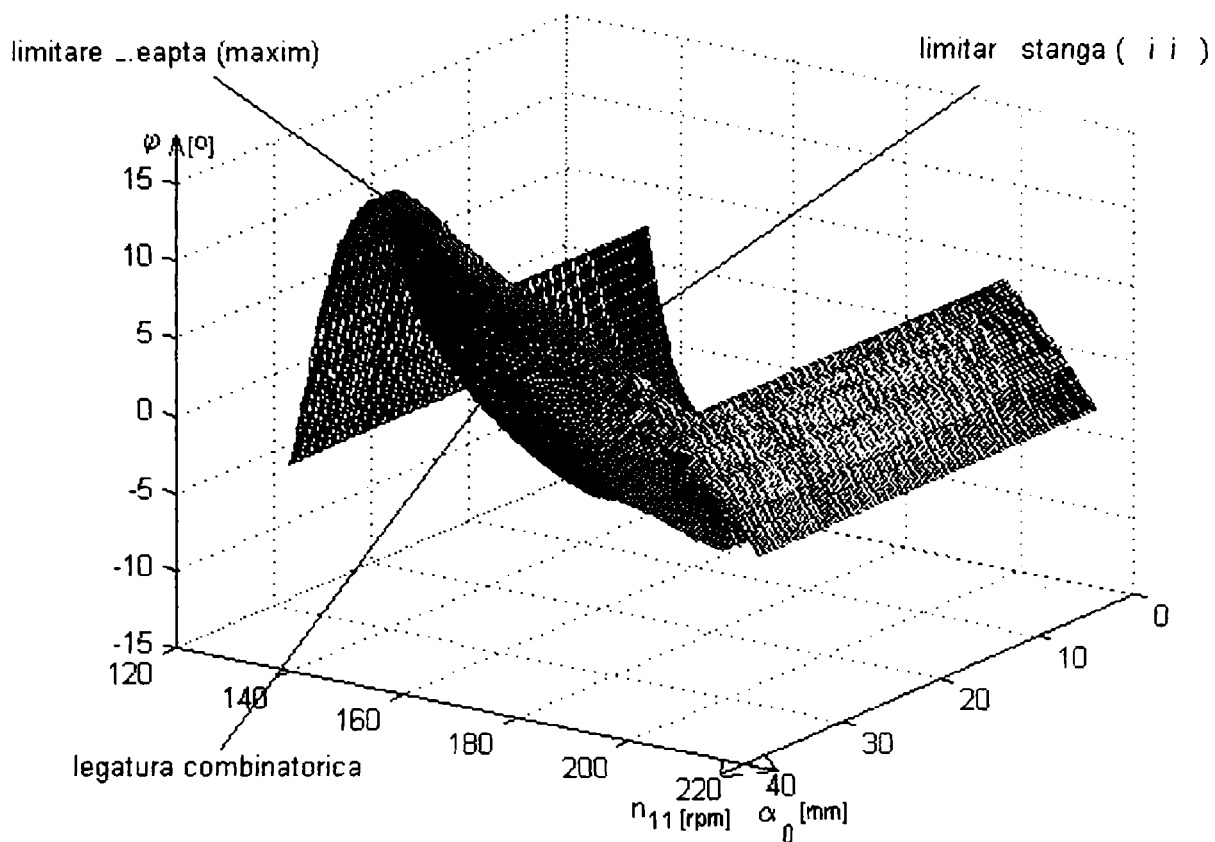
Înlocuind toate valorile limită stânga și dreapta pentru  $\varphi$  în tabelul camă combinatorică discretă, se obține varianta finală a acestuia,  $\Phi_1$ , variantă implementată pe echipamentul numeric și utilizată în aplicația realizată.

**OBSERVAȚIE:** În etapele de determinare a valorilor limită pentru  $\varphi$  nu a fost folosită informația referitoare la  $\varphi_{lim}$  conținută în tripletele inițiale furnizate de proiectantul turbinei, deoarece, în acest proces, ea are doar rol informativ, de verificare a ordinului de mărime a valorilor lui  $\varphi$ . Valorile valide pentru  $\varphi$  se găsesc în tabelul camă combinatorică discretă, și doar acestea pot fi folosite.

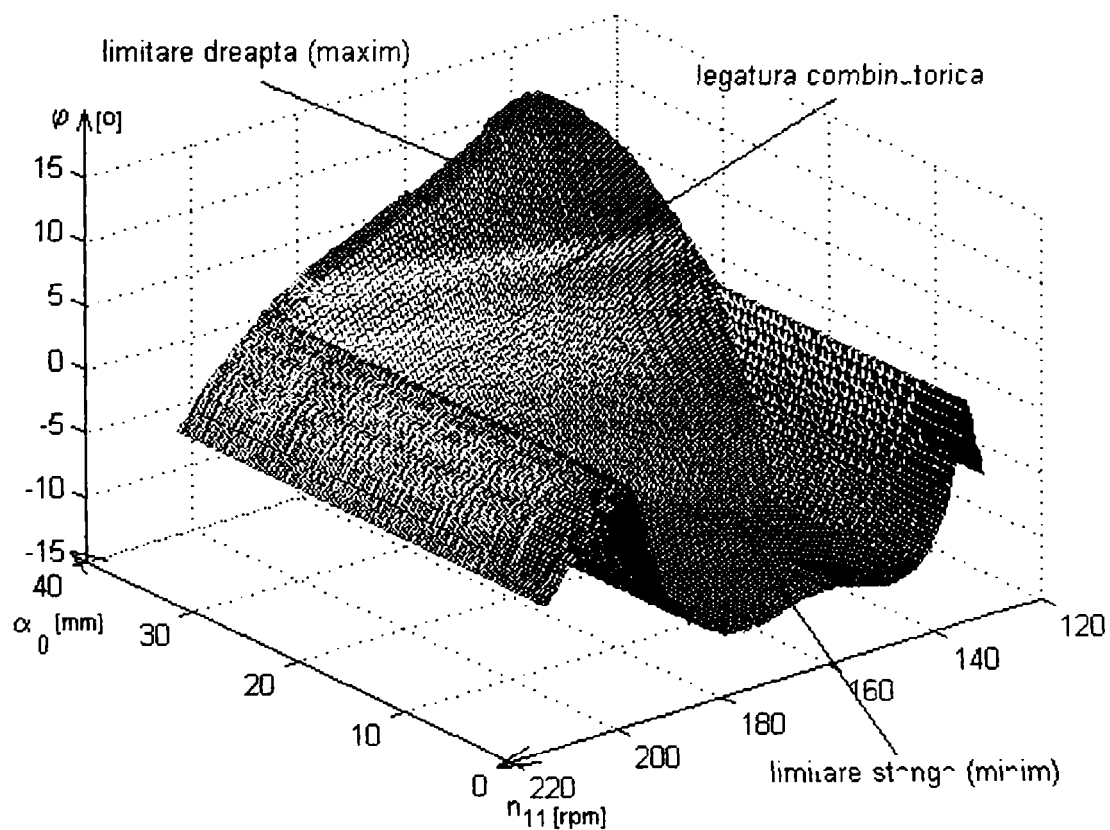
Anticipând aplicația prezentată în §4.4, în fig.4.3.10 este prezentată suprafața camei combinatorice, obținută cu un program scris în limbajul MATLAB. Ea a fost validată prin contractul 503/24.04.2000 de către beneficiarul UCM Reșița [\*\*\* 00]. Programul prezentat în anexa A2 implementează algoritmul de determinare a tabelului camă combinatorică discretă prezentat în acest paragraf. Tot cu titlu ilustrator, în fig.4.3.11 și fig.4.3.12 sunt prezentate vederi ale suprafeței camei combinatorice în care s-au modificat valorile lui  $\varphi$  corespunzătoare limitărilor.



**Fig.4.3.10** Suprafața camei combinatorice



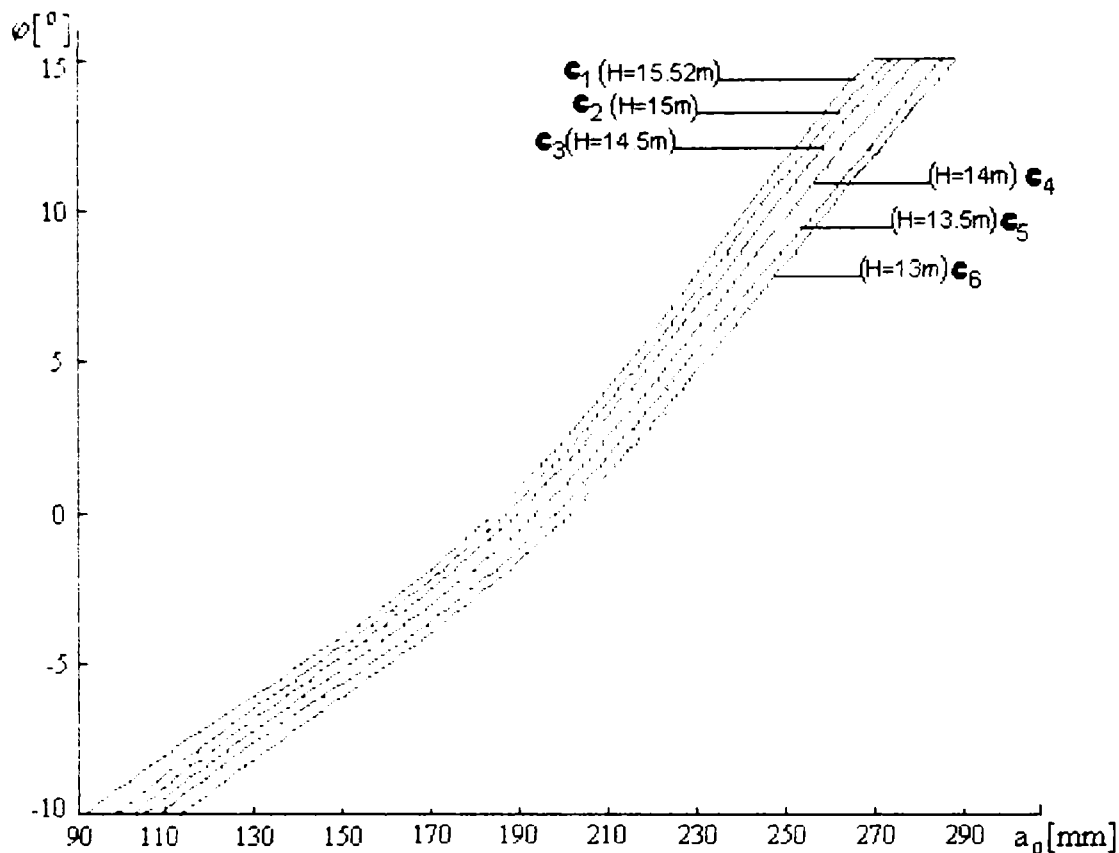
**Fig.4.3.11** Suprafața camei combinatorice cu valorile limită pentru  $\varphi$  (vedere 1)



**Fig.4.3.12.** Suprafața camei combinatorice cu valorile limită pentru  $\varphi$  (vedere 2)

### 4.3.1.2 Construirea tabelului camă combinatorică discretă pentru cazul b)

În acest caz, punctul de pornire pentru construirea tabelului sunt cele 6 diagrame  $\varphi(a_0)$  (denumite diagrame sau curbe inițiale) de parametru  $H$  (fig.4.3.13). Fiecare curbă  $c_i, i=1\div 6$  este descrisă de 6 puncte  $\varphi_i(a_{0j}), j=1\div 6$ . Aceste puncte provin din diagrama universală prezentată în §4.3.1, însă



determinarea lor a fost făcută de beneficiar.

**Fig.4.3.12.** Diagramele inițiale  $\varphi(a_0)$

Pentru obținerea tabelului camă combinatorică discretă se efectuează următoarele operații:

1. Se trasează fiecare dintre curbele inițiale pornind de la cele 6 puncte, prin interpolare spline pentru 128 de valori echistante ale lui  $a_0$  acoperind tot domeniul său de definiție:

$$M_{(a_0)} = \{(a_0)_1, (a_0)_2, \dots, (a_0)_{128}\} \quad (4.3-23)$$

obținându-se 6 curbe

$$\varphi_i((a_0)_j), i=1\div 6, j=1\div 128. \quad (4.3-24)$$

2. Fiecare curbă corespunzând unei valori a căderii de apă  $H$ , și deci și a lui  $n_{11}$  (v.4-8), se urmărește determinarea a 128 de curbe corespunzătoare la 128 de valori echidistante ale lui  $n_{11}$ , acoperind tot domeniul de definiție.

În acest scop, pentru început, se consideră punctele  $\varphi_i((a_0)_1)$ ,  $i=1\div 6$ , și se face interpolare spline între aceste puncte pentru

$$M_{(n_{11})} = \{(n_{11})_1, (n_{11})_2, \dots, (n_{11})_{128}\} \quad (4.3-25)$$

obținându-se 128 de valori  $\varphi_i((a_0)_1)$ ,  $i=1\div 128$  corespunzătoare lui  $(a_0)_1$  constant, și care se construiesc pe coloană.

Repetându-se operația pentru celelalte 127 de seturi (4-36) și plasând rezultatele pe coloane succesive, se obține un tabel  $128 \times 128$  de valori ale lui  $\varphi$ , având pe linie valori corespunzătoare lui  $n_{11}$  constant iar pe coloană valori ale lui  $a_0$  constant.

Tabelul astfel obținut este chiar tabelul camă combinatorică discretă prezentat în §4.3.1.1

#### 4.4. Implementarea funcțiilor blocului de cuplare

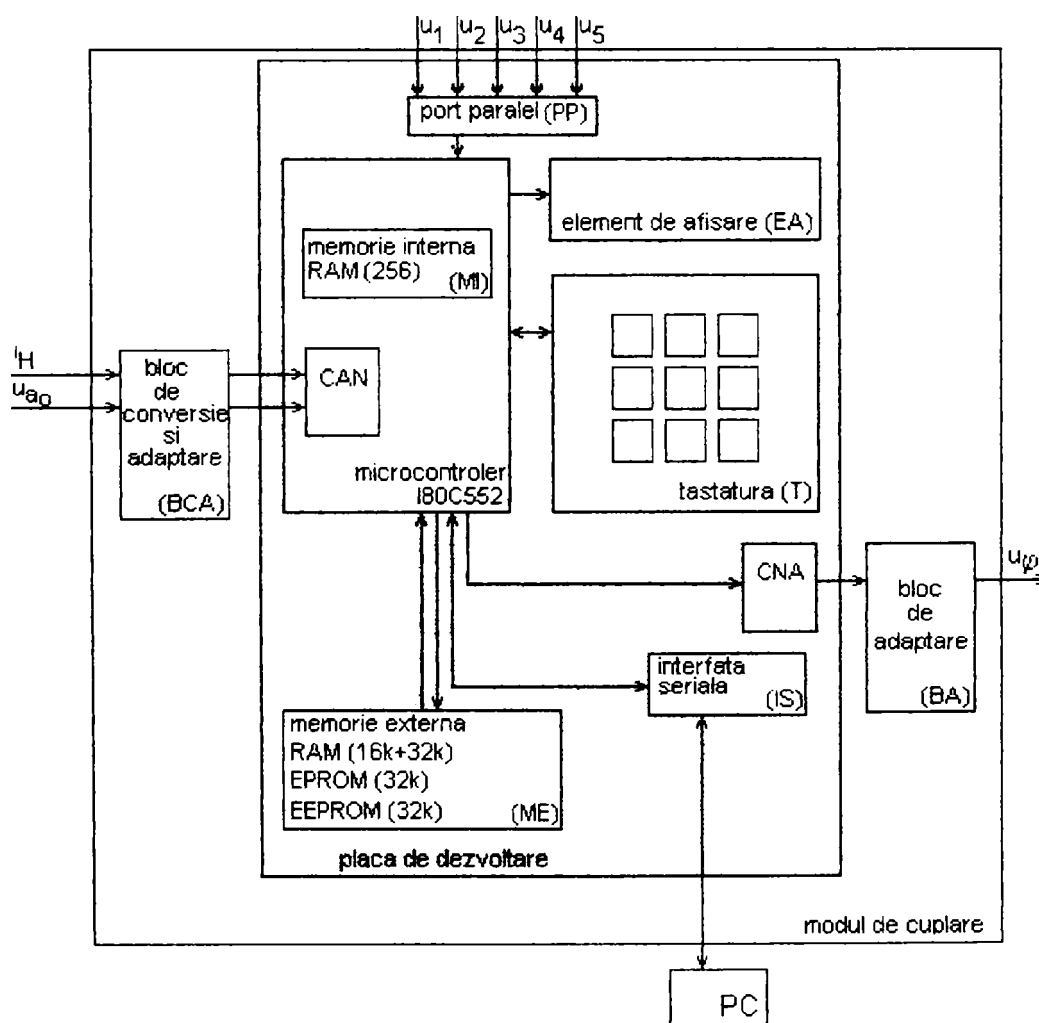


Fig.4.4.1. Structura modului de cuplare

Pentru a implementa funcțiile blocului de cuplare, prezentate în §4.2, autorul a realizat o structură de echipament numeric dezvoltat în jurul microcontrolerului Intel 80C552. Echipamentul numeric este format dintr-o placă de dezvoltare standard, căreia i s-au adăugat componente hardware și circuite electronice. Acest ansamblu care îndeplinește funcțiile blocului de cuplare este denumit în continuare *modul de cuplare* (fig.4.4.1).

#### 4.4.1. Placa de dezvoltare cu microcontroler

Placa de dezvoltare a fost aleasă pentru a face față necesităților de volum de calcul, capacitate de memorie și viteză.

Elementul central al plăcii este microcontrolerul Intel 80C552, componentă des întâlnită în aplicațiile de automată datorită capacităților sale tehnice deosebite, a simplității utilizării și a prețului redus. În tabelul 4.1 sunt prezentate caracteristicile microcontrolerului ce au motivat alegerea lui pentru această aplicație:

**Tabel 4.1**

<b>Caracteristicile microcontrolerului I80C552</b>	<b>Aspecte referitoare la măsura în care caracteristica susține alegerea făcută</b>
unitate centrala pe 8 biți	Numărul de biți este suficient pentru reprezentarea variabilelor și a constantelor. În situațiile când este necesară o precizie mai mare, sunt folosite cuvinte de doi octeți.
durata de execuție a instrucțiilor de 1,2 sau 4 $\mu$ s	Permite realizarea funcțiilor blocului de cuplare într-un ciclu de 2÷3 ms.
memorie internă RAM de 256 octeți (MI)	Suficientă pentru memorarea și citirea rapidă a variabilelor intermediare.
cinci porturi paralele I/O pe 8 biți (PP)	Necesare și suficiente pentru comunicarea cu panoul operator.
un convertor analog-numeric (CAN) pe 10 biți cu 8 canale analogice multiplexate	Satisface condiția de minimum două canale pentru achiziționarea a două mărimi analogice. Permite dezvoltări pentru alte funcții de automatizare. Precizia de 10 biți este potrivită aplicației.
interfață serială RS-232 (IS)	Necesară comunicației cu un calculator master în faza de punere la punct a aplicației; este de asemenea utilă și pentru comunicația la distanță.
Cost redus	Nu reprezintă o caracteristică hotărâtoare

Pe lângă microcontroler, placa conține o serie de componente necesare îndeplinirii funcțiilor blocului de cuplare. Aspectele care au fost considerate în alegerea acestei plăci sunt prezentate în tabelul 4.2

**Tabel 4.2**

<b>Caracteristicile plăcii cu microcontroler I80C552</b>	<b>Aspecte referitoare la măsura în care caracteristica susține alegerea făcută</b>
Memorie externă RAM - 32 Ko, adresabilă atât ca memorie program cât și ca memorie de date (ME)	Necesară pentru memorarea variabilelor din program.
Memorie externă EPROM – 32 Ko, adresabilă ca memorie program (ME)	Necesară pentru memorarea programului monitor, în faza de punere în funcțiune, și a programului de aplicație, în faza finală când modulul va executa funcțiile independent de calculatorul master.
Memorie externă EEPROM – 32 Ko, adresabilă atât ca memorie de date (ME)	Necesară pentru memorarea tabelului camă combinatorică discretă.
Element de afișare cu cristale lichide LCD (2*16 caractere) (EA)	Necesar pentru afișarea locală a mesajelor și a mărimilor.
Tastatură (12/16 taste) (T)	Necesară pentru selectarea modurilor de lucru nestandard (punere în funcțiune, calibrare, etc.).
Convertor numeric analogic (CAN) pe 12 biți, cu 2 canale independente (unipolar, bipolar)	Necesar pentru a permite transmiterea valorii unghiului $\varphi$ către servo-sistemul electo-hidraulic și a mărimilor pentru transmiterea de informații la distanță.

#### **4.4.2. Mărimi de intrare și ieșire. Interfața cu placa cu microcontroler.**

În acest paragraf se prezintă caracteristicile de principiu ale interfețelor. Datele pentru această aplicație se referă la amenajarea de la CHE Movileni și CHE Orlea Aval II și au fost furnizate de UCMR Reșița și au fost utilizate în contracte dintre aceasta și Universitatea 'Politehnica' din Timișoara, la care autorul a fost participant.

După cum a fost prezentat în §4.1., în fig.4.4.2. blocul de cuplare interacționează cu mediul prin cinci mărimi de intrare logice ( $u_1, u_2, u_3, u_4, u_5$ ), două marimi de intrare analogice ( $i_H, u_{a0}$ ), o mărime de ieșire analogică ( $u_\varphi$ ) și o serie de informații alfanumerice afișate pe un ecran.

