

CLEMENT FESTILĂ

REGULATOARE
AUTOMATE

•

proiectarea regulatoarelor continue

卷之三

• A SECTION OF STANLEY'S
OLD JOURNAL AND ESTABLISHMENT
IN 1857
WILLIAM STANLEY REC'D.
1857

Recenzenți: Prof.dr.ing.M.Hăngăru
Prof.dr.ing.T.Coloși
Dactilografiat: Maria Găzdac
Corectat: Autorul
Grafica și coperta: Olivia Cismas



C U P R I N S

TEMA DE PROYECTO: Volumen

| | |
|--|--------|
| A.1. Descrierea procesului tehnologic..... | 1 |
| A.2. Obiectivele reglajului automat..... | 2 |
| A.3. Mărimi perturbatoare..... | 2 |
| A.4. Aparatura primară de măsură..... | 2 |
| A.5. Elementele de execuție necesare..... | 2 |
| A.6. Performanțele impuse buclei..... | 2 |
| A.7. Probleme de identificare a părții fixate..... | 2 |
| A.7.D. Identificarea buclei de reglare a debitului..... | 2 |
| A.7.T. Identificarea buclei de reglare a temperaturii..... | 2 |
| Varianta 'B'..... | 9 |
| B.1. Descrierea procesului tehnologic..... | 9 |
| B.2. Obiectivele reglajului automat..... | 10 |
| B.3. Mărimi perturbatoare..... | 10 |
| B.4. Aparatura primară de măsură..... | 10 |
| B.5. Elementele de execuție necesare..... | 11 |
| B.6. Performanțele impuse..... | 11 |
| B.7. Probleme de identificare a părții fixate..... | 11 |
| 1. CALCULUL REGULATORILOR PRIN METODA REPARTITIEI POLI-ZEROURI | 11 |
| 1.1. Considerații asupra părții fixate..... | 12 |
| 1.2. CALCULUL REGULATORULUI $H_{R1}(s)$ pentru cazul sistemului echivalent de ordinul doi necorectat..... | 12 |
| 1.3. Calculul regulatorului $H_{K2}(s)$ pentru cazul sistemului de ordinul doi corectat (corecția cu dipol)..... | 15 |
| 1.4. Calculul regulatorului $H_{R3}(s)$ pentru cazul sistemului de ordinul doi corectat (corecția cu zero și pol de balast)..... | 21 |
| 1.5. Analiza rezultatelor..... | 22 |

| | |
|---|----|
| 2. CALCULUL REGULATOARELOR PRIN METODE FRECVENTIALE PE BAZA SISTEMULUI ECHIVALENT DE ORDINUL DOI | 23 |
| 2.1. Considerații asupra părții fixate..... | 23 |
| 2.2. Determinarea factorului (V_R) AL UNUI REGULATOR P..... | 24 |
| 2.3. Determinarea parametrilor unui regulator PI..... | 25 |
| 2.4. Determinarea parametrilor unui regulator PD..... | 27 |
| 2.5. Determinarea parametrilor unui regulator PID..... | 28 |
| 3. CALCULUL REGULATOARELOR PRIN METODE FRECVENTIALE CU ASIGURAREA UNEI MARGINI DE FAZA IMPUSE | 31 |
| 3.1. Considerații asupra părții fixate..... | 31 |
| 3.2. Calculul parametrilor unui regulator PI..... | 31 |
| 3.3. Calculul parametrilor unui regulator PD..... | 32 |
| 3.4. Calculul parametrilor unui regulator PID..... | 33 |
| 4. CALCULUL REGULATOARELOR PRIN METODE CVASIOPTIM | 35 |
| 4.1. Considerații asupra părții fixate..... | 35 |
| 4.2. Calculul regulatoarelor prin metoda "modulului". | 35 |
| 4.3. Calculul regulatoarelor prin metoda "simetriei". | 36 |
| 4.4. Verificarea performanțelor impuse..... | 37 |
| 5. CALCULUL REGULATOARELOR IN CAZUL REGLARII IN CASCADA | 39 |
| 5.1. Considerații asupra părții fixate..... | 39 |
| 5.2. Calculul regulatoarelor sistemului de reglare a debitului (G_m). | 41 |
| 5.3. Calculul regulatoarelor sistemului de reglare a temperaturii (θ_m). | 44 |
| 6. CALCULUL UNUI REGULATOR CU PREDICTIE | 47 |
| 6.1. Considerații asupra părții fixate..... | 47 |
| 6.2. Calculul regulatorului cu predictor..... | 48 |
| 6.3. Analiza rezultatelor..... | 51 |
| 7. CALCULUL REGULATOARELOR DISCONTINUE | 52 |
| 7.1. Considerații asupra părții fixate..... | 52 |
| 7.2. Calculul regulatoarelor bipozitionale fără reacție negativă locală..... | 56 |