##### **4.4.2.1 Mărimile de intrare logice**

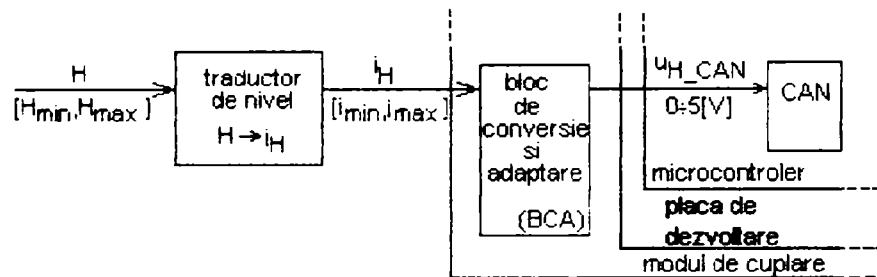
Mărimile de intrare logice provin de la consola operator ( $u_2, u_5$ ) sau de la sistemul de conducere a turbinei ( $u_1, u_3, u_4$ ). Semnalele sunt de tip logic de

nivel TTL ceea ce a permis legarea lor directă la liniile de intrare ale portului paralel (PP) al plăcii.

#### 4.4.2.2 Mărimile de intrare analogice

Cele două mărimi de intrare analogice sunt măsura înălțimii căderii de apă  $H$  ( $i_H$ ), și măsura deschiderii paletelor aparatului director  $a_0$  ( $u_{a0}$ ).

- Semnalele și blocurile corespunzătoare măsurării intrării  $H$  sunt specificate în fig.4.4.2.



**Fig.4.4.2.** Semnalele și blocurile corespunzătoare măsurării intrării  $H$

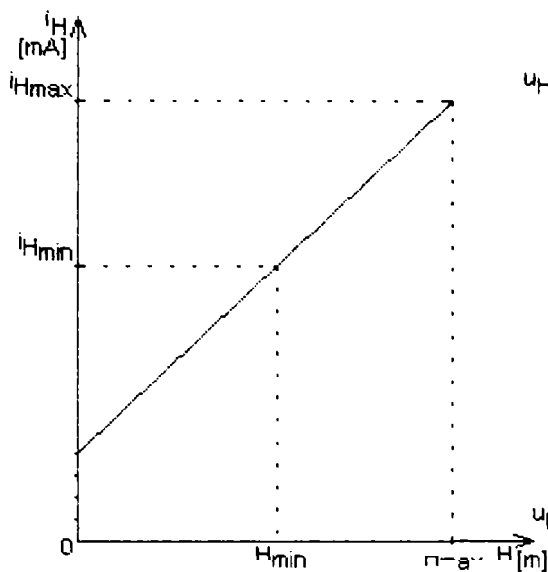
Schema cuprinde atât elemente externe modulului de cuplare (traductorul de nivel  $H \rightarrow i_H$ ) cât și elemente din interiorul modulului (v. și fig.4.4.1). Cu referire la această schemă sunt importante următoarele precizări:

Traductorul de nivel are caracteristica prezentată în fig.4.4.3. În situația reală, această caracteristică nu este folosită integral. Întrucât înălțimea variază în intervalul  $H \in [H_{\min}, H_{\max}]$ , specificat prin caietul de sarcini al amenajării, și curentul  $i_H$  va lua valori doar în intervalul  $i_H \in [i_{H\min}, i_{H\max}]$ .

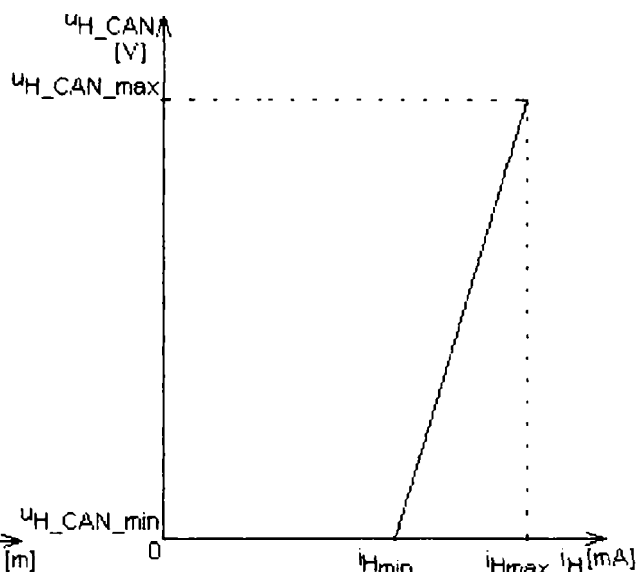
Semnalul de curent obținut la ieșirea traductorului de nivel este convertit în tensiune și adaptat nivelului corespunzător de către blocul de conversie și adaptare (BCA). Caracteristica sa are aspectul din fig.4.4.4. El asigură, cu păstrarea monotoniei, adaptarea de domenii:

$$[i_{H\min}, i_{H\max}] \rightarrow [u_{H\_CAN\_min}, u_{H\_CAN\_max}].$$

Valorile de  $u_{H\_CAN\_min}=0V$  și  $u_{H\_CAN\_max}=5V$  din fig.4.4.4 sunt specifice convertorului analog-numeric folosit.

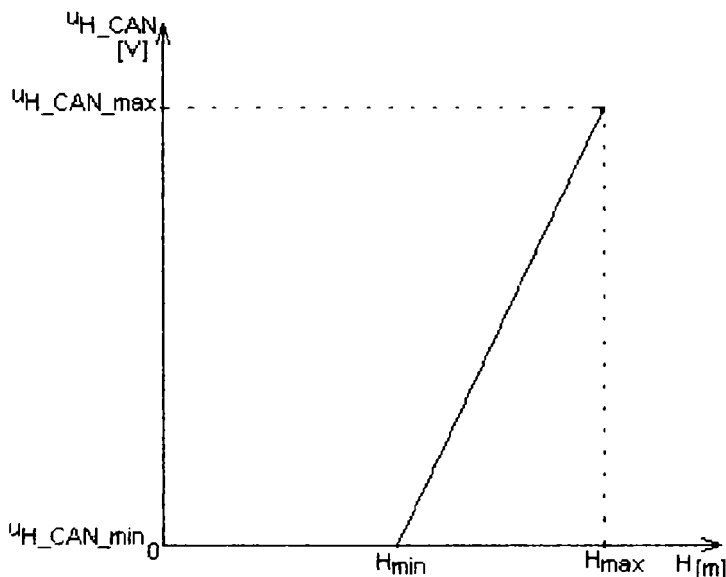


**Fig.4.4.3.** Caracteristica traductorului de nivel pentru H



**Fig.4.4.4.** Caracteristica blocului de conversie și adaptare (BCA)

Caracteristica generală de intrare-ieșire pentru conversia înălțimii H este prezentată în fig.4.4.5



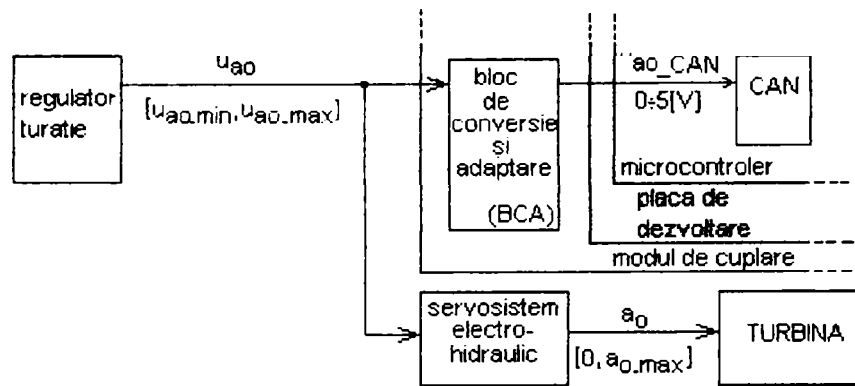
**Fig.4.4.5.** Caracteristica de intrare  $H \rightarrow u_{H\_CAN}$

O fotografie a schemei electronice a blocului de conversie și adaptare este prezentată în anexa A1.

Semnalele și blocurile corespunzătoare poziției paletelor aparatului director sunt prezentate în fig.4.4.6.

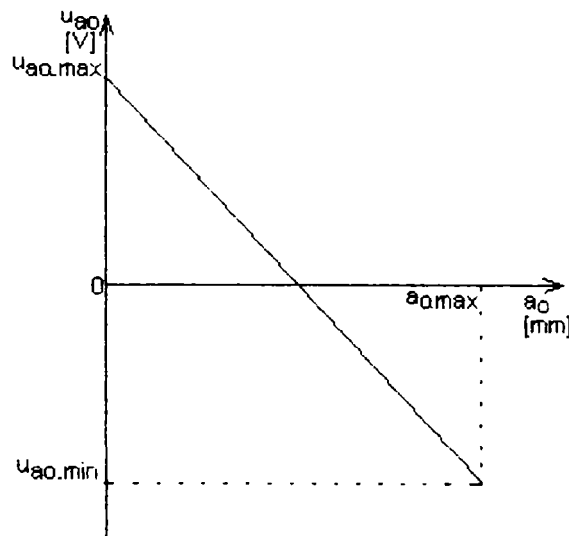
Poziția paletelor aparatului director  $a_0$  ( $a_0 \in [0, a_{0\_max}]$ ) este furnizată modulului de cuplare direct sub formă de tensiune  $u_{a_0}$  în domeniul de valori  $[u_{a_0\_min}, u_{a_0\_max}]$ .



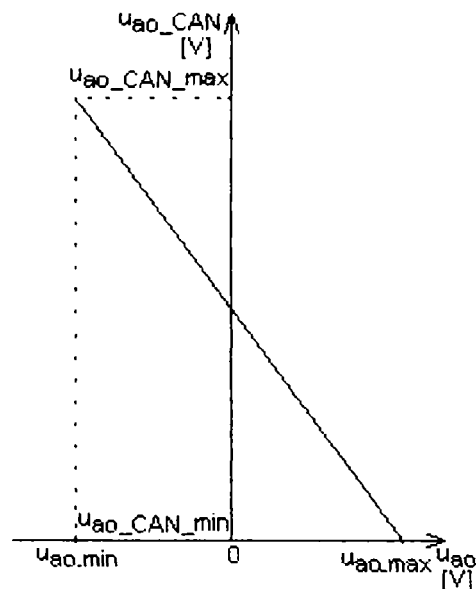


**Fig.4.4.6.** Semnalele și blocurile corespunzătoare intrării H

Caracteristica statică de conversie  $a_0 \rightarrow u_{a0}$  este prezentată în fig.4.4.7. Din punct de vedere dinamic, folosirea tensiunii  $u_{a0}$  ca măsură a poziției  $a_0$  are un caracter anticipativ. S-a considerat că acest caracter poate fi neglijat, ipoteză confirmată și din punct de vedere practic (v. §4.1.). Ca urmare, dezvoltările ulterioare se bazează pe acceptarea valabilității caracteristicii din fig.4.4.7 și în regim dinamic.



**Fig.4.4.7.** Caracteristica  $a_0 \rightarrow u_{a0}$



**Fig.4.4.8.** Caracteristica blocului de conversie și adaptare (BCA) pentru  $a_0$

Semnalul de tensiune  $u_{a0}$  este adaptat de către blocul de conversie și adaptare (BCA) la nivelul corespunzător convertorului analog-numeric din microcontroler, adică:

$$[ u_{a0\_min}, u_{a0\_max} ] \rightarrow [ u_{a0\_CAN\_min}, u_{a0\_CAN\_max} ]$$

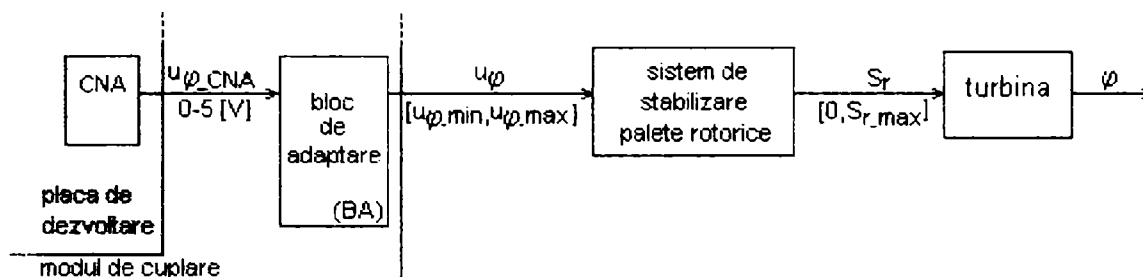
Caracteristica  $u_{a0} \rightarrow u_{a0\_CAN}$  este prezentată în fig.4.4.8.

OBS: În toate caracteristicile este utilizată mărimea  $a_0$ , în timp ce în tabelul camă combinatorică discretă este utilizată mărimea  $\alpha_0$ . Deoarece între ele

există relația liniară (4.2-4), caracteristicile din fig.4.4.7 și fig.4.4.8 au aceeași alură.

#### 4.4.2.3 Mărimea de ieșire analogică

Singura mărime de ieșire analogică a modului de cuplare este tensiunea  $u_\varphi$ , măsură a unghiului  $\varphi$  al paletelor rotorice. Semnalele și blocurile corespunzătoare ieșirii  $\varphi$  sunt prezentate în fig.4.4.9.

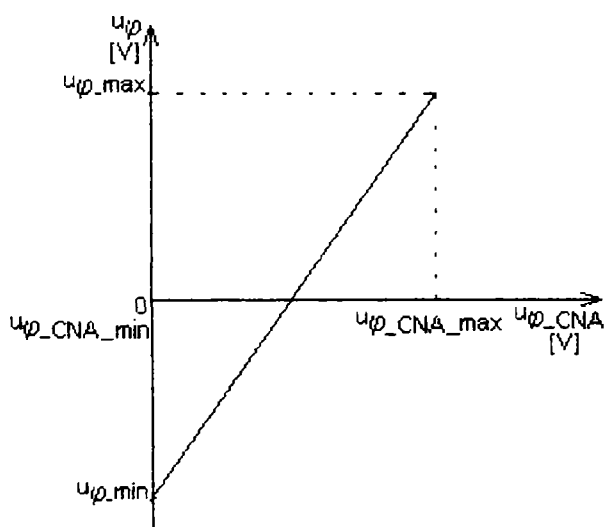


**Fig.4.4.9.** . Semnalele și blocurile corespunzătoare ieșirii  $\varphi$

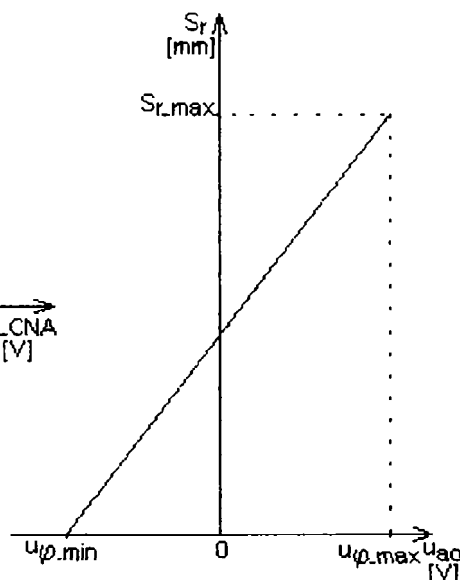
Blocul de adaptare (BA) modifică domeniul de tensiuni al mărimii  $u_{\varphi\_CNA}$  de la ieșirea convertorului numeric-analogic în domeniul de tensiuni  $u_\varphi$  acceptat la intrarea sistemului de stabilizare a paletelor rotorice:

$$[ u_{\varphi\_CAN\_min}, u_{\varphi\_CAN\_max} ] \rightarrow [ u_{\varphi\_min}, u_{\varphi\_max} ]$$

conform caracteristicii din fig.4.4.10.

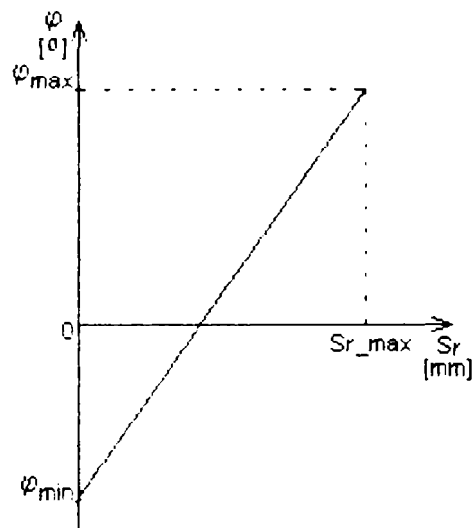


**Fig.4.4.10.** Caracteristica de adaptare (BA)



**Fig.4.4.11.** Caracteristica sistemului de stabilizare a paletelor rotorice pentru  $\varphi$

Sistemul de stabilizare a paletelor rotorice convertește semnalul de tensiune  $u_\varphi$  în deplasarea aparatului director pentru rotor  $S_r$  conform caracteristicii din fig.4.4.11. Dependența între poziția aparatului director pentru rotor  $S_r$  și unghiul paletelor rotorice  $\varphi$  este reprezentată de caracteristica din fig.4.4.12.



**Fig.4.4.12.** Dependenta  $\varphi (S_r)$

#### 4.4.2.4 Mărimile de ieșire pentru afișare

Aceste mărimi din cadrul blocului de cuplare sunt purtătoarele informațiilor despre diferitele mărimi funcționale. Ele sunt trimise către un dispozitiv de afișare și au doar rolul de a informa operatorul centralei hidro-electrice despre valoarea lor.

În funcție de tipul dispozitivului de afișare se disting mărimile pentru afișare prezentate în tabelul 4.3:

**Tabel 4.3.**

Tipul dispozitivului de afișare	Mărimi afișate	Observații
1 - Display-ul alfanumeric al plăcii de dezvoltare	-unghiul $\varphi$ al paletelor rotorului	-permanent -opțiune implementată
	-măsura înălțimii $i_H$ -măsura deschiderii aparatului director $a_0$	-opțional -opțiune implementată
2 - Aparat de măsură de tablou (teleindicare)	-unghiul $\varphi$ al paletelor rotorului	-opțiune implementată
	-debitul teoretic de apă $Q_{11}$	-opțiune neimplementată
3 - PC master și Internet	-unghiul $\varphi$ al paletelor rotorului -măsura înălțimii $i_H$ -măsura deschiderii aparatului director $a_0$ -debitul teoretic de apă $Q_{11}$	-opțiune neimplementată

În cazul dispozitivelor de la punctele 1. și 3., pe lângă mărimile specificate, se afișează mesaje ce descriu starea paletelor rotorului, erori în funcționarea grupului și regimurile de lucru.

#### 4.4.3. Modurile de lucru ale modulului de cuplare

În exploatarea modulului de cuplare, în timpul rulării programului ce implementează funcțiile blocului de cuplare, în unele situații sunt necesare intervenții ale operatorului din centrală în diverse scopuri (depanare, calibrare, modificare a datelor etc.) Pentru a permite intervenția facilă a operatorului, programul conceput și realizat de autor poate rula în diverse *moduri de lucru*. Acestea sunt, prin urmare, o caracteristică a implementării funcțiilor blocului de cuplare și nu a structurii acestuia.

Modurile de lucru sunt sintetizate în tabelul 4.4.

**Tabelul 4.4**

Modul de lucru	Caracteristici
-normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Programul care implementează funcțiile blocului de cuplare se execută ciclic, fără întreruperi.</li> <li>▪ Sunt afișate mesajele și mărimile uzuale, solicitate de operator.</li> <li>▪ Este caracteristic exploatării uzuale.</li> </ul>
-de depanare	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Programul care implementează funcțiile blocului de cuplare poate fi oprit după fiecare segment (după o rulare între <math>W_i</math> și <math>W_{e\_xx}</math>.</li> <li>▪ Sunt afișate toate mărimile care apar în proces (<math>\varphi</math>, <math>i_H</math>, <math>u_{ao}</math>, <math>Q_{11}</math>).</li> <li>▪ Este util în fazele de punere în funcțiune, calibrare, validare, verificare, etc.</li> </ul>
-de optimizare	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Programul care implementează funcțiile blocului de cuplare poate fi oprit înaintea operației de furnizare a mărimii de ieșire <math>\varphi</math>, iar operatorul are posibilitatea de a modifica de o anumită manieră valorile măsurii unghiului <math>\varphi</math> din tabelul cama combinatorică discretă. Acest mod de lucru este tratat in extenso în §?</li> </ul>

#### 4.4.4. Structura programului care implementează funcțiile blocului de cuplare

Programul care implementează funcțiile blocului de cuplare este executat de microcontrolerul I80C552. Programul se execută ciclic nesincronizat cu ceasul de timp real. Premizele ce au dus la adoptarea unei astfel de soluții au fost:

- Interconectarea modului de cuplare cu celelalte elemente ale sistemului de conducere a hidrogeneartorului se face doar prin mărimi analogice sau logice asincrone.
- Dependența intrare-ieșire realizată de modulul de cuplare are caracter neinertial, ieșirea se asociază, omițând timpul de calcul, instantaneu intrării.

În principiu, programul are două tipuri de sarcini:

- Execuția funcțiilor blocului de cuplare
- Dialogarea cu operatorul și în consecință permiterea rulării în diferite moduri de lucru,

Pentru simplitatea scrierii programului, unele grupuri de segmente, denumite *ramuri* în fig.4.2.2., au fost notate cu “SS”, fiecare ramură fiind scrisă ca o subrutină apelată din programul principal.

#### 4.4.4.1 Structura programului principal

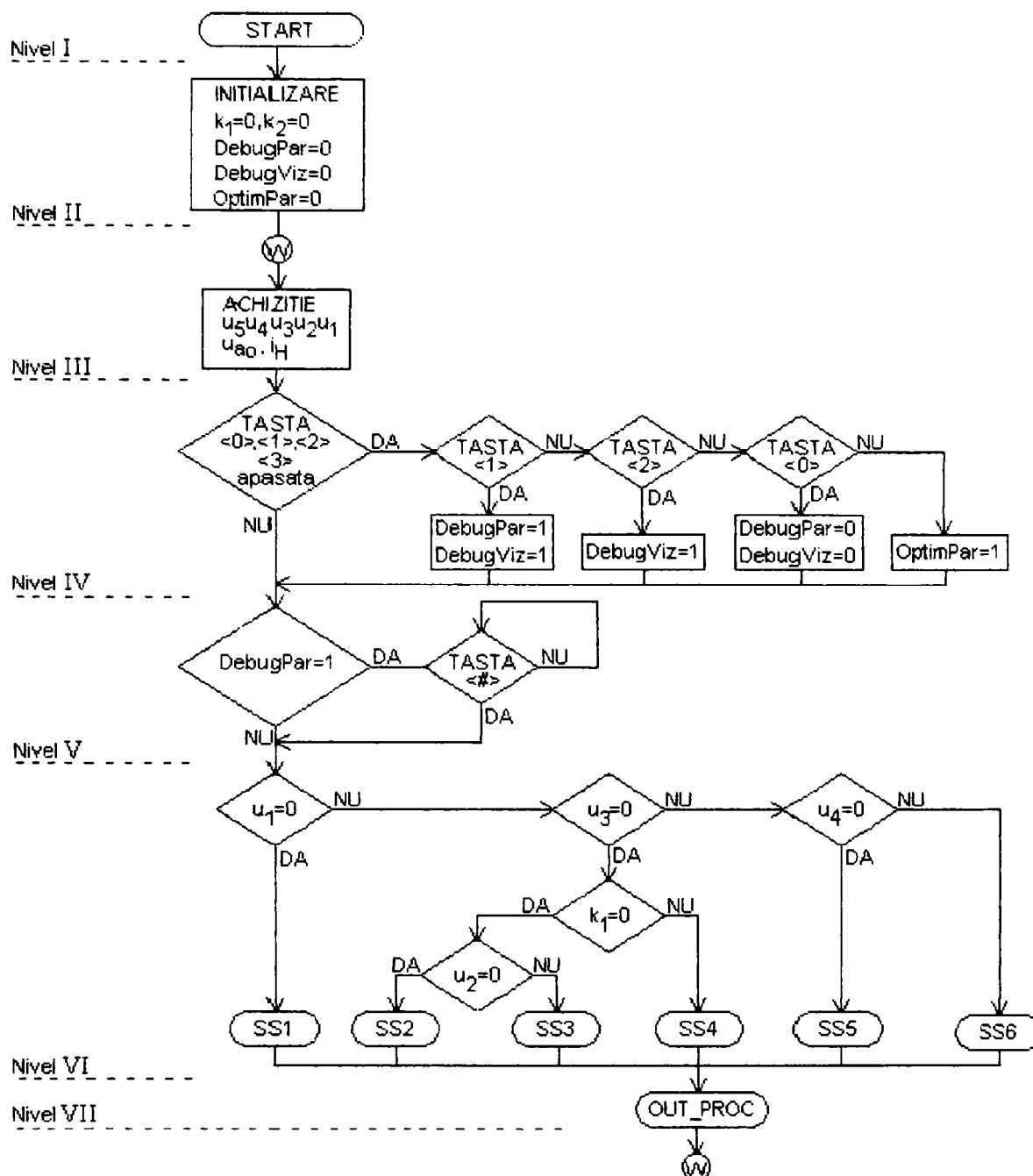
Organigrama programului principal este prezentată în fig. 4.4.13

OBS: Valorile concrete ale mărimii  $\varphi$  utilizate în acest paragraf sunt date ale caietului de sarcini pentru proiectul cu UCM Reșița referitor la amenajarea de la CHE Movileni, după cum a fost specificat în §4.4.1, astfel:

$$\begin{aligned}\varphi_{mig} &= -10^\circ \text{ (}\varphi \text{ de mers în gol)} \\ \varphi_{dm} &= -7.4^\circ \text{ (}\varphi \text{ deschis maxim)} \\ \dot{\varphi}_1 &= -11.6^\circ/\text{s (viteza de închidere)} \\ \dot{\varphi}_2 &= 11.6^\circ/\text{s (viteza de deschidere)}.\end{aligned}$$

Din programul principal sunt apelate șapte subrutine: SS1÷SS6 și OUT\_PROC. Programul este structurat pe șapte nivele, fiecare având următoarele caracteristici:

- Nivelul I – Este nivelul de la care este lansat programul
- Nivelul II – Este nivelul de inițializare, în care se dau valori de pornire (în acest caz valoarea “0”) tuturor mărimilor de stare interne ( $k_1$ ,  $k_2$ , DebugPar, DebugViz, OptimPar). Semnificația mărimilor de stare pentru blocul de cuplare  $k_1$ ,  $k_2$  este descrisă în §4.1. Mărimile DebugPar, DebugViz respectiv OptimPar sunt mărimi de stare de tip logic ce indică o solicitare din partea operatorului de a intra în modurile de lucru de depanare, respectiv de optimizare.



**Fig.4.4.13** Organigrama programului principal

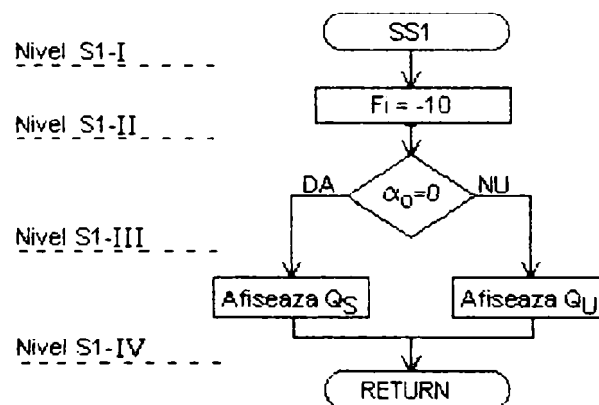
- Nivelul III – La acest nivel se află punctul de revenire “W” ( $W_i$  în ordinograma din fig.4.2.2) în care se efectuează un salt al programului la atingerea unui punct “W” de încheiere a unui segment, ( $W_{e,x}$  în ordinograma din fig.4.2.2). De asemenea, la acest nivel se realizează achiziția mărimilor de intrare logice ( $u_1, u_2, u_3, u_4, u_5$ ) și analogice ( $u_{ao}$  și  $i_H$ ).
- Nivelul IV – În cadrul acestui nivel se scanează tastatura pentru a sesiza o cerere de modificare a modului de lucru de către operator. Operatorul acționează una dintre tastele <0>, <1>, <2> sau <3> pentru a solicita intrarea în unul dintre modurile de lucru amintite. Solicitarea se înregistrează prin setarea variabilei DebugPar, DebugViz sau OptimPar corespunzătoare.

- Nivelul V – La acest nivel se realizează oprirea rulării programului dacă a fost solicitat acest lucru (DebugPar=1). Rularea se continuă în momentul în care este apăsată tasta <#>.
- Nivelul VI – La acest nivel se află implementate operațiile din cadrul funcțiilor blocului de cuplare, descrise în ordinograma din fig.4.2.2. Se remarcă blocurile de decizie care duc la execuția uneia sau alteia dintre ramurile SSx.
- Nivelul VII – La acest nivel se află procedura OUT\_PROC în care valorile calculate pentru  $\varphi$  sunt furnizate la ieșirea modulului de cuplare.

#### 4.4.4.2 Structura subrutinelor

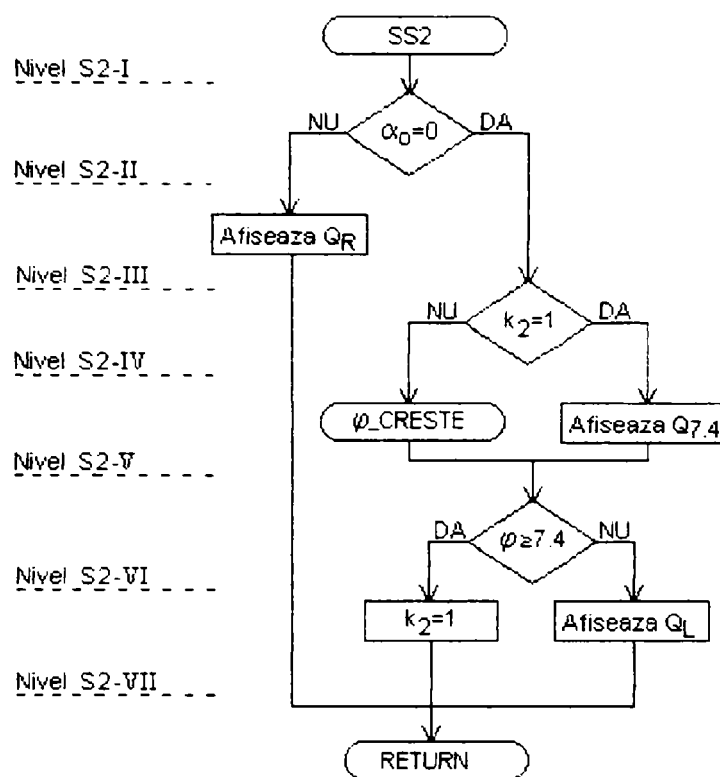
Subrutinele apelate din programul principal vor fi descrise sumar în continuare cu referire la ordinograma din fig.4.2.2.

1. **Subrutina SS1** – corespunde segmentelor “W” → “W<sub>e\_1</sub>”, “W<sub>e\_2</sub>”. Organigrama este prezentată în fig.4.4.14. Conform organigramei din fig.4.4.13, această subrutină se execută când  $u_1=0$  (grupul este în așteptare). În cadrul acestei subrutine, după lansare (Nivel S1-I), se setează unghiul  $\varphi$  la valoarea minimă (Nivel S1-II), după care este verificat ca deschiderea  $a_0$  să fie egală cu 0 (Nivel S1-III). Coincidența lui  $a_0$  cu 0 este semnalizată operatorului prin mesajul Q<sub>S</sub> sau Q<sub>U</sub> (Nivel S1-IV).



**Fig.4.4.14** Organigrama subrutinei SS1

2. **Subrutina SS2** – corespunde segmentelor “W” → “W<sub>e\_3</sub>”, “W<sub>e\_4</sub>”, “W<sub>e\_5</sub>”. Organigrama subrutinei este prezentată în fig.4.4.15.



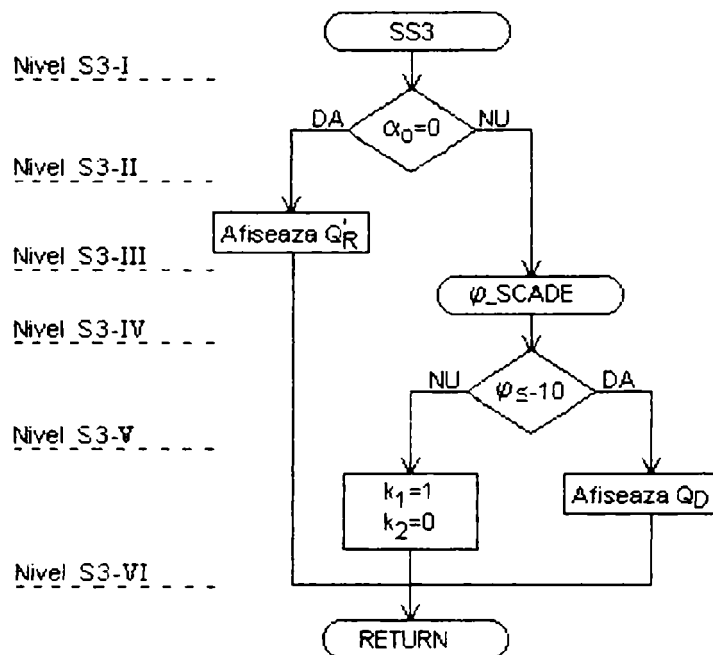
**Fig.4.4.15** Organigrama subrutinei SS2

Conform organigramei din fig.4.4.13, această subrutină se execută când  $u_3=0$  (nu este semnalată avarie),  $k_1=0$  (grupul se află înainte de prima pornire) și  $u_2=0$  (se primește o comandă de pornire grup). Operațiile ce se execută în cadrul subrutinei sunt: verificarea valorii de 0 a deschiderii  $a_0$  (Nivel S2-II), afișarea mesajului  $Q_R$  în cazul inegalității (Nivel S2-III), verificarea condiției  $k_2=1$  (Nivel S2-IV), în caz afirmativ lansarea subrutinei  $\varphi\_CREȘTE$  care modifică unghiul  $\varphi$  cu  $11.6^\circ/\text{sec}$ , iar în caz negativ afișarea mesajului  $Q_{7.4}$  (Nivel S2-V), verificarea coincidenței lui  $\varphi$  cu  $7.4^\circ$  (Nivel S2-VI), în caz afirmativ, setarea variabilei de stare  $k_1$  la valoarea “1”, iar în caz negativ, afișarea mesajului  $Q_L$ .

3. **Subrutina SS3** – corespunde segmentelor “W” → “W<sub>e\_6</sub>”, “W<sub>e\_7</sub>”, “W<sub>e\_8</sub>”. Organigrama subrutinei este prezentată în fig.4.4.16.

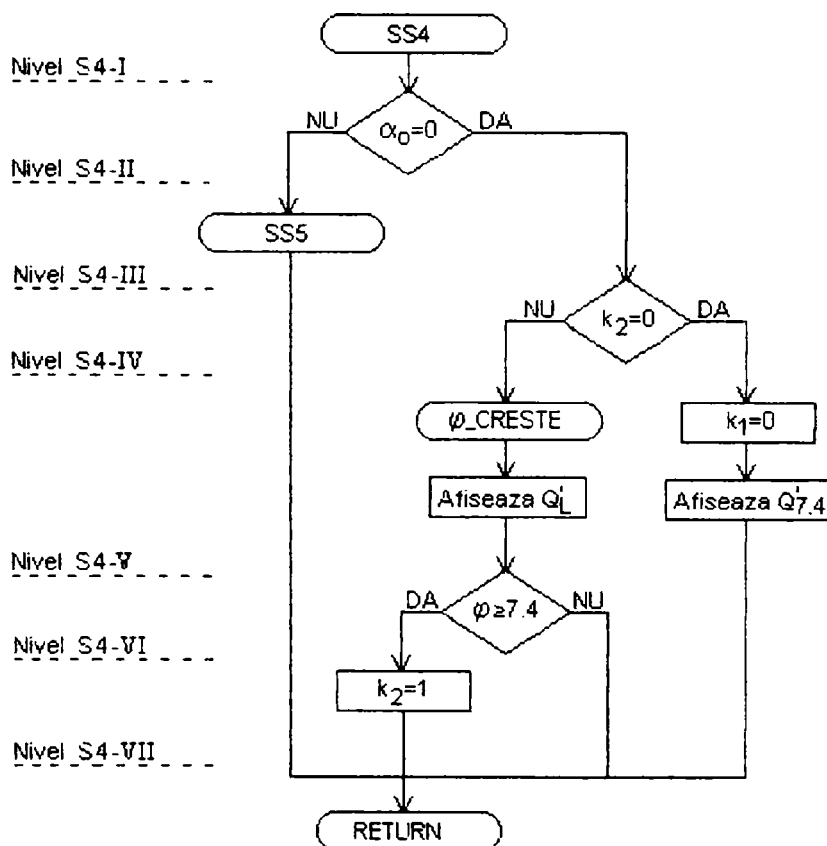
Conform organigramei din fig.4.4.13, această subrutină se execută când  $u_3=0$  (nu este semnalată avarie),  $k_1=0$  (grupul se află înainte de prima pornire) și  $u_2=1$  (se primește o comandă de revenire). Operațiile ce se execută în cadrul subrutinei sunt: verificarea valorii de 0 a deschiderii  $a_0$  (Nivel S3-II), afișarea mesajului  $Q'_R$  în cazul egalității (Nivel S3-III), în caz de inegalitate lansarea subrutinei  $\varphi\_SCADE$  care modifică unghiul  $\varphi$  cu  $-11.6^\circ/\text{sec}$  (Nivel S3-IV), verificarea condiției  $\varphi \leq -10^\circ$  (Nivel S3-V), în caz afirmativ, setarea variabilelor de stare  $k_1=1$ ,  $k_2=0$ , în caz negativ lansarea iar în caz negativ afișarea mesajului  $Q_D$  (Nivel S3-VI).





**Fig.4.4.16** Organigrama subrutinei SS3

4. **Subrutina SS4** – corespunde segmentelor “W”  $\rightarrow$  “W<sub>e\_9</sub>”, “W<sub>e\_10</sub>”, “W<sub>e\_11</sub>”. Organigrama subrutinei este prezentată în fig.4.4.17.



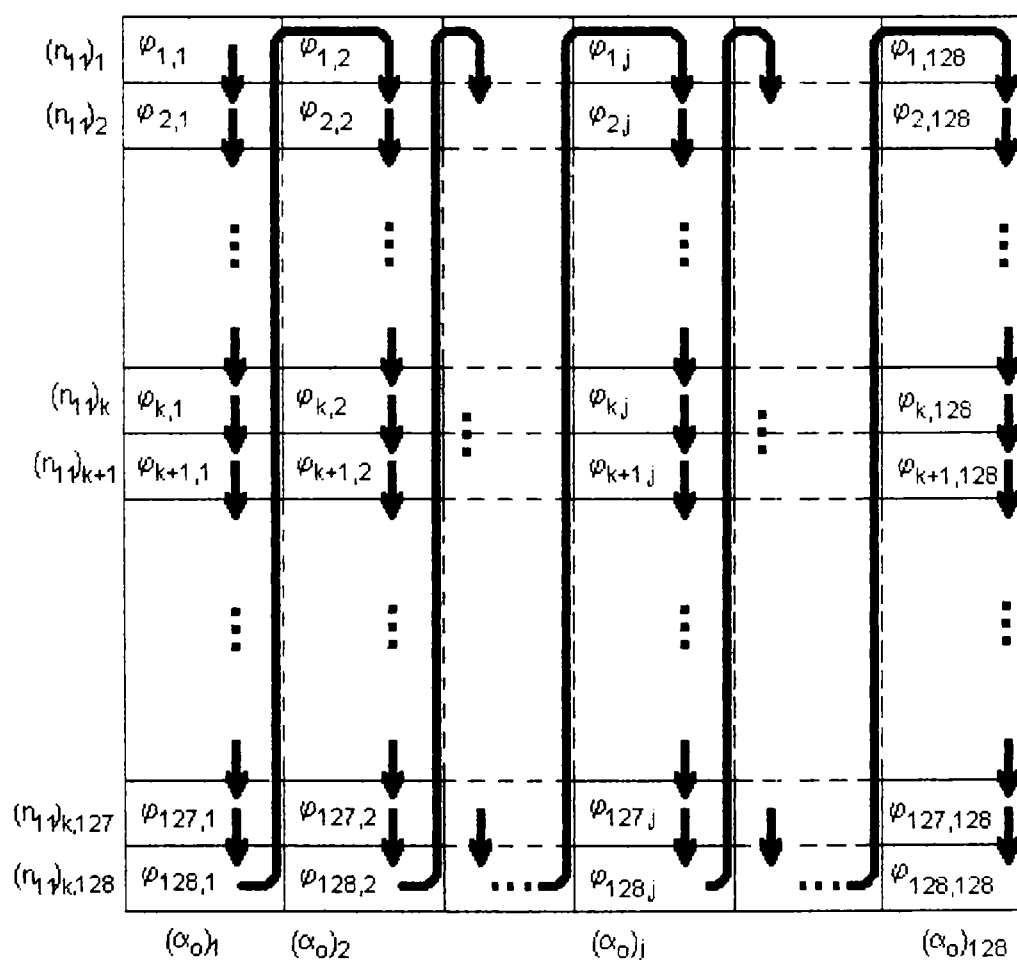
**Fig.4.4.17** Organigrama subrutinei SS4

Conform organigramei din fig.4.4.13, această subrutină se execută când  $u_3=0$  (nu este semnalată avarie) și  $k_1=1$  (grupul se află după prima pornire). Operațiile ce se execută în cadrul subrutinei sunt: verificarea valorii de 0 a deschiderii  $a_0$  (Nivel S4-II), în caz negativ (Nivel S4-III)

lansarea blocului 1, adică a subrutinei SS5 care execută operațiile din cadrul funcției camă combinatorică, iar în caz afirmativ, verificarea condiției  $k_2=0$  (Nivel S4-IV). În cazul în care această condiție este verificată, operațiile care se execută în continuare sunt de lansare a rutinei  $\varphi\_CREȘTE$  care modifică unghiul  $\varphi$  cu  $11.6^\circ/\text{sec}$  și afișarea mesajului  $Q'_L$  (Nivel S4-V), setarea variabilei  $k_2$  ( $k_2=1$ ) în cazul în care a fost atins nivelul de  $7.4^\circ$  (Nivel S4-VI, S4-VII), iar în cazul în care nu este verificată, înseamnă că unghiul  $\varphi$  a ajuns la valoarea de  $7.4^\circ$  și se execută resetarea variabilei  $k_1$  ( $k_1=0$ ) și afișarea mesajului  $Q'_{7.4}$  (Nivel S4-V)..