| | |
|--|----|
| 7.3. Calculul regulatoarelor tripozitionale fără reacție negativă locală..... | 58 |
| 7.4. Calculul regulatoarelor bipozitionale cu reacție negativă locală..... | 62 |
| 7.5. Calculul regulatoarelor tripozitionale cu reacție negativă locală..... | 63 |
| 8. CALCULUL REGULATOARELOR PENTRU SISTEME MONOVARIABILE FOLOSIND SPAȚIUL STĂRILOR | 66 |
| 8.1. Considerante asupra părții fixate..... | 66 |
| 8.2. Descrierea matematică în spațiul stărilor..... | 66 |
| 8.3. Calculul matriciei compensatoarelor în cazul reacției după stare (și a celor de prescriere)..... | 68 |
| 8.4. Calculul compensatoarelor pentru modificarea părții fixate..... | 71 |
| 8.5. Calculul compensatoarelor în cazul reacției după stare folosind observer (de stare)..... | 72 |
| 9. CALCULUL REGULATOARELOR IN CAZUL SISTEMELOR MULTIVARIABILE | 74 |
| 9.1. Considerații asupra părții fixate | 74 |
| 9.2. CALCULUL regulatoarelor multivariable folosind metoda modulului,..... | 74 |
| 9.3. Calculul regulatoarelor multivariable (compensatoarelor) în cazul reacției după stare..... | 75 |
| 9.4. Calculul regulatoarelor multivariable (compensatoarelor) în cazul reacției după ieșire..... | 76 |
| 9.5. Calculul regulatoarelor multivariable (compensatoarelor) în cazul reacției după stare folosind observer de stare..... | 77 |
| Bibliografie..... | 78 |

• Faza inițială este caracterizată de un debit masic constant și
de un material granular deosebit de sensibil la temperatură.
Se urmărește să se mențină o temperatură constantă.

Prima fază de regulare a temperaturii este realizată
electronic și se poate face fără întârziere.

• Secundară este realizată într-un siloz de colectare
în care se adună materialul granular, care va fi apoi
transportat în silozul final de stocare.

TEMA DE PROIECT

• A.1. Reglarea debitului și temperaturii
unui material granular

Varianța A

• Scenariu: producție cu variație a
REGLAREA DEBITULUI SI TEMPERATURII

A.1. Aparatura pentru reglarea
UNUI MATERIAL GRANULAR

Instrumente și mijloacele de control:
- la出入口 și la ieșirea din siloz.

A.1.1. DESCRIEREA PROCESULUI TEHNOLOGIC

• Materialul granular este adus din silozul de colectare
într-o anumită cantitate și este introdus într-un siloz-tampon (S₁).

• Materialul granular, utilizat într-un combinat chimic este
colectat într-un siloz-tampon (S₁). Parametrii inițiali:
pentru a - continutul de umiditate ϕ_1

- temperatură T_1 ,
pentru a - debitul masic Q_1 ,
sunt variabile aleatoare, dependente de mediul ambiant și de fazele
anterioare de producție.

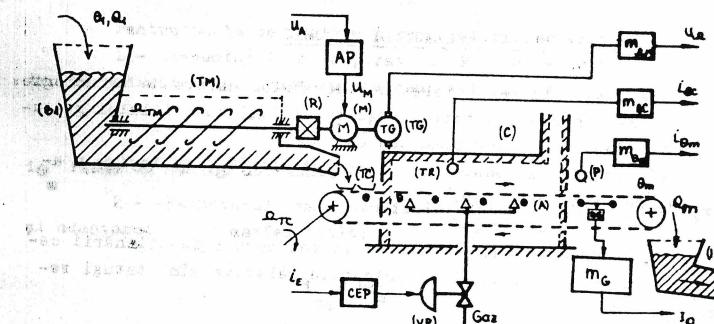


Fig.A1

Procesul tehnologic preteinde asigurarea:

a) unui debit masic (Q_m) de material granular constant,

b) unei temperaturi (θ_m) constante a acestui material, realizindu-se implicit și uscarea.