5. **Subrutina SS5** – corespunde segmentului “3”  $\rightarrow$  “ $W_{e_{12}}$ ”. Conform organigramei din fig.4.4.13, această subrutină se execută atât în cazul în care:  $u_1=1$  (grupul este în mișcare),  $u_3=1$  (este semnalată avarie) și  $u_4=0$  (nu este semnalată turație mai mare decât cea de ambalare), cât și în cazul ieșirii din rutina SS4, prezentată anterior.

Această subrutină conține operațiile din cadrul funcției camă combinatorică, ce furnizează la ieșire valoarea mărimii  $\varphi$  obținută cu ajutorul tabelului camă combinatorică discretă, dependent de mărimile  $i_H$  și  $a_0$  achiziționate anterior executării subrutinei.



**Fig.4.4.18** Organizarea tabelului camă combinatorică discretă în memorie

## 5.1) Modul de organizare a tabelului camă combinatorică discretă în memorie

Pentru a explica modul de obținere a lui  $\varphi$  este necesară prezentarea *modului de organizare a tabelului camă combinatorică discretă în memorie*. Schema grafică de organizare este prezentată în fig.4.4.18.

Fiecare valoare a lui  $\varphi$  este înregistrată pe doi octeți **Fi\_Hi** și **Fi\_Lo**, cu cel mai semnificativ octet în față. Cum în memorie datele sunt înregistrate ca vector, ordinea este următoarea:

<b>Fi<sub>1,1</sub>_Hi</b> → <b>Fi<sub>1,1</sub>_Lo</b> → <b>Fi<sub>2,1</sub>_Hi</b> → <b>Fi<sub>2,1</sub>_Lo</b> → ... →	
→ <b>Fi<sub>k,1</sub>_Hi</b> → <b>Fi<sub>k,1</sub>_Lo</b> → ... →	
→ <b>Fi<sub>128,1</sub>_Hi</b> → <b>Fi<sub>128,1</sub>_Lo</b> →	coloana 1
→ <b>Fi<sub>1,2</sub>_Hi</b> → <b>Fi<sub>1,2</sub>_Lo</b> → <b>Fi<sub>2,2</sub>_Hi</b> → <b>Fi<sub>2,2</sub>_Lo</b> → ... →	
→ <b>Fi<sub>k,2</sub>_Hi</b> → <b>Fi<sub>k,2</sub>_Lo</b> → ... →	
→ <b>Fi<sub>128,2</sub>_Hi</b> → <b>Fi<sub>128,2</sub>_Lo</b> → ... →	coloana 2
→ ... →	
→ <b>Fi<sub>k,j</sub>_Hi</b> → <b>Fi<sub>k,j</sub>_Lo</b> → ... →	coloana j
→ ... →	
→ <b>Fi<sub>127,128</sub>_Hi</b> → <b>Fi<sub>127,128</sub>_Lo</b> → <b>Fi<sub>128,128</sub>_Hi</b> → <b>Fi<sub>128,128</sub>_Lo</b> .	coloana 128

Se observă că datele sunt înscrise pe coloană ( $a_0$  constant).

Memoria conține, prin urmare 128x128 date de câte doi octeți (32768 octeți), fiind utilizată o memorie de 32kocteți. A fost aleasă o memorie EEPROM în care datele tabelului au fost înscrise off-line, ele putând fi modificate, de un număr redus de ori, în timpul rulării. Această facilitate este folosită în faza de optimizare a tabelului și va fi descrisă în cardul acestui paragraf, la punctul 7. De asemenea, utilizând o astfel de memorie, datele conținute nu se distrug în cazul unei întreruperi accidentale a tensiunii de alimentare.

## 5.2) Modul de adresare a datelor din memorie

Pentru a adresa cele 128x128 date din tabel, adresele ( $n_{11}, \alpha_0$ ) trebuie să conțină câte 7 biți pentru fiecare coordonată  $n_{11}$  și  $\alpha_0$ . Mărimile analogice achiziționate,  $i_H$  respectiv  $u_{a_0}$ , din care se obțin  $n_{11}$  și  $\alpha_0$ , fiind preluate de către convertorul analog-numeric al controlerului, au însă câte 10 biți. Pentru a compatibiliza mărimile achiziționate cu tabelul conținut în memorie, o soluție ar fi de a trunchia cele două mărimi de intrare la 7 biți, ignorând cei mai puțin semnificativi 3 biți, caz în care se pierde din precizia de calcul, (variante de utilizare a valorilor trunchiate).

Soluția adoptată de autor este de a selecta din tabel o locație  $\varphi_{k,j}$  numită *pilon*, pe baza mărimilor achiziționate  $i_H$  și  $a_0$  trunchiate la cei mai semnificativi 7 biți, și de a folosi ceilalți 3 biți pentru a interpola liniar pe ambele axe între pilon și cei trei vecini din S(sud),

SE(sud-est) și E(est), și anume valorile  $\varphi_{k,j+1}$ ,  $\varphi_{k+1,j}$ ,  $\varphi_{k+1,j+1}$ , (variante de utilizare a valorilor pentru interpolare). Ipoteza pentru această metodă este faptul că între două valori învecinate din tabel ale unghiului  $\varphi$ , acesta variază liniar în raport cu  $n_{11}$  și  $\alpha_0$ .

Notând cu  $n_{11\_9\div 0}$  numărul în cod zecimal corespunzător numărului în cod binar <sup>8</sup>

$$\overline{n_{11\_9} \ n_{11\_8} \ n_{11\_7} \ n_{11\_6} \ n_{11\_5} \ n_{11\_4} \ n_{11\_3} \ n_{11\_2} \ n_{11\_1} \ n_{11\_0}},$$

și  $\alpha_{0\_9\div 0}$  numărul în cod zecimal corespunzător numărului în cod binar

$$\overline{\alpha_{0\_9} \ \alpha_{0\_8} \ \alpha_{0\_7} \ \alpha_{0\_6} \ \alpha_{0\_5} \ \alpha_{0\_4} \ \alpha_{0\_3} \ \alpha_{0\_2} \ \alpha_{0\_1} \ \alpha_{0\_0}},$$

formula de calcul a adresei octetului "Hi" al pilonului  $\varphi_{k,j}$  este:

$$A\_Fi_{k,j\_Hi} = 2 * [(128 * n_{11\_9-3}) + \alpha_{0\_9-3}],$$

iar pentru octetul "Lo"

$$A\_Fi_{k,j\_Lo} = 2 * [(128 * n_{11\_9-3}) + \alpha_{0\_9-3}] + 1.$$

Pentru vecinii pilonului,

$$A\_Fi_{k,j+1\_Hi} = 2 * [(128 * n_{11\_9-3}) + \alpha_{0\_9-3}] + 2,$$

$$A\_Fi_{k,j+1\_Lo} = 2 * [(128 * n_{11\_9-3}) + \alpha_{0\_9-3}] + 3,$$

$$A\_Fi_{k+1,j\_Hi} = 2 * [(128 * n_{11\_9-3} + 128) + \alpha_{0\_9-3}],$$

$$A\_Fi_{k+1,j\_Lo} = 2 * [(128 * n_{11\_9-3} + 128) + \alpha_{0\_9-3}] + 1,$$

$$A\_Fi_{k+1,j+1\_Hi} = 2 * [(128 * n_{11\_9-3} + 128) + \alpha_{0\_9-3}] + 2,$$

$$A\_Fi_{k+1,j+1\_Lo} = 2 * [(128 * n_{11\_9-3} + 128) + \alpha_{0\_9-3}] + 3.$$

### 5.3) Obținerea valorii lui $\varphi$ prin interpolare

Se consideră pilonul  $\varphi_{k,j}$  și vecinii săi  $\varphi_{k,j+1}$ ,  $\varphi_{k+1,j}$ ,  $\varphi_{k+1,j+1}$  (v. fig.4.4.19). Pentru a obține o valoare a lui  $\varphi$  pornind de la cele 4 valori de pe două axe este necesară utilizarea unei interpolări bilineare. Aceasta se realizează în doi pași.

În primul pas se calculează prin interpolare liniară valorile intermediare ale lui  $\varphi_{k,int}$  și  $\varphi_{k+1,int}$  cu formulele:

$$\varphi_{k+1,int} = \varphi_{k+1,j+1} + \frac{(\varphi_{k+1,j} - \varphi_{k+1,j+1})}{8} * \alpha_{0\_2-0}$$

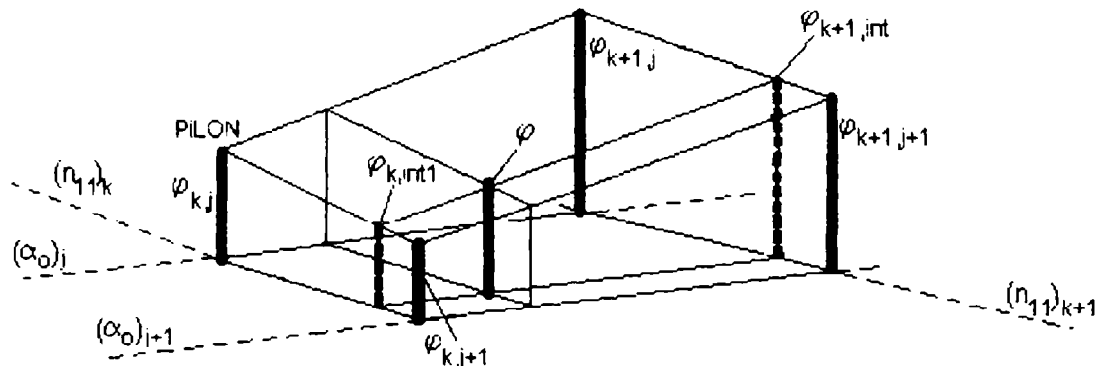
<sup>8</sup> Această notație se va folosi în continuare, cu aceeași semnificație, de o manieră generală, și pentru un număr mai mic de biți decât 10,  $n_{11\_j+i}$ ,  $0 \leq j \leq i \leq 9$ ,  $\alpha_{0\_j+i}$ ,  $0 \leq j \leq i \leq 9$ .

cu  $0 \leq j \leq i - 1$ .

$$\varphi_{k,int} = \varphi_{k,j+1} + \frac{(\varphi_{k,j} - \varphi_{k,j+1})}{8} * \alpha_{0\_2-0}$$

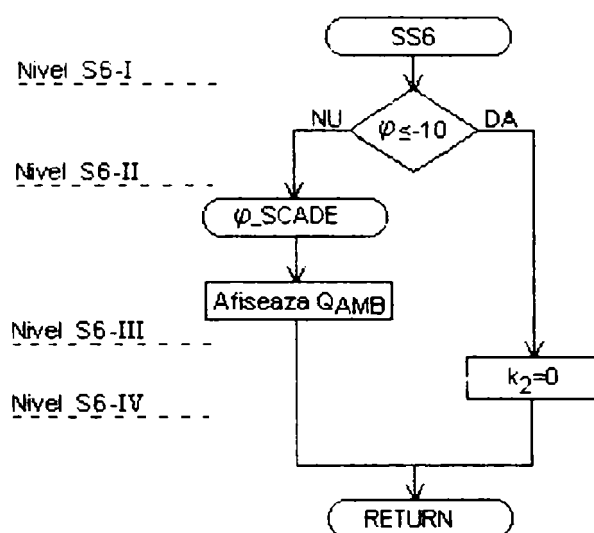
În al doilea pas se calculează prin interpolare liniară valoarea lui  $\varphi$  între  $\varphi_{k,int}$  și  $\varphi_{k+1,int}$  cu relația:

$$\varphi = \varphi_{k+1,int} + \frac{(\varphi_{k,int} - \varphi_{k+1,int})}{8} * n_{11\_2-0}$$



**Fig.4.4.19** Obținerea unghiului  $\varphi$  prin interpolare biliniară

6. **Subrutina SS6** – corespunde segmentelor “3” → “W<sub>e\_13</sub>” și “W<sub>e\_14</sub>” din organigrama din fig.4.2.1. Conform organigramei din fig.4.4.13, această subrutină se execută în cazul în care:  $u_1=1$  (grupul este în mișcare),  $u_3=1$  (este semnalată avarie) și  $u_4=1$  (este semnalată turație mai mare decât cea de ambalare).



**Fig.4.4.20** Organigrama subrutinei SS6

Subrutina conține operațiile din cadrul funcției de protecție și are sarcina de a deplasa paletetele rotorice până la poziția “închis”, adică la un unghi de  $-10^\circ$ . Organigrama operațiilor este prezentată în fig.4.4.20.

Operațiile ce se execută în cadrul subrutinei sunt: verificarea valorii de  $-10^\circ$  pentru  $\varphi$  (Nivel S6-II). În caz negativ se lansează rutina de modificare a unghiului  $\varphi$  cu  $-11.6\%$  sec și se afișează mesajul  $Q_{AMB}$  de avertizare (Nivel S6-III), iar în caz afirmativ se resetează variabila  $k_2$  ( $k_2=0$ ), (Nivel S6-IV).

7. **Subrutina OUT\_PROC** – reprezintă o procedură de furnizare a datei  $\varphi$  către exterior ca tensiune analogică  $u_\varphi$  (1), precum și de afișare a datelor (2) conform funcției de monitorizare și corespunzător opțiunilor operatorului (§4.4.4.1).

1)

- Tensiunea de ieșire  $u_\varphi$  poate fi măsura mărimii  $\varphi$  calculate de subrutina SS5 prezentată în cadrul acestui paragraf, sau o valoare selectată de operator în cazul activării opțiunii de optimizare a funcționării blocului de cuplare. Activarea se face de către operator care poate interveni în rularea procesului apăsând o tastă ce va fi recunoscută în Nivelul IV al programului principal (v. ordinograma din fig.4.4.13).
- Dacă nu s-a apăsât nici o tastă, mărimea  $\varphi$  este trimisă convertorului numeric-analogic, obținându-se tensiunea  $u_{\varphi,CAN}$ , apoi prin blocul de adaptare BA (v. fig.4.4.1), se obține tensiunea  $u_\varphi$  conform caracteristicii din fig.4.4.10, după care se reia ciclul de funcționare.

Dacă s-a apăsât tasta de activare (tasta <3>), atunci este setat parametrul OptimPar (OptimPar=1). În acest caz, în cadrul subrutinei OUT\_PROC ciclul de funcționare normală este întrerupt și valoarea mărimii  $\varphi$  poate fi modificată crescător sau descrescător de către operator, de la tastatura modulului de cuplare, după care ciclul se reia.

- Motivul pentru care a fost introdusă opțiunea de optimizare a fost necesitatea de a permite selectarea manuală a unei valori pentru  $\varphi$ , diferită de cea rezultată din calcul prin funcția camă combinatorică în scopul obținerii unei valori maxime a puterii active debitate de hidro-generator<sup>9</sup>. Cu valoarea lui  $\varphi$  astfel

<sup>9</sup> În varianta realizată, operatorul urmărește valoarea puterii active pe un aparat indicator și în consecință incrementează sau decrementează valoarea lui  $\varphi$  cu un anumit număr până observă un maxim al puterii (optimizare manuală). O altă variantă de optimizare este ajustarea automată, după un anumit algoritm, a valorii lui  $\varphi$  prin citirea de către modulul de cuplare a măsurii puterii active debitate de hidro-generator (optimizare automată)..

obținută se modifică tabelul camă combinatorică discretă, ajungând ca după mai multe operații de optimizare să se obțină un tabel mai preformant. Implementarea optimizării automate se poate face cu minim de efort pe structura existentă, facilitățile pentru aceasta fiind prevăzute în faza de proiectare hard și soft a modulului de cuplare.

2)

Afișarea mărimilor din proces se face conform descrierii din §4.2.1.6, §4.4.2.4 și §4.4.4.1.

#### 4.5. Managementul proiectării și realizării modulului de cuplare

În realizarea modului au fost parcurse două etape:

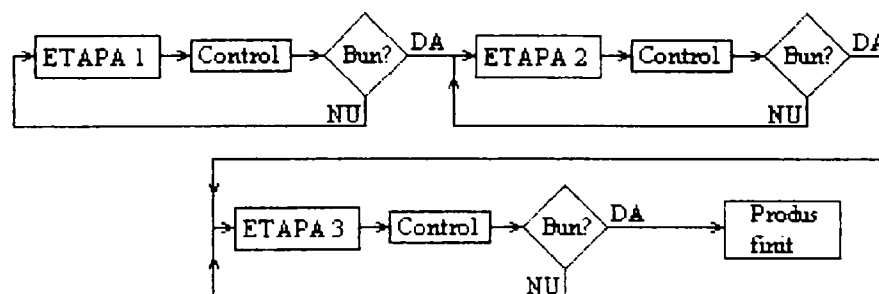
- proiectarea hardware și software a modulului pentru realizarea funcțiilor și sarcinilor blocului de cuplare și a programului de implementare, prezentate în §4.2., 4.3. și 4.4.
- proiectarea metodologiei pentru punerea în funcțiune, validarea și depanarea modulului de cuplare
- realizarea fizică a modulului de cuplare (blocul de conversie și adaptare, conexiunile la plac cu microcontroler),
- scrierea programelor de aplicație,
- punerea în funcțiune în laborator, validarea experimentală,
- încercări pe stand la beneficiarul contractului, UCM Reșița.

În cadrul acestui paragraf se prezintă managementul acestor activități.

Totodată se detaliază probleme specifice întâlnite în fazele de punere în funcțiune și validare a modulului de cuplare.

##### 4.5.1 Proiectarea hardware și software pentru realizarea funcțiilor blocului de cuplare.

Sucesiunea etapelor după care s-a realizat proiectarea este prezentată în fig.4.5.1.



**Fig.4.5.1.** Schema bloc de principiu a proiectării modulului de cuplare

1. Pornind de la funcțiile blocului de cuplare, a fost ales *echipamentul numeric* care poate îndeplini toate cerințele impuse, și anume o placă de dezvoltare cu microcontrolerul I80C552. Este o placă de uz general, dar care poate fi configurată pentru o gamă largă de aplicații (v. §4.4.1.). Performanțele de viteză au corespuns cerințelor, însă nu era disponibilă o capacitatea de memorie nonvolatilă reinscriptibilă. Ca urmare, revenind la placa de dezvoltare a fost inclusă în schema o memorie EEPROM pentru a satisface și această cerință.
2. A fost proiectată schema electronică a blocurilor de adaptare (BCA și BA, v. fig.4.14.). În faza de control au fost calibrate cele 3 canale, două de intrare și una de ieșire, cu ajutorul potențioetrelor dispuse în schemă. Pentru aceasta, montajul a fost stimulat cu tensiune de la o sursă de tensiune constantă, urmărindu-se realizarea caracteristicilor din fig.4.4.4., fig.4.4.8., fig.4.4.10.
3. A fost structurat programul de aplicație conform §4.4.4., și anume programul principal după §4.4.4.1., iar subrutinele după §4.4.4.2. A fost scris programul în limbajul C standard, cu o serie de elemente de bibliotecă specifice plăcii cu microcontroler, iar asamblarea, linkeditarea și conversia în format "hex" cu executabile specifice microcontrolerului. A fost verificată corectitudinea logică și sintactică a programului, revenindu-se la rezolvarea fiecărei neconcordanțe cu sarcinile impuse.

#### 4.5.2 Punerea în funcțiune și validarea modulului de cuplare

Pentru faza de punere în funcțiune a fost urmat principiul din fig.4.5.1.

S-au folosit în acest scop o serie de metode clasice de intervenție în rularea programului. Deoarece compilatorul disponibil nu a conținut un debugger, s-a recurs la diverse metode de investigare: metoda pas-cu-pas, afișarea pe ecran a mărimilor de interes, simularea internă a unor mărimi etc.

1. Pentru înscrierea memoriei EEPROM ce conține tabelul camă combinatorică discretă au fost scrise 5 programe încărcătoare, resursele reduse de memorie RAM nepermițând transferul într-un singur pas al tuturor celor 32kocteți de date.  
Pentru verificarea corectitudinii datelor din memoria EEPROM au fost scrise 5 programe de comparare a datelor din memorie cu cele inițiale, aceste programe fiind utile și în faza de întreținere și depanare a modulului în decursul funcționării.
2. Pentru verificarea corectitudinii executării tuturor operațiilor, au fost simulate din exterior condițiile  $u_1 \div u_4$  și programul a fost rulat pe toate ramurile.



În cazul în care ramificările nu au fost corect tratate, a fost folosită metoda pas-cu-pas pentru identificarea și corectarea erorilor din program.

3. Pentru verificarea corectitudinii executării operațiilor din cadrul *funcției camă combinatorică*, s-au folosit două metode de investigare, și anume:
  - au fost generate intern perechile de mărimi de intrare  $i_H$  și  $u_{ao}$ , constante și s-au verificat valorile lui  $\varphi$  prin afișare pe ecranul display-ului alfanumeric, comparându-se cu valorile din inițiale din tabel. S-a stabilit astfel cantitativ corectitudinea adresării tabelului.
  - au fost generate intern perechile de mărimi de intrare  $i_H$  și  $u_{ao}$  variabile astfel: pentru un  $i_H$  constant egal cu 512, la mijlocul domeniului, s-a generat  $u_{ao}$  variabil incremental de la valoarea minimă 0 la valoarea maximă 1023, iar rezultatul  $\varphi$  variabil a fost marcat pe un înregistrator  $X \rightarrow Y$ . Curba obținută reprezintă o realizare a secțiunii prin suprafața camei din fig.4.3.8. pentru  $n_{11}$  constant și  $\alpha_0$  variabil (unde  $i_H$  este măsura lui  $n_{11}$ , iar  $u_{ao}$  este măsura lui  $\alpha_0$ ). Aceeași curbă a fost generată din programul Matlab pentru suprafața camei din fig.4.3.8. și în final au fost comparate cele două curbe. S-a repetat experiența pentru  $u_{ao}$  constant și  $i_H$  variabil, obținându-se curbe perpendiculare pe cele din experimentul precedent. S-a verificat calitativ prin aceasta corectitudinea operației de interpolare biliniară, precum și funcționarea în regim dinamic. Cele patru curbe sunt prezentate în fig.4.5.2÷4.5.5.

### 4.5.3 Încercările pe stand

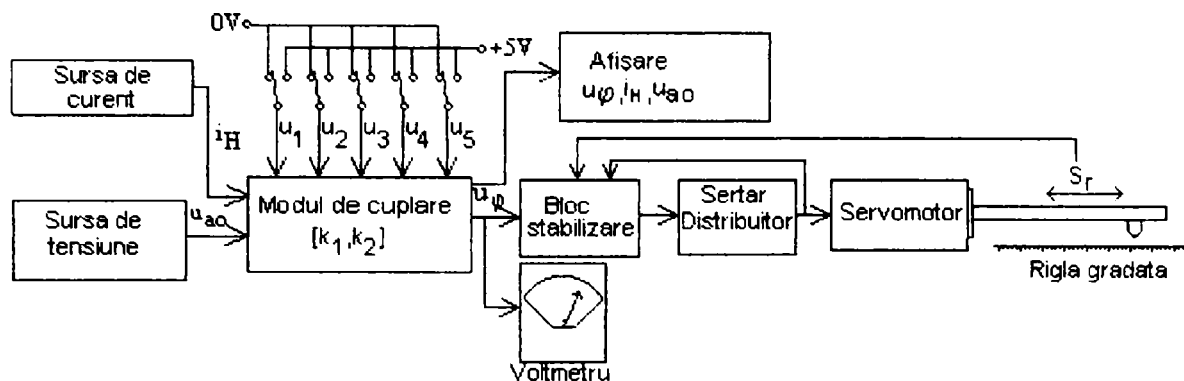
Modulul de cuplare a fost încercat pe standul de la beneficiarul UCM Reșița, în regim static, prin stimularea intrărilor de la o sursă de tensiune (pentru  $u_{ao}$ ) și de la o sursă de curent (pentru  $i_H$ ).

Modulul de cuplare are câteva facilități hard și soft pentru calibrarea mărimilor astfel:

- pentru calibrare hardware, pe fiecare canal de intrare și ieșire este posibilă ajustarea valorilor tensiunilor atât modificând amplificarea cât și offset-ul,
- pentru calibrarea software există posibilitatea de modificare a valorilor off-line, a valorilor din tabel, sau on-line, a expresiei de calcul a lui  $u_\varphi$ .

Programul camă are posibilitatea de a rula pas-cu-pas, permițând ajustarea hardware sau stabilirea unui algoritm de ajustare software pentru oricâte puncte de funcționare.

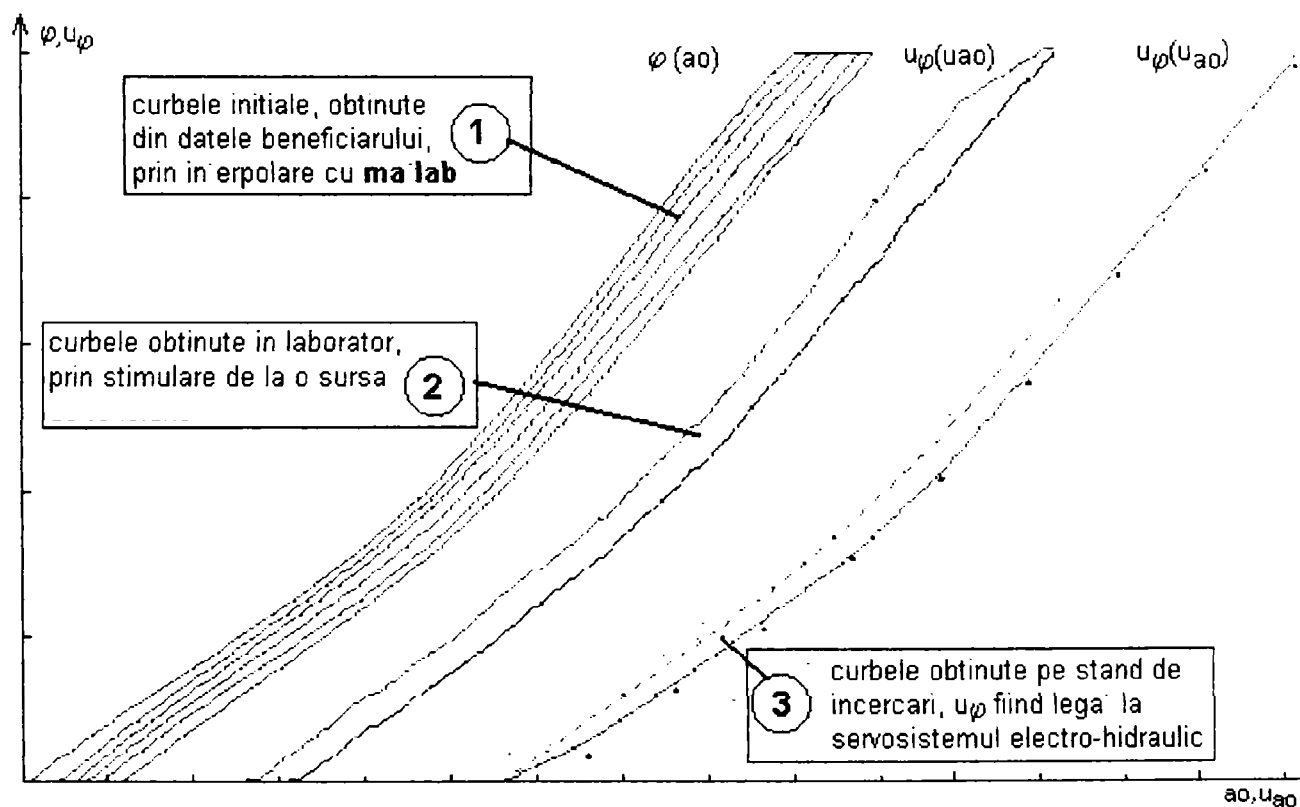
Schema bloc de principiu a montajului pentru încercările pe stand este prezentată în fig.4.5.2.



**Fig.4.5.2.** Schema bloc de principiu a montajului pentru încercările pe stand

Principiul de verificare a corectitudinii funcționării modulului de cuplare legat de servosistemul electro-hidraulic a fost următorul:

- generarea un curent constant  $i_{H0}$  de catre sursa de curent, corespunzător căderii minime de 13 m, adică 17,402 mA.
- determinarea prin puncte a caracteristicii  $u_{\phi}(u_{a0})$  de parametru  $i_{H0}$  prin modificarea lui  $u_{a0}$  în domeniul [0V, 10V] și folosind un minim de 10 puncte de măsurare.
- repetarea operațiilor pentru alte 2 valori ( $i_{H1}$  și  $i_{H2}$ ) ale lui  $i_H$ , rezultând în final trei curbe .



**Fig.4.5.3.** Prezentare comparativă a dependențelor inițiale și a rezultatelor încercărilor în laborator și pe stand

Rezultatele sunt prezentate în fig. 4.5.3 prin curbele **3** în care sunt reprezentate calitativ și scalate corespunzător și rezultatele operațiilor descrise în

- §4.3.1.2 - construirea tabelului camă combinatorică discretă pentru cazul în care se pleacă de la caracteristici extrase din diagrama universală (v. fig.4.3.12) –curbele **1**,
- §4.5.2 – rezultatele încercărilor din laborator –curbele **2**.

Se observă din figură coincidența formelor celor trei familii de curbe. Valorile absolute au fost verificate prin măsurători în puncte și s-a confirmat egalitatea valorilor mărimii de ieșire  $u_{\phi}$  pentru mărimi de intrare identice.

#### **4.5.4 Probleme specifice întâlnite în fazele de proiectare și punere în funcțiune**

- În faza de proiectare, în schema electronică a modului de cuplare, la intrările convertorului analog-numeric au fost montate condensatoare cu rolul de a menține tensiunea pe o perioadă de eșantionare. Această măsură a fost luată pentru a compensa lipsa elementului de reținere de la intrarea convertorului analog-numeric, în caz contrar, valorile citite de convertor s-ar fi modificat aleator cvasiperiodic.
- În faza de punere în funcțiune, semnalul de la intrarea convertoarelor analog-numerice era afectat de perturbații. Modul de manifestare era de instabilitate a intrării, chiar în condițiile în care tensiunea aplicată de la o sursă de tensiune era menținută riguros constantă. Pentru a elimina efectul perturbațiilor, au fost protejate prin ecranare atât firele de semnal cât și placa pe care au fost realizate blocurile de adaptare (BA) și de conversie și adaptare (BCA).

#### **4.6. Concluzii și contribuții**

1. În cadrul acestui capitol este prezentată metodologia de dezvoltare a combinatorului în variantă numerică (denumit în lucrare Bloc de cuplare) pentru un sistem de reglare a vitezei turbinelor Kaplan și Bulb. Metodologia prezintă aspecte de originalitate din cadrul cărora sunt de remarcat:
  - soluția de construire a tabelului camă combinatorică discretă,
  - implementarea blocului de cuplare pe sistemul cu microcontroler.
2. Funcția principală a blocului de cuplare este realizarea funcției camă  $\phi = \Phi(a_0, H)$  (poziția paletelor rotorice în funcție de poziția paletelor statorice și de înălțimea căderii de apă) denumită funcția camă. În teză este prezentat algoritmul de calcul a acestei dependențe pornind de la diagrama universală a turbinei. În acest scop a fost utilizat un bogat instrument matematic descris pe larg (în principiu au fost identificate acele tipuri de funcții care aproximează caracteristicile neliniare din

diagramă și s-au folosit o serie de interpolări pentru generalizarea rezultatelor). Pentru a efectua volumul mare de calcule și pentru simulare, solicitate de dezvoltarea combinatorului, a fost folosit mediul Matlab.

A rezultat un tabel care conține toate datele diagramei universale și care este încărcat în memoria echipamentului numeric de calcul.

3. Blocul de cuplare numeric a fost proiectat hard și soft pornind de la funcțiile sale:
  - funcția camă,
  - funcția de pregătire pornire,
  - funcția de protecție,
  - funcția de limitare,
  - funcția de monitorizare.
  
4. Modelul de laborator a blocului de cuplare a fost realizat în jurul unui sistem cu microcontroler El a fost validat în standul de încercări de la SC UCM Reșița. Pentru adaptarea semnalelor din proces la blocurile de intrare-ieșire a echipamentului numeric a fost construită o interfață electronică..
  
5. Software-ul de aplicație a fost generat ținând cont de funcțiile blocului de cuplare și de modurile de lucru ale acestuia:
  - normal,
  - de depanare,
  - de optimizare.

El conține un program principal cu șase subrutine corespunzătoare funcțiilor și modurilor de lucru. Adiacent software-ului de aplicație au mai fost scrise programe de încărcare în EEPROM a tabelului camă și programe de autotest pentru verificarea acestuia.

Modelul de laborator al blocului de cuplare a fost testat pe standul de la UCM Reșița, verificat în puncte și validat de beneficiar [\*\*\* 00]. Echipamentul hardware a fost dezvoltat în două versiuni, a doua fiind generată de probleme de perturbații electromagnetice care afectau semnalele din sistem. Au fost luate măsuri drastice de protecție la perturbații și în final încercările au fost corespunzătoare.

#### *Contribuții:*

- elaborarea unei variante a algoritmului de interpolare folosit pentru obținerea tabelului camă combinatorică discretă și transpunerea acesteia într-un program de calcul a valorilor tabelului camă combinatorică discretă,
- conceperea și proiectarea structurii blocului de cuplare,
- proiectarea hardware a blocului de cuplare în variantă numerică (blocul de conversie și adaptare, utilizarea resurselor plăcii cu microcontroler),

- scrierea programelor de aplicație, de încărcare a tabelului și de testare,
- elaborarea strategiei de punere în funcțiune și verificare,
- realizarea practică și validarea în laborator și pe stand de încercări la beneficiar.

## Cap.5. Concluzii și contribuții

### 5.1. Concluzii

Subiectul tezei se încadrează în problematica reglării de viteză a hidrogeneratoarelor. Teza prezintă analiza și dezvoltarea unor structuri de reglare a vitezei, cu precădere în ideea folosirii unor echipamente numerice.

Toate subiectele tratate în teză se referă la reglatoare care au fost elaborate în cadrul unui șir de colaborări între cadre didactice ale Universității “Politehnica” din Timișoara, departamentul de Automatică și Informatică Industrială și specialiști de la Departamentul de Cercetare Proiectare al S.C. UCM Reșița. Sunt amintite doar acele structuri la care autorul a participat în calitate de membru al echipelor de cercetare, proiectare și validare, sau în calitate de responsabil de contract.

Sunt prezentate pentru început structuri de principiu ale sistemelor de reglare a vitezei, utilizate atât pe plan mondial cât și în România, precum și structuri PID actuale oferite de firme producătoare în domeniu (NOELL, Siemens, Neyrpic, Woodward), unul dezvoltat în cadrul Universității “Politehnica” și unul în funcțiune la o hidrocentrală din Marea Britanie. La acest nivel se detaliază implementarea regulatorului PID dezvoltat în Universitatea “Politehnica” cu un sistem cu microcontroler, implementare care a fost obiectul unui contract cu Uzina Constructoare de Mașini din Reșița la care autorul tezei a fost responsabil de contract. Regulatorul numeric PID obținut asigură realizarea legii de reglare și tratarea tuturor regimurilor solicitate de beneficiar.

În teză se prezintă de asemenea o structură nouă de regulator de viteză ce se bazează pe o buclă cu caracter integrator. Acest regulator a făcut de asemenea obiectul unui contract cu UCM Reșița, la care autorul a fost participant, el fiind realizat în variantă analogică și pus în funcțiune la CHE Herculan și CHE Dicle Turcia, din anul 1998, respectiv 1999. Unul dintre avantajele sale față de structurile clasice este faptul că stărușele permanente și tranzitorii pot fi ajustate conform normelor CEI fără a produce procese de interinfluență. În capitol se prezintă teoretizarea în detaliu a principiilor folosite la conceperea și realizarea regulatorului, aceste aspecte nefiind încă publicate.

În cadrul sistemelor de reglare cu două organe (reglatoare duble) pentru turbine Kaplan și Bulb, se descrie în teză proiectarea și realizarea unui model de combinator (camă combinatorică sau bloc de cuplare) în variantă numerică. Sunt prezentate:

- metoda matematică de obținere prin interpolare a dependenței combinatorice și construirea unui tabel de încărcat în EEPROM, pornind de la diagrama uniuersală a turbinei furnizată de beneficiar,
- proiectarea echipamentului numeric folosit și a interfeței electronice
- software-ul de aplicație împreună cu toate programele auxiliare.

Pentru proiectare s-a pornit de la funcțiile camei combinatorice și de la modurile de lucru ale acesteia.

Teza prezintă în mare parte implementări numerice ale unor structuri analogice, soluțiile adoptate bazându-se pe un echipament foarte des utilizat în automatizări, și anume sistemul cu microcontroler Intel 80C552. Argumentele utilizării acestui tip de echipament sunt:

- largă răspândire în cazul aplicațiilor de conducere a proceselor datorită caracteristicilor lor tehnice
- simplitate de realizare hardware a echipamentelor și de programare a software-ului de aplicație.
- cost scăzut.

## **5.2. Contribuții:**

În domeniul structurilor de reglatoare de viteză destinate conducerii hidrogenatoarelor autorul s-a ocupat cu analiza sistemelor de reglare de tip PID, proiectarea și realizarea unui regulator PID numeric, elaborarea unei noi structuri de regulator bazat pe o buclă cu caracter integrator, proiectarea unei came combinatorice numerice. Rezultatele cercetării prezentate în această teză au fost publicate în 9 lucrări originale, dintre care în 2 este unic autor, în trei este colaborator ca prim autor și în patru este colaborator. De asemenea rezultatele cercetării au făcut obiectul a patru contracte de cercetare, în două dintre ele autorul fiind responsabil de contract.

### *Capitolul 2*

1. Sinteza privind evoluția structurilor de reglare,
2. Analiza comparativă a șase structuri de reglatoare PID provenind de la diverse firme,
3. Definirea sarcinilor și funcțiilor unui regulator numeric cu legea de reglare PID,
4. Proiectarea și realizarea în totalitate a regulatorului numeric cu sistem cu microcontroler, ca model de laborator în cadrul unui contract de cercetare.

### *Capitolul 3*

1. Teoretizarea globală a regulatorului de viteză bazat pe structura cu buclă cu comportare de tip integrator,
2. Participare la proiectarea regulatorului original prin soluționarea problemelor referitoare la subsistemul de realizare a statismului după putere,

3. Participare ca și consultant al beneficiarului SC UCM Reșița la proiectarea tehnologică, punerea în funcțiune și verificarea regulatorului analogic.

#### *Capitolul 4*

1. Participare la elaborarea unui algoritm de interpolare a funcțiilor  
 $\varphi = \Phi(a_0, H)$ ,
2. Elaborarea unui algoritm de construire a tabelului camă pornind de la diagrama universală.
3. Proiectarea, realizarea și încercarea în totalitate a modelului de laborator a blocului de cuplare (hardware și software).

### **5.3. Considerații finale**

Toate temele realizate și descrise în teză au un puternic caracter aplicativ. Ele au fost rodul colaborărilor între cadre didactice din Universitatea "Politehnica" din Timișoara și un colectiv de la departamentul de cercetare și proiectare din UCM Reșița. Autorul a participat la aceste colaborări ca membru sau responsabil de contract, implicarea sa în dezvoltarea temelor fiind permanentă, cu diferite grade de responsabilitate, după cum este descris în diverse puncte ale tezei. Toate contractele au fost realizate în ideea de a se dezvolta un produs industrial, și în cazul regulatorului analogic descris în capitolul trei, s-a și reușit, acesta fiind în funcțiune de cinci, respectiv patru ani la două hidrocentrale. Pentru variantele numerice există un real interes de realizare în variantă industrială, urmând ca în viitor să se abordeze și acest aspect.

Autorul aduce pe această cale mulțumiri colectivului din Universitatea "Politehnica" din Timișoara cu care a colaborat pe parcursul a 12 ani, și anume dl.Prof.dr.ing. Preitl Ștefan, dl.Prof.dr.ing. Toma Leonida Dragomir, dl.Prof.dr.ing.Radu Precup, as. Andrei Domokos, precum și colectivului de la U.C.M.Reșița – DCP, în special domnilor ingineri Ioan Grando și Ștefan Lozici, pentru ajutorul acordat și pentru posibilitatea oferită de a contribui la realizarea reguletoarelor de viteză.



## Bibliografie

[\*\*\* 84] *SC UCMR SA Documentație a turbinei CHE Orlea, Partea de curgere a modelului*, Reșița 1984.

[\*\*\* 85] *Echipment de comandă pentru regulatorul de turație Porțile de Fier II- Carte tehnică*, IPA- Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Automatizări. MIET-CIEA, 1985

[\*\*\* 93] *Proiectarea unui regulator de viteză cu structură PID pentru hidrogenatoare*, Protocol Contract 1A/R, colectiv UPT cu UCM Reșița S.A., (director de contract: Dragomir, T.L.), Timișoara, 1993.

[\*\*\* 94] *Proiectarea unui regulator de viteză pentru hidrogenatoare pentru amenajarea Dicle-Turcia*, Protocol Contract 2A/R, colectiv UPT cu UCM Reșița S.A., (director de contract: Dragomir, T.L.), Timișoara, 1994.

[\*\*\* 00] *Activitate de cercetare-dezvoltare pentru realizarea unui regulator numeric de turație cu camă numerică, destinat hidroagregatelor de tip Bulb reversibile, cu aplicare la CHE Orlea- Aval II și CHE Slătioara Aval , în vederea mării eficienței în exploatare*, Protocol Contract nr. 503/24.04.2000 UPT - SC UCM Reșița (director de contract **Nanu, S.**), Timișoara 2000.

[\*\*\* 01] *Realizarea unui model funcțional de regulator numeric de turație pentru CHEMA echipate cu turbine FO (Francis) ce are la bază un microcontroler*, Protocol Contract nr. 697/24.07.2001 UPT - SC UCM Reșița, (director de contract **Nanu, S.**), Timișoara 2001.

[AGM 99] AG Measurematics Pvt. Ltd., *Electronic Governor for Small Hydro Francis, Kaplan and Pelton Turbine*, Roorkee, India 1999

[ÅST 93] Åström, K. J., Wittemark, B., *Computer-Controlled Systems*, Prentice Hall, 1993.

[AME 02] American Governor Company, *Field Service and Field Engineering*, Langhorne, PA, SUA 2002  
<http://www.americangovernor.com/>

[BAB 85] Babuția, I., Dragomir, T.L., Mureșan, I., Proștean, O., *Conducerea automată a proceselor*, Facla, 1985.

[BAL 01] Bălășoiu, V., *Echivalente hidraulice de acționare*, Ed. Eurostampa, Timișoara, 2001.

[CRI 79] Crișan, O., *Sisteme electroenergetice*, EDP București, 1979.

[CRI 86] Crișan, O., *Sisteme electrice*, Ed. Institut Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, 1986, curs lito, Vol.III.

[DRA 86] Dragomir, T.L., *Regulatoare automate*, vol. I., I.P.V.T.V., Timișoara, 1986.