Instalația tehnologică ce realizează aceste obiective constă din:

- transportorul melcat (TM) prin care se poate controla debitul de material granular preluat din silozul (S_1);
- transportorul cu cupe metalice (TC) pe care este depus materialul adus de transportorul melcat - vezi figura A1; transportorul cu cupe (TC) suportă temperatura din cuporul (C) de uscare și încălzire în care este introdus materialul granular. Viteză de înaintare a transportorului cu cupe este constantă întrucât $i_{TC} = \text{ct.}$

La ieșirea din cupor se măsoară temperatura și debitul materialului granular, încercindu-se prin sistemul de reglare automată, menținerea constantă a acestor parametrii.

Principiul de funcționare a buclei de reglare a debitului constă în măsurarea debitului de ieșire (Q_m) și modificarea corespunzătoare, prin intermediu turășiei transportorului melcat, a debitului de intrare Q_1 pe transportorul cu cupe pentru a corecta eventualele abateri.

Pentru bucla de reglare a temperaturii, se măsoară temperatura (θ_m) a materialului granular de la ieșire și se corectează abaterile de temperatură prin modificarea debitului de gaz metan trimis spre arzătoare prin intermediu ventilului pneumatic (UP).

A.2. OBIECTIVELE REGLAJULUI AUTOMAT

Se urmărește respectarea dezideratelor cerute de tehnologie:
a) menținerea constantă a debitului (Q_m) materialului granular la ieșire din cupor simultan cu
b) menținerea constantă a temperaturii (θ_m) de ieșire a aceluiași material granular.

În plus se urmărește:
c) decuplarea între o măsură cît mai mare a funcționării celor două bucle, mai ales că influențele relative sunt totuși reduse.

A.3. MARINI PENTRUBATOARE

Pentru bucla de reglare a debitului:

- desemnările în compoziția materialului granular de intrare (Q_1)

- variația continutului de umiditate (c_1)

- nivelul materialului din silozul (S_1) datorită variației debitului (Q_1).

Pentru bucla de reglare a temperaturii:

- variația temperaturii initiale (θ_j) a materialului
- variația continutului de apă (c_1) a acestuia
- variația debitului materialului granular, respectiv a grosimii stratului pe transportorul cu cupe
- calitatea și presiunea gazului metan folosit la ardere.

A.4. APARATURA PRIMARĂ DE MĂSURĂ

Pentru bucla de reglare a debitului:

- 1 - doza gravimetrică (DG) și adaptorul (m_G) astfel încât curentul "unificat" de ieșire i_Q să fie:

$$i_Q = k Q_m \quad (A1)$$

Pentru a măsura debitul de ieșire a materialului

- 2 - tahogeneratorul (TG) care măsoară de fapt turăția transportorului melcat. Tahogeneratorul este prevăzut cu un adaptor adecvat (m_{Ω_m}) astfel încât:

$$U_\Omega = k \Omega_{TM} \quad (A2)$$

Pentru bucla de reglare a temperaturii se prevăd:

- 1 - traductorul de temperatură (P) - care este un pirometră de radiație - și adaptorul necesar astfel că:

$$i_{\theta_m} = k \theta_m \quad (A3)$$

i_{θ_m} fiind un curent unificat,

- 2 - traductorul temperaturii în cupor - termorezistență - și adaptorul (m_{θ_c}) astfel încât:

$$i_{\theta_c} = k \theta_c \quad (A4)$$

De asemenea, curentul (i_c) e "unificat".

A5. ELEMENTELE DE EXECUȚIE NECESSARE

In bucla de reglare a debitului, rolul elementului de execuție îl joacă transportorul melcat, antrenat printr-un reductor de către motorul (M) de c.c. și alimentat printr-un amplificator de putere bazat pe redresor comandat cu tiristoare. Mărimea de comandă este tensiunea (U_A) - figura A.1.

Bucla de reglare a temperaturii este prevăzută cu un ventil pneumatic (VP) pe conducta de gaz metan ce conduce la arzătoare. Comanda electrică a ventilului a necesitat utilizarea convertorului electropneumatic (CEP), comandat la rîndul său prin curentul uniform (i_E).

A6. PERFORMANTELE IMPUSE BUCLEI: se vor specifica în cadrul fiecărei metode de calcul a regulatoarelor.