[DRA 96] Dragomir, T., Dranga, O., **Nanu, S.**, *About an Electrohydraulic Speed Governor Structure*, International Symposium on System Theory, SINTES 8, pag.87-96, Craiova, 6,7 iunie 1996.

[DRA 99] Dragomir T.L., **Nanu, S.**, *Digital Combinatorial CAM for Hydroturbines (design approach)*, Acta Universitas Cibiniensis, Vol XLI, Seria Tehnică, pag.81-87, Sibiu 1999.

[DRA 01] Dragomir, T.L., **Nanu, S.**, *About some integrator feature structures*, Buletinul Științific al UPT, Seria Automatică și Calculatoare, Tom 46(60), Fascicola 1, 2001.

[DRA 02] Dragomir, T.L., *Proportional Elements And Proportional Feedbacks*, Periodica Politechnica, Transactions on AC & CS, 47 (61), 2002.

[DRA 03] Dragomir, T.L., **Nanu, S.**, *Conceptual structural elements regarding a speed governor for hydrogenerators*, Mihail Voicu (Ed.) Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London, 2003.

[DRE 96] D. Drechsel, *Regelbasierte Interpolation und fuzzy Control*, Vieweg, 1996.

[DUM 93] Dumitrache, I., Dumitriu, S., ș.a. *Automatizări Electronice*, EDP, București, 1993.

[EMB 95] Embree, P. M., *C algorithms for real time DSP*, Prentice Hall PTR, New Jersey, 1995.

[ENG 95] Engell, S., *Entwurf nichtlinearer Regelungen*, Oldenbourg Verlag Munchen, 1995.

[FÂN 92] Fântână, C., *Regulatoare de turatie pentru hidroagregate*, Revista Română de Automatică, nr.2, pag.24, IPA București 1992.

[FER 97] Ferreira, A.R., daSilva, F.B., et.a. – *A special parametrization of classical antiwindup systems in presence of input parametrization*, Proceedings of Asian Control Conference, pag. 543, Seoul, 22-25 july, 1997.

[FLO 83] Florea, S., ș.a., *Electronică Industrială și Automatizări*, ed.2. EDP, București, 1983.

[GUZ 95] Guzun, B., Mucichescu, C., ș.a. *Automatizări în hidroenergetică*, Ed. Tehnică, București, 1995.

[HYD 02] Hydro West Group LLC Seattle, *Digital Electro-Hydraulic Governor* <http://www.hydrowest.com/govrnor.htm> iul. 2002

[IEC 70] International Electrotechnical Commission (affiliated to the International Organization for Standardization), *International code for testing of speed governing systems for hydraulic turbines*, Bureau Central de la Commision Electrotechnique Internationale, Geneve, Suisse, 1970.

[IEC 97] International Electrotechnical Commission, IEC61362: Guide to specification of hydroturbine control system, Final Draft International Standard, *International code for testing of speed governing systems for hydraulic turbines*, IEC 1997.

[IGN 98] Ignea, A. Chivu, M., ș.a., *Măsurări electrice și electronice în instalații*, Ed-Orizonturi Universitare, Timișoara, 1998.

[JUR 96] Jurca, T., Stoiciu, D., *Instrumentație de măsurare, Structuri și Circuite*, Ed. de Vest, Timișoara 1996.

[KIR 97] Kirschen, D., ș.a., *Contributions of individual Generators to loads and flows*, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.12, No.1, Feb.1997.

[LAT77] Latzel, W., *Regelung mit dem Prozeßrechner (DDC)*, BI – Wissenschaftsverlag, 1977.

[MAN00] Mansoor, Sa'ad , *Behaviour and Operation of Pumped Storage Hydro Plants*, Doctoral Thesis, School of Informatics, University of Wales, Bangor, 2000.

[NAC 88] Naccarino, J. ș.a., *Real-time monitoring and control of a hydroelectric generation complex*, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.3, No.4, Nov.1988.

[NAN 94] **Nanu, S.**, *Sensitivity Analisis of a Speed Regulator of a Hydrogenerator*, International Conference on Technical Informatics, CONTI 94, Vol.1, page 31, Timisoara 1994.

[NAN 97] **Nanu, S.**, *Double integrator element with limitation, protected against reset wind/up*, Buletinul Științific al UPT, Vol.42 (56), pag.91, Timișoara 1997.

[NAN 98] **Nanu, S.**, Dragomir T.L., Grando, D., *The improvement of a model of the Electro-hydraulic Servosystem*, A&Q 98, International Conference on Automation and Control, vol.Automation, pag.A13-A18, Cluj-Napoca, 1998.

[NAN 01-a] **Nanu, S.**, Dragomir T.L., *Digital Combinatorial CAM for Hydroturbines (implementation approach)*, CSCS13, 13<sup>th</sup> Conference on Control Systems and Computer Science, Bucharest, 2001.

[NAN 01-b] **Nanu, S.**, Dragomir T.L., *Some aspects on a digital Combinatorial CAM for Hydroturbines (implementation approach)*, Control Engineering and Applied Informatics, CEAI, Vol.3, No.2, pp.1-8, 2001.

[NEY98] Neyrpic- GEC Alstom- *DIGIPID 1000 Description*, Operation No.2123A, 1998.

[NIC 84] Nicolau, E., Beliș, M., *Măsurări electrice și electronice*, Ed. Didactică și pedagogică, București 1984.

[NOE91] Noell Company, *Governing Systems for Camligoze Hepp Turkey* (Proposal No. 48.5054), Würzburg, 1991.

[ONE 80] Onea, D., *Preocupări în domeniul sistemelor de reglaj și reguletoarelor de turație pentru turbine hidraulice*, Constructia de Masini, vol.XXXII, (1980), nr.9, pag.455.

[PAV68] Pavel, D., Zarea, Șt., *Turbine hidraulice și echipamente hidroenergetice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1968.

[POP 97] Popa, M., *Microprocesoare și microcontrolere*, Ed. Politehnica, Timișoara, 1997.

[POP 03] Popa, M., *Sisteme cu microcontrolere orientate pe aplicații*, Ed. Politehnica, Timișoara, 2003.

[PRE 96] Precup, R-E., *Contribuții privind conducerea Fuzzy a sistemelor cu fază neminimă cu aplicații la conducerea hidrogenatoarelor*, Teză de doctorat, Universitatea "Politehnica" din Timișoara, 1996.

[PRE81] Preitl, Șt., Onea, D., *Identificarea analitică și experimentală a reguletoarelor de viteză electrohidraulice destinate hidrogenatoarelor*, Buletinul științific și tehnic al Institutului Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, seria Electrotehnică, Tom 26(40), Fascicola 2, pag.83-93, 1981.

[PRE 82] Preitl, Șt., Grando, I., *Posibilități de utilizare a modelelor matematice aferente unui regulator de viteză electrohidraulic destinat echipării hidrogenatoarelor*, Conf. Nat. de Electrotehnica și Energetica, 1982, vol.12, "Funcționarea și reglarea sistemelor energetice", pag.201, Timișoara 1982.

[PRE 84-a] Preitl, Șt., Daday, H., *Complex Studies for Speed Governor Implementation in Water Power Station*, The 7-th International Conference on "Control System and Computer Science" (SAII-7), Preprints, vol.1 pag.290 Bucharest, 1984,

[PRE 84-b] Preitl, Șt., Onea, D., Grando, I., *Modelele matematice pentru regulatorul de viteza electrohidraulic destinat echipării turbinelor hidraulice și*

*posibilitati de identificare a acesteia in centrala*, Al IV-lea Simp. Nat. de "Modelare, simulare, identificare si optimizare a proceselor tehnologice", Preprints, vol.1, pag. 175, Galati, 1984

[PRE 86] Preitl, Șt., Onea , D., *Realizări și tendințe în realizarea reguletoarelor de viteză destinate hidrogenatoarelor*, Conferința de energetică, Institutul Politehnic București, Institutul Central de Cercetări Energetice, vol 6, pag.6019, București, nov.1986.

[PRE 91] Preitl, Șt., Onea, D., *Structura unui regulator de viteza PID destinat conducerii hidrogenatoarelor*, Al VI-lea Simp. National de Teoria Sistemelor,(SINTES-6), vol.I, pag. 80, Craiova, 1991.

[PRE92-a] Preitl, Șt., *Sisteme de reglare automată a tensiunii*, note de curs (an VI studii aprofundate), Universitatea "Politehnica" Timișoara, 1992.

[PRE92-b] Preitl, Șt., *Sisteme de reglare automată a vitezei*, note de curs (an VI studii aprofundate), Universitatea "Politehnica" Timișoara, 1992.

[PRE 92-c] Preitl, Șt., Precup, R.-E., *Aspects Concerning Tuning and Implementation of Some Controllers and Control Algorithms for Speed Control of Hydrogenerators in Hydroelectric Power Stations*, Int.Conf."AUTOMATION'92", Preprints vol. 3, pag. 504 Budapest(Hungary), 18-19 February,1992.

[PRE 93-a] Preitl, Șt., R.-E. Precup, A. Fogarași, *State Control Algorithms for an Electrohydraulic Servosystem*, Buletinul Științific și Tehnic al Universității Tehnice din Timișoara, Seria Automatică și Calculatoare, Tom 38 (52),Fasc.1/1993, pp. 67, Timișoara 1993.

[PRE 93-b] Preitl, Șt., R.-E. Precup, A. Fogarași, *Control Algorithms for the Electrohydraulic Servosystem of a Speed Governor*, Conferința Internațională "Hydrodynamic Machines in Power Engineering - HYDRO-TURBO'93", Preprints,vol. 2, pag. 321, Brno (Cehia) 1993.

[PRE 94] Preitl, Șt., Precup, R-E., *On the Structures of Speed Controllers for Small/Medium Power Hydrogenerators*, Al 8-lea Simpozion "Modelarea, Simularea și Identificarea Sistemelor, SIMSIS-8", vol. 1, pag. 73, Galați1994.

[PRE 01] Preitl, Șt., Precup, R-E., *Introducere în ingineria reglării automate*, ed. Politehnica, Timișoara, 2001.

[SIE 95] Siemens – *Digital Governor 6GB92 for hydro-turbines with Simatic S5-115U*, Documentație de prezentare, 1995

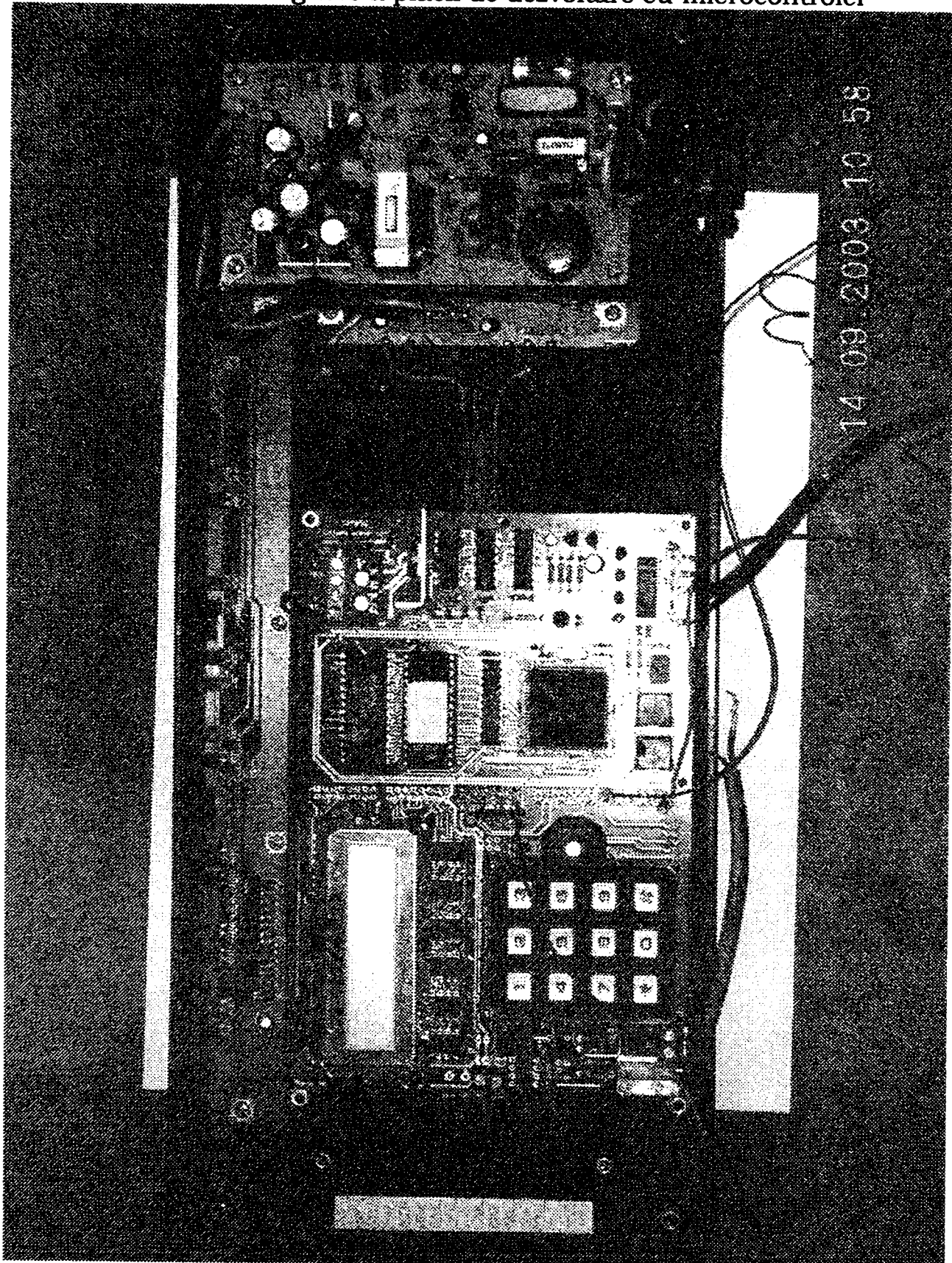
[VAS 97] Vasiliu, D., Vasiliu, N., Catană, I., *Transmisii Hidraulice și Electrohidraulice*, Vol.II, Reglarea Mașinilor Hidraulice Volumice, Ed. Tehnică, București, 1997.

[WOL 98] Wollert, J., Fiedler, J. *Automatisieren mit dem PC*, Springer, 1998.

[WOO 98] Woodward Company, *Presentation Leaflet for PID Governor*. 1998.

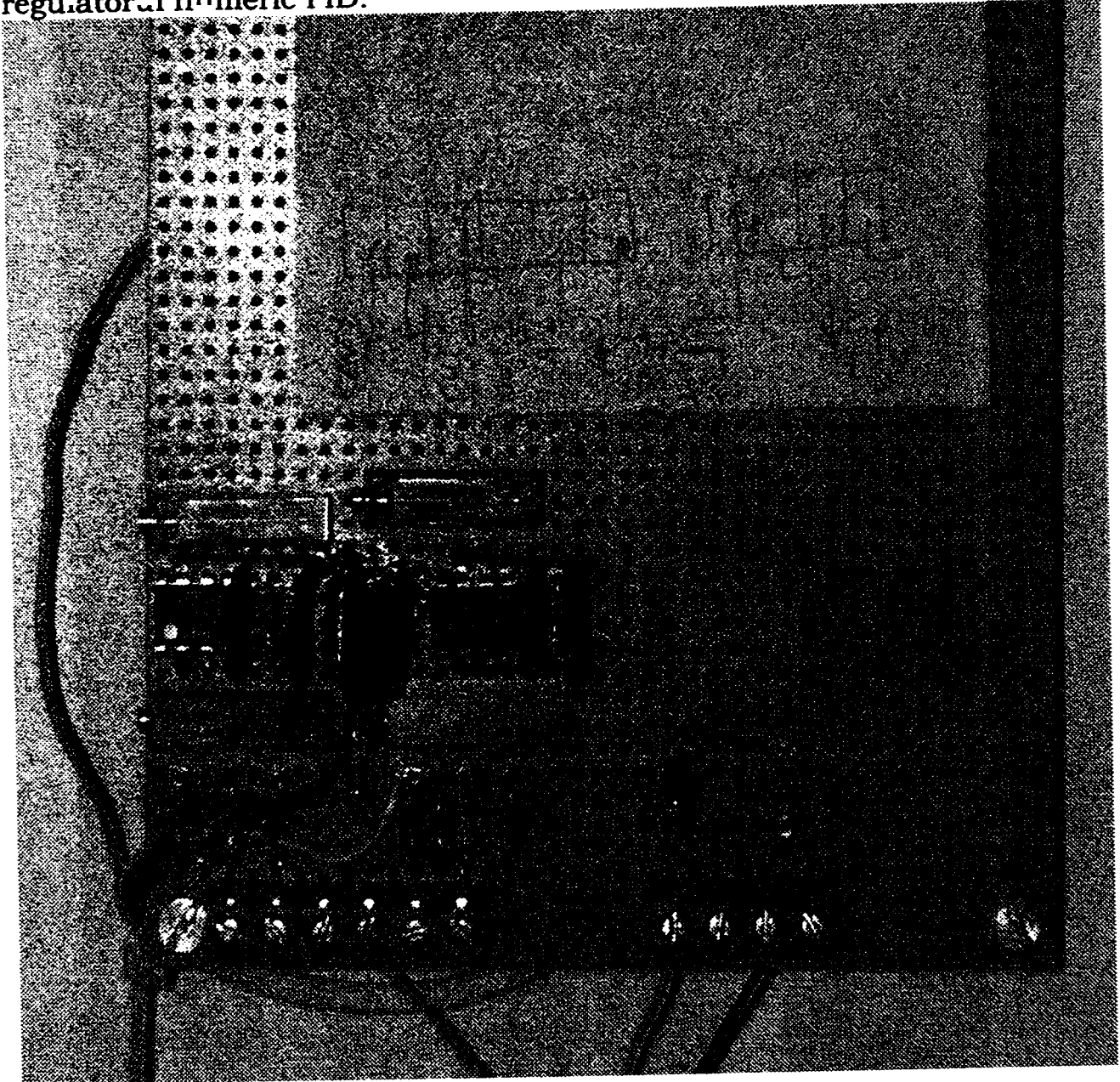


Anexa A1. Fotografie a plăcii de dezvoltare cu microcontroler

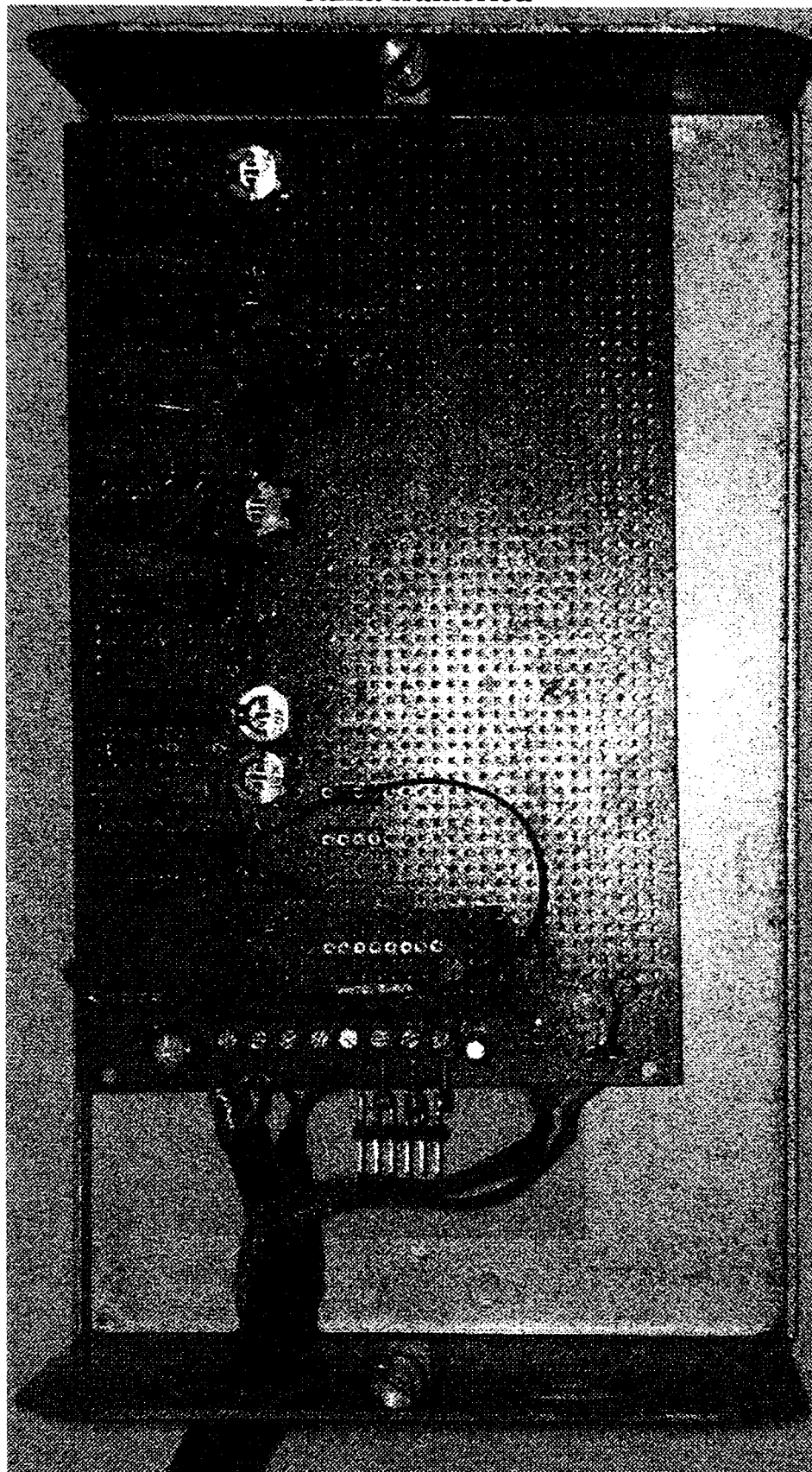




**Анеха А2.** Fotografie a blocului de conversie și adaptare pentru reguatorul numeric PID.



**Anexa A3.** Fotografie a blocului de conversie și adaptare pentru modulul  
camă numerică



#### Anexa A4.

#### Programele implicate în realizarea funcțiilor regulatorului numeric

```
//
// Program de Initializare a valorilor din EEPROM serial
// se ruleaza o singura data cand se introduc primele valori
// ale parametrilor si prescrierilor. Cand ruleaza programul
// meniul.c
// valorile actualizate ale parametrilor si prescrierilor se
// salveaza in EEPROM

// Include
#include <reg552.h>
#include "..\..\lib\ap_lib.h"
void IntegerToAscii(int x)
{
    int temp;
    unsigned char buf[5];
    buf[0]='0';
    buf[1]='0';
    buf[2]='0';
    buf[3]=' ';
    buf[4]=' ';

    temp = x / 1000;
    buf[ 0 ] = (unsigned char)( temp + 0x30 );
    x = x - temp * 1000;

    temp = x / 100;
    buf[ 1 ] = (unsigned char)( temp + 0x30 );
    x = x - temp * 100;

    temp = x / 10;
    buf[ 2 ] = (unsigned char)( temp + 0x30 );
    x = x - temp * 10;

    buf[3]=(unsigned char)(x+0x30);

    buf[4]=' ';

    lcd_Write(2,buf);
}

void main(void)
{
//datele ce se introduc in memorie trebuie sa fie char (pe un
octet)
    int data t1,t2,t3,K21,K11,Kyp,Ryp,Kp,Ti;
    int data Td,Kr,Kacc,Tdacc,Utpa,Utpm;
```

```

int data Ucg,Ucs,Ui,Ud, y;
int j=0x0000;
int i;
lcd_InitDisplay();
t1=120;
t2=80;
t3=160;
K21=1;
K11=1;
Kr=1;
Kp=1;
Kacc=1;
Kyp=1;
Ryp=1;
Ti=5; // se imparte cu 100;
Td=30; // se imparte cu 100;
Tdacc=10; // se imparte cu 100;
Utpa=255;
Utpm=255;
Ucg=23;
Ucs=24;
Ui=25;
Ud=26;
eeprom_INIT();
eeprom_WRITE(0x0000,t1);
eeprom_WRITE(0x0003,Utpm);
eeprom_WRITE(0x0006,t3);
eeprom_WRITE(0x0009,K11);
eeprom_WRITE(0x000C,K21);
eeprom_WRITE(0x000F,Kr);
eeprom_WRITE(0x0012,Kp);
eeprom_WRITE(0x0015,Kacc);
eeprom_WRITE(0x0018,Kyp);
eeprom_WRITE(0x001B,Ryp);
eeprom_WRITE(0x001E,Ti);
eeprom_WRITE(0x0021,Td);
eeprom_WRITE(0x0024,Tdacc);
eeprom_WRITE(0x0027,Utpa);
eeprom_WRITE(0x002A,Utpm);
eeprom_WRITE(0x002D,Ucg);
eeprom_WRITE(0x0030,Ucs);
eeprom_WRITE(0x0033,Ui);
eeprom_WRITE(0x0036,Ud);
lcd_Write(1, "GATA INCARCAREA");
while(1){
    }
}

```

```
//
```

```

// Programul regulator numeric PID
//
#include <reg552.h>
#include "..\..\lib\ap_lib.h"

int xdata y[19];
int xdata Kma,Kma1,Kyp,Ka,Kgs;
int xdata Up,sUy,Uyo,Uc,Udf;
unsigned FUp;
int xdata uli,yli,uld,yld,ulda,ylda; // pt I si D (la pasul
anterior)
int xdata syld, suld, syli, sul;
//float xdata h=0.01; // perioada de esantionare 10
ms
unsigned int N1=0;
unsigned int f,T;
unsigned int it=0; // contor pt timer2
unsigned int it0=0;
unsigned fn=5000; // adica fn=50Hz (prescrierea de fr)
//float xdata Cla,C2a,Cpid,C1pid,C2pid;
int xdata Uf1,U52,U53,Uf,Ua; // marimi intermediare pt calcul I
si D

// .....
// intrerupere TIMER2 (masura frecventa)
// .....

Timer2() interrupt 6
{
    unsigned int N2;
    float fi,Ti;

    TM2IR=0x00;

    if(it==10){
        N2=CTH0*256+CTL0;
        if(N2<N1){
//      Ti=(65535-N1+N2)*1.085;
//      T=Ti+.5;
            T=65535-N1+N2;
        }
        else{

//      Ti=(N2-N1)*1.085;
//      T=Ti+.5;
            T=N2-N1;
        }
        N1=N2;
        it=0;
//      fi=(Ti*50)/120;
//      f=fi+0.5;
    }
}

```

```

    it++;
}

// .....
// Transformare din Intreg in cod ASCII pt. afisare
// .....

void IntegerToAscii(unsigned int x,unsigned char line,unsigned
char y)
{
    int temp;
    unsigned char buf[5];
    buf[0]='0';
    buf[1]='0';
    buf[2]='0';
    buf[3]='0';
    buf[4]='0';

    temp = x / 10000;
    buf[ 0 ] = (unsigned char)( temp + 0x30 );
    x = x - temp * 10000;

    temp = x / 1000;
    buf[ 1 ] = (unsigned char)( temp + 0x30 );
    x = x - temp * 1000;

    temp = x / 100;
    buf[ 2 ] = (unsigned char)( temp + 0x30 );
    x = x - temp * 100;

    temp = x / 10;
    buf[ 3 ] = (unsigned char)( temp + 0x30 );
    x = x - temp * 10;

    buf[4]=(unsigned char)(x+0x30);

//  buf[3]=' ','';

    lcd_WriteString(line,y,buf);
}

// .....
// Initializare vector din EEPROM
// Initializare constante pt I si D
// .....

void initializare(void)
{
    unsigned i,j;

```

```

j=0;
for(i=0;i<19;i++){
    y[i]=eeprom_READ(j);
Delay(10);
    j=j+3;
}
/*
C1a=(h/y[12])*100;        // Tdacc=0,1 si impart la 100
C2a=100/y[12];
Cpid=(h/y[10])*10;       // Ti=1 si impart la 10
C1pid=(h/y[11])*100;    // Td=0,1 si impart cu 100
C2pid=100/y[11];
*/
}

//.....
//REGIMURI DE FUNCTIONARE
//.....

void schimbare_regim()
{
    int j=1;
    unsigned Key;

    while(j){
        if(Key = keyb_ScanKeyboard( 0x0C98 )){
            switch(Key){
                case KEY_1:{lcd_ClearScreen();
                    Kma=Kma^1;
                    if(Kma==0){
                        lcd_Write(2,"Manual");
                    }
                    else{
                        lcd_Write(2,"Automat");
                    }
                    break;}
                case KEY_2:{lcd_ClearScreen();
                    Kyp=Kyp^1;
                    if(Kyp==0){
                        lcd_Write(2,"Putere");
                    }
                    else{
                        lcd_Write(2,"Deschidere");
                    }
                    break;}
                case KEY_3:{lcd_ClearScreen();
                    Ka=Ka^1;
                    if(Ka==0){
                        lcd_Write(2,"Fara acc_tah");
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        else{
            lcd_Write(2,"Cu acc_tah");
        }
        break;}
case KEY_4:{lcd_ClearScreen();
Kgs=Kgs^1;
if(Kgs==0){
    lcd_Write(2,"In Gol");
}
else{
    lcd_Write(2,"In Sarcina");
}
break;}
case KEY_0:{lcd_ClearScreen();
    lcd_Write(1,"    REGULATOR");
    j=0;
    break;}
    }
}
}

// .....
//  SETARI   (MODIFICARI PARAMETRII DIN VECTORUL EEPROM)
//  .....

```

```

void afisare_par(int i)
{
    switch(i){
        case 0:{lcd_Write(1,"Traductor1");
        break;}
        case 1:{lcd_Write(1,"Traductor2");
        break;}
        case 2:{lcd_Write(1,"Traductor3");
        break;}
        case 3:{lcd_Write(1,"K11");
        break;}
        case 4:{lcd_Write(1,"K21");
        break;}
        case 5:{lcd_Write(1,"Kr");
        break;}
        case 6:{lcd_Write(1,"Kp");
        break;}
        case 7:{lcd_Write(1,"Kacc");
        break;}
        case 8:{lcd_Write(1,"Eyp");
        break;}
        case 9:{lcd_Write(1,"Ryp");
        break;}
    }
}

```



```

    case 10:{lcd_Write(1,"Ti");
              break;}
    case 11:{lcd_Write(1,"Td");
              break;}
    case 12:{lcd_Write(1,"Tdacc");
              break;}
    case 13:{lcd_Write(1,"Utpa");
              break;}
    case 14:{lcd_Write(1,"Utpm");
              break;}
    case 15:{lcd_Write(1,"Ucg");
              break;}
    case 16:{lcd_Write(1,"Ucs");
              break;}
    case 17:{lcd_Write(1,"Ui-lim int");
              break;}
    case 18:{lcd_Write(1,"Ud-lim der");
              break;}
}
}

void modifica_par(i)
{
    unsigned Key;
    int j=1;
    // lcd_Write(1,"*-inc #-dec");
    IntegerToAscii(y[i],2,1);
    while(j){
        if(Key = keyb_ScanKeyboard( 0x0111 )){
            switch(Key){
                case KEY_A:{y[i]--;
                            IntegerToAscii(y[i],2,1);
                            break;}
                case KEY_D:{y[i]++;
                            IntegerToAscii(y[i],2,1);
                            break;}
                case KEY_0:{lcd_ClearScreen(); // enter
                            lcd_Write(1,"Alege parametri");
                            lcd_Write(2,"*-prev #-next");
                            j=0;
                            break;}
            }
        }
    }

    // verific daca s-au modificat par ce influenteaza
    // constantele din I si D

    if(y[12]!=10){
        // C1a=(h/y[12])*100;
        // C2a=100/y[12];
    }
}

```

```

    if(y[10]!=10){
//      Cpid=(h/y[10])*10;
    }
    if(y[11]!=10){
//      C1pid=(h/y[11])*100;
//      C2pid=100/y[11];
    }
}

void setari()
{
    unsigned Key;
    int j=1;
    int i=0;
    lcd_Write(1,"Alege parametri");
    lcd_Write(2,"*-prev #-next");
    while(j){
        if(Key = keyb_ScanKeyboard( 0x0111 )){
            switch(Key){
                case KEY_A:{lcd_ClearScreen(); /* <-
                    if(i==18)i=0;
                    afisare_par(i);
                    modifica_par(i);
                    i--;
                    break;}
                case KEY_D:{lcd_ClearScreen(); /*# ->
                    if(i==0)i=18;
                    afisare_par(i);
                    modifica_par(i);
                    i++;
                    break;}
                case KEY_0:{lcd_ClearScreen(); // enter
                    lcd_Write(1,"  REGULATOR");
                    j=0;
                    break;}
            }
        }
    }
}

// .....
// F3 calcul Udf (mV)
// .....

int calcul_Udf()
{
    int xdata Udf;

```

```

// f=((T*1.085*50)/120)+.5;    // 1.085 clock de 11,...MHz
f=T*0.4521+.5;

// f=5000;

Uf=(3.2736*(f-fn))+.5;    // 5Hz->8V etc.... in cuante 5/1023

if(Ka==0){                // fara acc_tah
    Udf=Uf*y[7];
}

else{                    // cu canal acc_tah

//    Uf1=integrator(Uf,Ca);

    Uf1=(Uf-ulda)+.5;    // ulda, ylda valori la pasul anterior
(mV)
    ulda=Uf;
    ylda=Uf1;
    if(Uf1>1023){
        Uf1=1023;
    }
    if(Uf1<-1023){
        Uf1=-1023;
    }

    Udf=Uf1+Uf*y[7];
}

return (Udf);
}

// .....
// AFISAREA MARIMILOR CARE TREBUIE URMARITE
// .....

void afisare_marimi()
{
    lcd_ClearScreen();

    lcd_Write(1,"f=");
    IntegerToAscii(f,1,3);
    lcd_WriteString(1,8,"Hz");
}

// .....
// intrerupere TIMER0
// .....

```

```

Timer0() interrupt 1
{
    int xdata sUyp,Uyp;
    unsigned sUy1, Up1;
    int xdata sUy2;
// timer_Update();
    TL0=0X00;
    TH0=0XCA;
    PCON=PCON|0X10;
    T3=0X01;

    keyb_Update();

    Udf=calcul_Udf();
// Uyp=calcul_Uyp();
// IntegerToAscii(Kyp,2,5);

    if(Kyp==0){ // statism dupa putere
        adc_ReadInput(0x01,&Up1);

// Up=((5*Up1*1000)/1023)+0.5;

        Up=Up1;
        if(Up<2){
            FUp=1; //fanion care indica Up=0 mV
nefolosit inca
        }
// Uyp=y[8]*y[9]*(Up-y[13]*y[4]);
        Uyp=(Up-y[13]*y[4]);

    }
    else{ // statism dupa deschidere
        adc_ReadInput(0x00,&sUy1);
        sUy=sUy1-y[13];

// Uyp=y[8]*y[9]*((Uy*y[3])-(y[13]*y[4]));
// Uyp=Uy;
    }
// keyb_WaitKey(KEY_D);
// adc_ReadInput(0x00, &Uy2);
// Uy2=Uyp;
//Ua=Udf-Uyp;
// Ua=Uyp;

// U52=integrator(Ua,Cpid);

// U52=(Cpid*uli+yli)+.5; // uli, yli valori la pasul anterior
(mV)
    U52=(0.08*suli+syli)+.5; // uli, yli valori la pasul anterior
(mV)
    if(U52<-1023) U52=-1023;

```

```

if(U52>1023) U52=1023;

//Uy2=Uyp;

// U53=derivativ(Ua,C1pid,C2pid);

// U53=(C2pid*(Ua-uld)-(C1pid-1)*y1d)+.5; // uld, y1d valori la
pasul anterior (mV)
U53=(20*(sUy-suld))+.5; // uld, y1d valori la pasul anterior
(mV)

if(U53>1023){
    U53=1023;
}
if(U53<-1023){
    U53=-1023;
}

// Uc=y[5]*(Ua*y[6]+U52+U53);
Uc=U52; //doar integrator

// .....
// LIMITARE Uc
// .....

if(Kgs==0){ // regim de mers in gol
    if(Uc<-y[15]){
        Uc=-y[15];
        yli=Uc-U53-Ua*y[6];
    }
    else if (Uc>y[15]){
        Uc=y[15];
        yli=Uc-U53-Ua*y[6];
    }
    else yli=U52;
}

else{ // regim de mers in sarcina
    if(Uc<-y[16]){
        Uc=-y[16];
        yli=Uc-U53-Ua*y[6];
    }
    else if (Uc>y[16]){
        Uc=y[16];
        yli=Uc-U53-Ua*y[6];
    }
    else yli=U52;
}

// MANUAL - AUTOMAT

if((Kma==0)&&(Kma==Kma1)){ //M-M

```

```

        Uyo=y[14];
    }

    if((Kma==0)&&(Kma!=Kma1)){ //M-A
        yli=y[14]-(U53+Ua*y[6]);
        Uyo=y[14];
        Kma1=0;
    }
    if((Kma==1)&&(Kma==Kma1)){ //A-A
        Uyo=Uc;
    }

    if((Kma==1)&&(Kma!=Kma1)){ //A-M
        y[14]=Uc;
        Uyo=y[14];
        Kma1=1;
    }

// dac();
    sUy2=(U52+U53+0.2*sUy)*2)+2048; // pt +-5V (daca e de 2048)
// Uy2=(Uyo*2)+2048;
// Uy2=(Uc*2)+2048;

// if (Up2<0) Up2=0;
// if (Up2>4095) Up2=4095;
    if (sUy2<0) sUy2=0;
    if (sUy2>4095) sUy2=4095;

// dac_WriteChannel_B(Uy2);
    dac_WriteChannel_B(sUy2);
    suli=sUy;
    syli=U52;
    suld=sUy;
    syld=U53;
// end dac

}

// .....
// Meniu/Interfata utilizator
// .....

void main(void)
{
    unsigned Key;
    unsigned Ui_dac,Ud_dac;
    unsigned p=1;

    lcd_InitDisplay();
    keyb_InitKeyboard( 0,0 );

```

```

timer_InitTimer0();
eeprom_INIT();

IEN1=0x01;
TM2CON=0x01;
CTCON=0x01;
ADCON = 0x00;
IP0=0x00;
IP1=0x01;

Kma=0;
Kma1=0;
Kyp=1; //reactie dupa deschidere y
Ka=0;
Kgs=0;
FUp=0;
suli=0;
syli=0;
suld=0;
syld=0;
ulda=0;
ylda=0;

initializare();

while( 1 ){
p=y[13];
IntegerToAscii(p,2,3);

// adc();

if( Key = keyb_ScanKeyboard( 0x0FFF ) ){

switch( Key ){
case KEY_1 : {lcd_ClearScreen();
lcd_Write(1,"1-K_MA 2-K_YP");
lcd_Write(2,"3-K_gs 4-K_A");
schimbare_regim();
break;}
case KEY_2 : {lcd_ClearScreen();
setari();
break;}
case KEY_3 : {lcd_ClearScreen();
afisare_marimi();
break;}
}
}
}
}

```

## Anexa A5.

### Programul de calcul a tabelului camă combinatorică discretă

```
% Program de calcul a tripletelor (n11, Q11, f)
%datele de intrare
format long
clf
u=1:129;
Unit=u./u;
Sad_i=[4 175 295 402 498 546 576 597 596 630 670 690];
a0_i=[0 99 168 292 380 420 445 456 465 495 510 545];
uy=0:8:1024;
Sad=690+(686/1024)*(uy-1024);
a0=spline(Sad_i,a0_i,Sad);
a0=0.063571429*a0;
a0_ci=[14 18 22 26 30 34 38];

%valorile inițiale ale parametrilor funcțiilor de aproximare (pentru curbele
%din diagramă
Aa_i=[0.0112 0.537*10^(-2) 0.593*10^(-2) 0.01 1.171*10^(-2) 1.78*10^(-2)
3.47*10^(-2)];
Ba_i=[-6.4 -4.966 -5.493 -7.975 -8.4968 -11.21 -17.8];
Ca_i=[102.5 278.13 572.46 132.25 511.36 203.8 391.2];

% obținerea parametrilor unor alte funcții de aproximare
Aa=spline(a0_ci,Aa_i,a0);
Ba=spline(a0_ci,Ba_i,a0);
Ca=spline(a0_ci,Ca_i,a0);
un11=384:5:1024;

%determinarea valorilor Q11
n11=(93.75*5.4)./((15*un11/1024).^0.5);
for i=1:129
    Q11_a(i,:)=Aa.*(n11(i)*n11(i))+Ba*n11(i)+Ca;
end
f_i=[-10 -5 0 5 10 15 20];
Af_i=[255.03 754.7 1626.5 12313 2440.35 2253.4 3878.54];
Bf_i=[5.22*10^(-3) 3.07*10^(-3) 2.42*10^(-3) 0.13*10^(-3) 2.62*10^(-3) 1.26*10^(-
3) 2.62*10^(-3)];
Cf_i=[-58.53 -513.75 -1336.45 -12066 -2086 -1823.6 -3534.53];

% obținerea valorilor lui f (unghiul paletelor)
for i=1:129;
    Q11(i,:)=Af_i.*exp(n11(i).*Bf_i)+Cf_i;
    f(i,:)=spline(Q11(i,:),f_i,Q11_a(i,:));
    fc=f;
end
```



## Anexa A6.

### Programul care implementează funcțiile blocului de cuplare

```
#include <reg552.h>
#include "..\..\Lib\ap_lib.h"

// mesaje
# define MES_QS      "Grup in station."
# define MES_QU      "ERR Gr stat, a0 "
# define MES_QR      "ERR Pornit=, a0 "
# define MES_QR1     "ERR Pornit>, a0 "
# define MES_QAMB    "Avarie n Amb  "
# define MES_QL      "Fi -10 la 7.4  "
# define MES_Q74     "Oprit,Fi 7.4 I-a"
# define MES_QD      "Fi coboara  "
# define MES_Q741    "Oprit. Fi=7.4  "
# define MES_QL1     "Fi urca  "
# define MES_QLS     "a0<a0min, Fi min"
# define MES_QLD     "a0>a0max, Fi max"
# define MES_QLD1    "a0<a0maj, Fi maj"
# define MES_BLANC   "      "

// Fi este pe 12 biti, Fi_Hi si Fi_Lo sunt pe 8 biti
unsigned char xdata Fi_Hi;
unsigned char xdata Fi_Lo;
unsigned int Fi;
unsigned Key;
unsigned int Adr_Fi1 ;

unsigned char xdata Fi1_Hi ;
unsigned char xdata Fi1_Lo ;
unsigned char xdata Fi2_Hi ;
unsigned char xdata Fi2_Lo ;
unsigned char xdata Fi3_Hi ;
unsigned char xdata Fi3_Lo ;
unsigned char xdata Fi4_Hi ;
unsigned char xdata Fi4_Lo ;
int xdata Fi1 ;
int xdata Fi2 ;
int xdata Fi3 ;
int xdata Fi4 ;

// Uy este pe 10 biti, Uy_Hi si Uy_Lo sunt pe 8 biti
unsigned char Uy_Hi;
unsigned char Uy_Lo;
unsigned int Uy;
unsigned char Buffer[7];

// Ih este pe 10 biti, Ih_Hi si Ih_Lo sunt pe 8 biti
unsigned char Ih_Hi;
unsigned char Ih_Lo;
unsigned int Ih;
unsigned int TempIh;
unsigned char K1=0 ;
```

```

unsigned char K2=0 ;

//variabila K3 = 0 - varianta aditiva de optimizare
//variabila K3 = 1 - varianta multiplicativa de optimizare

unsigned char K3=0 ;

unsigned char xdata DebugPar =0 ;
unsigned char xdata DebugViz =0 ;
unsigned char xdata OptimPar =0 ;

// fanioane pentru SPEED_UP si SPEED_DW
unsigned char Up_Fl;
unsigned char Dw_Fl;

unsigned char NumIn =0 ;

// Rutina de intreruperi pentru tastatura la 10 ms

Timer0() interrupt 1
{
    timer_Update();
    keyb_Update();
//La 10 ms se modifica cu 0.116 grade, adica (2048/25)*0.116=10
    if (Up_Fl == 1) Fi=Fi+10;
    if (Dw_Fl == 1) Fi=Fi-10;
}

void ToINT(unsigned int Numar, unsigned char Line, unsigned char Col)
{
    unsigned int Partial = 0;
    unsigned char Cifra = 0;

    // Buffer-ul unde se obtine sirul ASCII
    unsigned char Buffe[ 5 ] = "0000";

    // Calculeaza Numar unsigned
    Partial = (unsigned int)( Numar );

    // Completeaza Buffer-ul
    Buffe[ 0 ] = '0';
    Buffe[ 1 ] = '0';
    Buffe[ 2 ] = '0';
    Buffe[ 3 ] = '0';

    // Cifra miilor -
    if( Partial > 1000 )
        {
            Cifra = Partial / 1000;
            Buffe[ 0 ] = (unsigned char)( Cifra + 0x30 );
            Partial = Partial - Cifra * 1000;
        }

    // Cifra sutelor
    Cifra = Partial / 100;

```

```

Bufte[ 1 ] = (unsigned char)( Cifra + 0x30 );
Partial = Partial - Cifra * 100;

// Cifra zecilor
Cifra = Partial / 10;
Bufte[ 2 ] = (unsigned char)( Cifra + 0x30 );
Partial = Partial - Cifra * 10;

// Cifra unitatilor
Cifra = Partial / 1;
Bufte[ 3 ] = (unsigned char)( Cifra + 0x30 );

lcd_WriteString( Line, Col, Bufte );
}

void ToASCII(unsigned Number, unsigned char Line, unsigned char Col)
{
float f_Voltage = 0.0;
unsigned u_Voltage = 0;
unsigned u_Digit = 0;

// Buffer-ul unde se obtine sirul ASCII
unsigned char Buffer[ 8 ] = "0.000 ";

// Calculeaza tensiunea - numar real
f_Voltage = ( 5000.0 * Number ) / 1024.0;

// Calculeaza tensiunea - numar unsigned
u_Voltage = (unsigned)( f_Voltage );

// Limita superioara
if( u_Voltage > 5000 )
    u_Voltage = 5000;

// Completeaza Buffer-ul
Buffer[ 0 ] = '0';
Buffer[ 1 ] = '.';
Buffer[ 2 ] = '0';
Buffer[ 3 ] = '0';
Buffer[ 4 ] = '0';

// Cifra intregilor - inaintea virgulei
if( u_Voltage > 1000 ){
    u_Digit = u_Voltage / 1000;
    Buffer[ 0 ] = (unsigned char)( u_Digit + 0x30 );
    u_Voltage = u_Voltage - u_Digit * 1000;
}

// Prima cifra dupa virgula
u_Digit = u_Voltage / 100;
Buffer[ 2 ] = (unsigned char)( u_Digit + 0x30 );
u_Voltage = u_Voltage - u_Digit * 100;

// A doua cifra dupa virgula
u_Digit = u_Voltage / 10;
Buffer[ 3 ] = (unsigned char)( u_Digit + 0x30 );

```

```

u_Voltage = u_Voltage - u_Digit * 10;

// A treia cifra dupa virgula
u_Digit = u_Voltage / 1;
Buffer[ 4 ] = (unsigned char)( u_Digit + 0x30 );

lcd_WriteString( Line, Col, Buffer );
}

void BRANCH_1(void)
{
//Fi este -10 grade, adica 0
Fi=0;
// Uy se compara cu 4 adica cu 20mV, corespunzator unei erori ipotetice de 2 %
if (Uy<=4) lcd_WriteString (1, 1, MES_QS);
else lcd_WriteString (1, 1, MES_QU);
}

void BRANCH_2(void)
{
// Uy se compara cu 4 adica cu 20mV, corespunzator unei erori ipotetice de 2 %

if (Uy>4) lcd_WriteString (1, 1, MES_QR);

else {
    if (K2==1) lcd_WriteString (1, 1, MES_Q74);
    else Up_Fl=1;

//Fi se compara cu 7.4, adica (2048/25)*(7.4+10)=1425
    if ( Fi>=1425 )
        {
            K2=1;
            Up_Fl=0;
        }
    else lcd_WriteString (1, 1, MES_QL);
}
}

void BRANCH_3(void)
{
//Uy se compara cu 0, de fapt se vede daca e mai mic decat 4 (20mV)
if (Uy<=4) lcd_WriteString (1, 1, MES_QR1);

else {
    Dw_Fl=1;
//Fi se compara cu -10 grade adica 0, dar in realitate e 0.12 grade
    if (Fi<=10)
        {
            K1=1;
            K2=0;
            Dw_Fl=0;
            lcd_WriteString (1, 1, "Fi e la -10 grade");
        }
    else
        {

```

```

        lcd_WriteString(1, 1, MES_QD);
    }
}

void OPTIM(unsigned char xdata *p)
{
    unsigned int Fi_Old;
    char Dif;
    float Rap;
    //asteapta orice tasta (utile sunt 7,8,9)
    Key = keyb_ScanKeyboard(0x0FFF);
    lcd_Write(1, "OPTIM. Ies cu <8>");

    Fi_Old = Fi;

    while (Key != KEY_8)

    {
        switch( Key )
        {
            case KEY_7 :
                {
// Fi scade cu 0.12 grade
                    Fi=Fi-10;
                    dac_WriteChannel_B(Fi+2048);
                    lcd_Write(2, "Fi=");
                    ToASCII(Fi/2, 2, 4);
                    break;
                }

            case KEY_9 :
                {
// Fi creste cu 0.12 grade
                    Fi=Fi+10;
                    dac_WriteChannel_B(Fi+2048);
                    lcd_Write(2, "Fi=");
                    ToASCII(Fi/2, 2, 4);
                    break;
                }
        }
        Key = keyb_ScanKeyboard(0x0FFF);
    }

    lcd_Write(1, "NORMAL");
    DebugPar=0;
    DebugViz=0;
    OptimPar=0;
}

lcd_Write(1, " Iesit");

if (K3==1)
{
    Rap=Fi/Fi_Old;
    Fi1=Fi1*Rap;
    Fi2=Fi2*Rap;
}

```

```

    Fi3=Fi3*Rap;
    Fi4=Fi4*Rap;
    }
else
    {
    Dif=Fi-Fi_Old;
    Fi1=Fi1+Dif;
    Fi2=Fi2+Dif;
    Fi3=Fi3+Dif;
    Fi4=Fi4+Dif;
    }

    Fi1_Hi=Fi1/256;
    Fi1_Lo=Fi1-Fi1_Hi*256;
    Fi2_Hi=Fi2/256;
    Fi2_Lo=Fi2-Fi2_Hi*256;
    Fi3_Hi=Fi3/256;
    Fi3_Lo=Fi3-Fi3_Hi*256;
    Fi4_Hi=Fi4/256;
    Fi4_Lo=Fi4-Fi4_Hi*256;

//scriere in tabel a noilor valori
    mem_Select(0);
    *(p+Adr_Fi1)=Fi1_Hi;
    *(p+Adr_Fi1+1)=Fi1_Lo;

// Se scriu si Fi2,Fi3,Fi4
    *(p+Adr_Fi1+2)=Fi2_Hi;
    *(p+Adr_Fi1+3)=Fi2_Lo;

    *(p+Adr_Fi1+256)=Fi3_Hi;
    *(p+Adr_Fi1+257)=Fi3_Lo;

    *(p+Adr_Fi1+258)=Fi4_Hi;
    *(p+Adr_Fi1+259)=Fi4_Lo;
    port_Select();

void BRANCH_5(void)
{
unsigned char xdata *p;
unsigned char data1 ;
unsigned char data2 ;
unsigned char data3 ;
int xdata Fi12;
int xdata Fi34;
unsigned int  Adr_Fi1 ;

//pointer la memoria extinsa

p=(unsigned char xdata *) (0x8000);

    Uy_Hi=Uy/8;
    Uy_Lo=Uy-Uy_Hi*8;

    Ih_Hi=Ih/8;

```

```

Ih_Lo=Ih-Ih_Hi*8;

data1=Uy/256;
data2=(Uy-data1*256)/16;
data3=Uy-data1*256-data2*16;

    Buffer[0]=Uy+0x30;
    Buffer[1]=Uy_Hi+0x30;
    Buffer[2]=Uy_Lo+0x30;
    Buffer[3]=Ih+0x30;
    Buffer[4]=Ih_Hi+0x30;
    Buffer[5]=Ih_Lo+0x30;

// Adresa pilon
Adr_Fi1=Uy_Hi*256+Ih_Hi*2;

// Se citeste din tabel Fi1
    mem_Select(2);

    Fi1_Hi=(p+Adr_Fi1);
    Fi1_Lo=(p+Adr_Fi1+1);

// Se citesc si celelalte Fi
    Fi2_Hi=(p+Adr_Fi1+2);
    Fi2_Lo=(p+Adr_Fi1+3);

    Fi3_Hi=(p+Adr_Fi1+256);
    Fi3_Lo=(p+Adr_Fi1+257);

    Fi4_Hi=(p+Adr_Fi1+258);
    Fi4_Lo=(p+Adr_Fi1+259);

    port_Select();

// Se calculeaza Fi1,...Fi4
    Fi1=256*Fi1_Hi+Fi1_Lo;
    Fi2=256*Fi2_Hi+Fi2_Lo;
    Fi3=256*Fi3_Hi+Fi3_Lo;
    Fi4=256*Fi4_Hi+Fi4_Lo;

// Se calculeaza Fi prin interpolare biliniara
    Fi12=Fi1+(Fi2-Fi1)/8*Ih_Lo;
    Fi34=Fi3+(Fi4-Fi3)/8*Ih_Lo;
    Fi=Fi12+(Fi34-Fi12)/8*Uy_Lo;
    dac_WriteChannel_B(Fi+2048);

if (OptimPar == 1)
    {
        OPTIM(*p);
    }
}

void BRANCH_4(void)
{
    if (Uy>4) BRANCH_5();
    else {

```

```

    if (K2==0)
        { Up_Fl=1;
          lcd_WriteString (1, 1, MES_QL1);
//Fi se compara cu 7.4, de fapt e 1425
          if ( Fi>=1425 )
              {
                  K2=1;
                  Up_Fl=0;
              }
          else
              {
                  lcd_WriteString (1, 1, MES_Q741);
//      K1=0;
              }
          }
}
//Procedura de generare a tensiunii pentru Fi si de afisare
// De asemenea se intra in modurile:
// Debug, Debug_pas-cu-pas, Optimizare Fi, in functie de valorile
// parametrilor DebugPar, DebugViz, OptimPar

void OUT_PROC(void)
{
// Se afiseaza Fi

    lcd_Write( 2, "Fi=" );
    ToASCII( Fi/2, 2, 4 );
    ToINT(Fi,2,12);
if (DebugViz == 1)
    {

//      lcd_Write( 1, "U=   I=   ");
        ToASCII(Uy,1,3);
        ToASCII(Ih,1,11);
    }
}

void BRANCH_6(void)
{
//Fi se compara cu -10, de fapt cu 0(12 care inseamna -9.834 grade)
    if (Fi<=12)
        {
            K2=0;
            Dw_Fl=0;
        }
    else
        {
            lcd_WriteString (1, 1, MES_QAMB);
            Dw_Fl=1;
        }
}

```



```

void main(void)
{
    unsigned Key;

    lcd_InitDisplay();
    keyb_InitKeyboard( 0,0 );
    timer_InitTimer0();

    K1=0;
    lcd_Write( 1, "NORMAL      " );
    lcd_Write( 1, "NORMAL      " );

    while( 1 ){
        // Toate tastele validate
        if( Key = keyb_ScanKeyboard( 0x0FFF ) )
            {
                switch( Key )
                {
                    case KEY_0 :
                        {
                            lcd_Write( 1, "NORMAL      " );
                            DebugPar=0;
                            DebugViz=0;
                            OptimPar=0;
                            /*
                            BUFFER[0]=DebugPar+0x30;
                            BUFFER[1]=DebugViz+0x30;
                            BUFFER[2]=OptimPar+0x30;
                            lcd_Write( 2, "Punct 2" );
                            lcd_WriteString( 2, 10, BUFFER);*/
                            break;
                        }

                    case KEY_1 :
                        {
                            lcd_Write( 1, "STEP_BY_STEP  " );
                            OptimPar=0;
                            DebugPar=1;
                            DebugViz=1;
                            break;
                        }

                    case KEY_2 :
                        {
                            lcd_Write( 1, "VIZUALIZARE  " );
                            lcd_Write( 1, "U= I=      " );
                            OptimPar=0;
                            DebugPar=0;
                            DebugViz=1;
                            break;
                        }

                    case KEY_3 :
                        {
                            lcd_Write( 1, "OPTIM.      " );
                            DebugPar=0;
                            DebugViz=0;
                            OptimPar=1;
                        }
                }
            }
    }
}

```

```

                break;
            }
        }
    }

// se verifica daca '#' este apasata, pentru STEP BY STEP
// cu 0 se iese
if (DebugPar == 1)
{
    DebugPar=0;
    DebugViz=0;
    OptimPar=0;
    lcd_Write( 1, "U=   I=   ");
    ToASCII(Uy,1,3);
    ToASCII(Ih,1,11);
    keyb_WaitKey(KEY_D);
    lcd_Write( 1, "NORMAL   ");
}
adc_ReadInput( 0x02, & TempIh );
if((TempIh-Uy)==1 | (Uy-TempIh)==1) TempIh=Uy;
Uy=TempIh;
adc_ReadInput( 0x04, & TempIh );
if((TempIh-Ih)==1 | (Ih-TempIh)==1) TempIh=Ih;
Ih=TempIh;
port_Select();
    NumIn=inp_ReadPort();
// se compara u1 cu 0
    if(( NumIn & 1)==0)
        BRANCH_1();
//se compara u3 cu 0
    else if (! NumIn & 4)
    {
//u3 = 0
        if (K1 == 0)
        {
            Buffer[0]=( NumIn & 1)+0x30;
            Buffer[1]=( NumIn & 2)+0x30;
            Buffer[2]=( NumIn & 4)+0x30;
            lcd_WriteString( 2, 14, Buffer);
            if (NumIn & 2)
                BRANCH_3();
            else
                BRANCH_2();
        }
        else
            BRANCH_4();
    }
//u3 != 0, se compara u4 cu 0
    else if (NumIn & 8)
        BRANCH_6();
    else
    {
        BRANCH_5();
    }
    OUT_PROC();
}

```

```

//sfarsit while
}
//sfarsit main
}

//Program de încărcare în memoria EEPROM a modulului camă a 4095 valori ale tabelului camă discretă
// Datele sunt generate sub formă de fișier txt în Matlab. Întreg tabelul conține 128x128=16384 valori, fiind
necesare patru programe de încărcare

#include <reg552.h>
#include "..\..\lib\ap_lib.h"

//PROGRAM DE INCARCARE A PRIMELOR 4095 DATE

unsigned xdata T_Fi[]={
533, 584, 634, 716, 765, 814, 864, 880, 932, 985,
1002, 1055, 1071, 1125, 1026, 860, 717, 594, 498, 411,
352, 294, 258, 221, 181, 139, 122, 78, 60, 42,
24, 6, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 1, 9, 16, 24, 31, 39, 46,
53, 60, 67, 74, 81, 63, 70, 77, 84, 90,
73, 79, 85, 92, 74, 81, 64, 70, 53, 59,
43, 49, 33, 39, 23, 29, 14, 19, 5, 10,
0, 1, 0, 0, 0, 3, 8, 13, 18, 23,
28, 33, 38, 43, 68, 73, 98, 103, 129, 156,
182, 210, 238, 266, 295, 324, 354, 411, 442, 474,
535, 599, 634, 702, 773, 846, 923, 1003, 1009, 977,
909, 879, 814, 752, 693, 667, 611, 558, 533, 584,
634, 716, 765, 814, 864, 880, 932, 985, 1002, 1055,
1071, 1125, 1026, 860, 717, 594, 498, 411, 352, 294,
258, 221, 181, 139, 122, 78, 60, 42, 24, 6,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 1, 9, 16, 24, 31, 39, 46, 53, 60,
67, 74, 81, 63, 70, 77, 84, 90, 73, 79,
85, 92, 74, 81, 64, 70, 53, 59, 43, 49,
33, 39, 23, 29, 14, 19, 5, 10, 0, 1,
0, 0, 0, 3, 8, 13, 18, 23, 28, 33,
38, 43, 68, 73, 98, 103, 129, 156, 182, 210,
238, 266, 295, 324, 354, 411, 442, 474, 535, 599,

.

//au fost eliminate rânduri de date pentru a nu încărca fișierul doc.

39, 46, 53, 60, 67, 74, 81, 63, 70, 77,
84, 90, 73, 79, 85, 92, 74, 81, 64, 70,
53, 59, 43, 49, 33, 39, 23, 29, 14, 19,
5, 10, 0, 1, 0, 0, 0, 3, 8, 13,
18, 23, 28, 33, 38, 43, 68, 73, 98, 103,
129, 156, 182, 210, 238, 266, 295, 324, 354, 411,

```

442, 474, 535, 599, 634, 702, 773, 846, 923, 1003,  
1009, 977, 909, 879, 814, 752, 693, 667, 611, 558,  
533, 584, 634, 716, 765, 814, 864, 880, 932, 985,  
1002, 1055, 1071, 1125, 1026, 860, 717, 594, 498, 411,  
352, 294, 258, 221, 181, 139, 122, 78, 60, 42,  
24, 6, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,  
0, 0, 0, 1, 9, 16, 24, 31, 39, 46,  
53, 60, 67, 74, 81, 63, 70, 77, 84, 90,  
73, 79, 85, 92, 74, 81, 64, 70, 53, 59,  
43, 49, 33, 39, 23, 29, 14, 19, 5, 10,  
0, 1, 0, 0, 0, 3, 8, 13, 18, 23,  
28, 33, 38, 43, 68, 73, 98, 103, 129, 156,  
182, 210, 238, 266, 295, 324, 354, 411, 442, 474,  
535, 599, 634, 702, 773, 846, 923, 1003, 1009, 977,  
909, 879, 814, 752, 693, 667, 611, 558, 533, 584,  
634, 716, 765, 814, 864, 880, 932, 985, 1002, 1055,  
1071, 1125, 1026, 860, 717, 594, 498, 411, 352, 294,  
258, 221, 181, 139, 122, 78, 60, 42, 24, 6,  
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,  
0, 1, 9, 16, 24, 31, 39, 46, 53, 60,  
67, 74, 81, 63, 70, 77, 84, 90, 73, 79,  
85, 92, 74, 81, 64, 70, 53, 59, 43, 49,  
33, 39, 23, 29, 14, 19, 5, 10, 0, 1,  
0, 0, 0, 3, 8, 13, 18, 23, 28, 33,  
38, 43, 68, 73, 98, 103, 129, 156, 182, 210,  
238, 266, 295, 324, 354, 411, 442, 474, 535, 599,  
634, 702, 773, 846, 923, 1003, 1009, 977, 909, 879,  
814, 752, 693, 667, 611, };

```
void main(void)
{
unsigned int i;
unsigned char contor;
unsigned char Error=0;
unsigned char T_FiH;
unsigned char T_FiL;
unsigned char T_LH;
unsigned int Adr_Tmp;

unsigned char xdata *p;
p=(unsigned char xdata*)(0x8000);

    lcd_InitDisplay();
    lcd_Write( 1, "INCARCA ..." );
    contor=0;
for (i=0;i<=4094 ;i++)
    {
    T_FiH=T_Fi[i]/256;
    T_FiL=T_Fi[i]-T_FiH*256;

// Se scrie in tabel Fi Hi
    mem_Select(2);
SCRIE:
    *(p+2*i)=T_FiH;
    Delay(10);
```

```

//verifica daca s-a in scris corect
    T_LH=(p+2*i);
    if (T_LH != T_FiH) Error=1;
// Se scrie in tabel Fi Lo
    *(p+2*i+1)=T_FiL;
    Delay(10);
    T_LH=(p+2*i+1);
//verifica daca s-a in scris corect
    if (T_LH != T_FiL) Error=1;
    if (Error)
        {
            contor=contor+1;
            Error=0;
            if (contor>3) goto EROARE;
            goto SCRIE;
        }

    contor=0;
    Error=0;
}
port_Select();
lcd_Write( 1, "Inc Blocul 1" );

while(1) {}
EROARE:
    port_Select();
    lcd_Write( 1, "ERR Blocul 1" );

while(1) {}

}

```