A7. PROBLEME DE IDENTIFICARE A PARTII FIXATE

A.7.D. Identificarea buclei de reglare a debitului

Se pleacă de la analiza elementelor componente a acestei bucle și se prezintă rezultatele identificării.

Bucla cuprinde:

- a - transportorul melcat (TM) cu:
 - sistemul său de antrenare: amplificatorul de putere (AP), motorul de c.c. (M) cu reductor;
 - sistemul de măsură a turării: tahogeneratorul TG și adaptorul $m_{\Omega n}$
- b - transportorul cu cupe (TC)
- c - doza gravimetrică (DG) cu adaptor.

a) Referitor la transportorul melcat:

a.1. amplificatorul de putere primește la intrare tensiunea u_A și dă la ieșire tensiunea u_M ; are structura din figura A.2 în care:

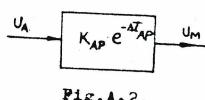


Fig.A.2.

$$K_{AP} = 20 + 0,25 n \quad [-]$$

$$\tau_{AP} = 10^{-2} \text{ (sec)} = 10 \text{ [msec]}$$

variantă al frecvențelor de oscilație, în figura A.2a, motorul de antrenare primește la intrare tensiunea u_M și furnizează mărimea Ω_{TM} (prin intermediul reductorului R). Mărimea perturbatoare este cuplul rezistent (M_r). Are structura din figura A.3, în care:

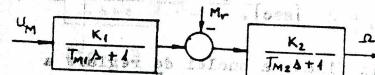


Fig.A.3

$$K_1 = (0,25 + 10^{-2}n) \text{ [N.m/U]}$$

$$K_2 = (5 + 0,1n) \text{ [rad/sec/N.m]}$$

$$T_{M1} = (0,05 + 2 \cdot 10^{-3}n) \text{ [sec]}$$

$$T_{M2} = (0,5 + 10^{-2}n) \text{ [sec]}$$

a.3. tahogeneratorul de măsurare a turării (TG) și adaptorul său primește la intrare turărea Ω_{TM} (multiplicată cu raportul de reducție al reductorului R) și furnizează prin adaptor, o tensiune u_{Ω} ; are structura din figura A.4, în care:



Fig.A.4

$$K_{TG} = 0,1 \text{ [U/rad/sec]}$$

$$T_{TG} = 10^{-2} \text{ [sec]}$$

a.4. transportorul melcat (TM) primește la intrare turărea Ω_{TM} și furnizează un debit intermedian Q_1 de material granular comandat. Mărimele perturbatoare menționate sunt echivalente prin mărimea (P_m) care ține cont de neomogenități, variația umidității și înălțimea materialului în siloz. Structura e cată în figura A.5, în care:

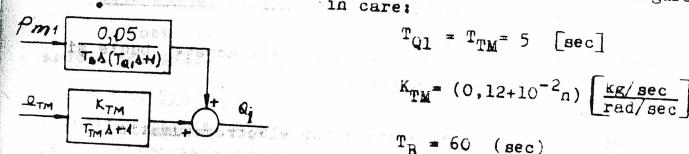
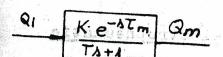


Fig.A.5

$$T_B = 60 \text{ (sec)}$$

$$K_{TM} = (0,12 + 10^{-2}n) \left[\frac{\text{kg/sec}}{\text{rad/sec}} \right]$$

b) Transportorul cu cupe (TC) are la intrare debitul intermedian (Q_1), iar la ieșire debitul (Q_m), structura corespunde figurii A.6, în care:

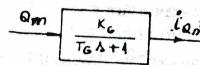


$$K = 0,9$$

$$T = 10 \text{ [sec]}$$

Fig.A.6. Se obțineaza valoarea Ω_{TC}^* , valoarea Ω_{TC}^* prezentindu-se ulterior.

c) Dosa gravimetrică cu adaptor: se consideră la intrare debitul Q_m , iar la ieșirea adaptorului curentul i_Q , astfel încit, potrivit figurii A.7:



$$K_c = 0,16 \text{ [mA/kg/sec]}$$

$$T_g = 2 \text{ [sec].}$$

Fig.A.7

Cu acestea structura părții fixate a buclei de reglare a debitului corespunde figurii A.8:

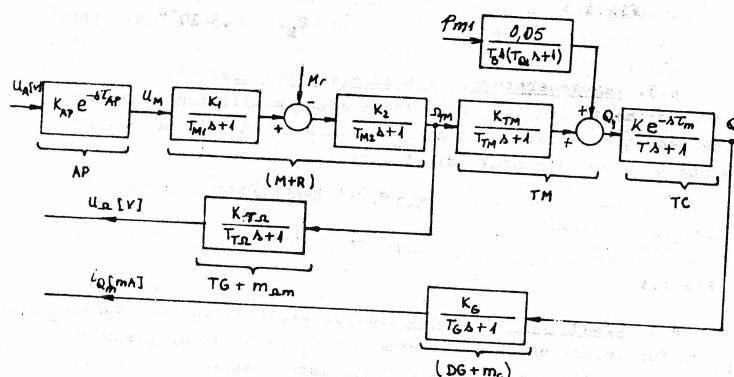


Fig.A.8
A.7.T. Identificarea buclei de reglare a temperaturii

Se analizează elementele componente ale acestei bucle și se prezintă rezultatele identificării.

Bucla cuprinde:

- a) ventilul pneumatic cu convertor electropneumatic
- b) cuporul (C) de uscare și încălzire
- c) transportorul cu cupe (TG) din punctul de vedere al reglajului de temperatură
- d) traductoarele de temperatură (TR) și (P) cu adaptoarele corespunzătoare.

a) Venitul pneumatic (UP) și convertorul electropneumatic (CEP)

- la intrare se aplică curentul (i_B), iar mărimea de ieșire este debitul de gaz metan (q); structura corespunde figurii A.9,

lărgirea și închiderea lui în funcție de

în care Δp_g este perturbația echivalentă datorată variației presiunii și calității gazului metan.

$$K_{pg} = 10^{-2}$$

$$K_{CE} \cdot K_U = 0,025 \frac{\text{Nm}^3/\text{sec}}{\text{mA}}$$

Fig.A.9

$$T_v = 4 \text{ (sec).}$$

b) Cuporul (C) se va analiza împreună cu transportorul cu cupe (TC) rezultând structura din figura A.10, în care $\Delta \theta_i$ este

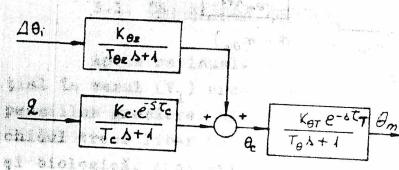


Fig.A.10

$$K_C = (200+2n) \frac{^\circ C/\text{Nm}^3/\text{sec}}{\text{sec}}$$

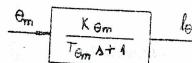
$$K_{θT} = 0,8; K_{θZ} = 0,3, T_{θZ} = 120 \text{ (sec)},$$

$$T_c = (600+5 n) \text{ [sec]}, T_c = 0,15 T_c \text{ [sec]} T_{θT} = (100+2n) \text{ (sec)}$$

$$T_T = 0,05 T_T \text{ [sec].}$$

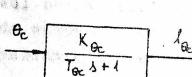
Notă: S-a neglijat influența variației debitului de material asupra temperaturii din cupor.

d) Traductoarele de temperatură: pentru pirometru, intrarea este temperatura θ_m , ieșirea adaptorului este curentul $i_{θm}$, iar pentru termorezistență (TR) intrarea este temperatura aerului în cupor, ieșirea fiind curentul $i_{θc}$. Structura este aceeași în ambele cazuri - figura A.11 - în care



- pentru pirometru

$$K_{θm} = 0,16 \text{ (mA/} ^\circ\text{C)}$$



- pentru termorezistență

$$K_{θc} = 0,1 \text{ (mA/} ^\circ\text{C)}$$

$$T_{θc} = 16 \text{ [sec]}$$

Fig.A.11

Cu acestea, structura sistemului de reglare a temperaturii datează fișă A.12:

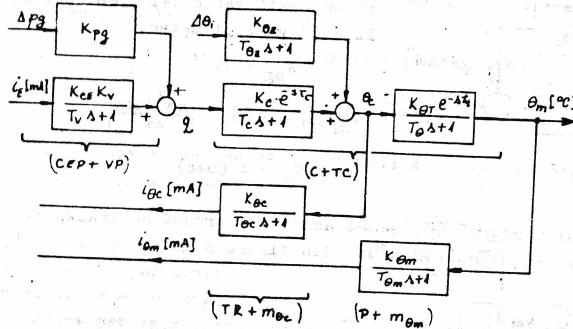


Fig.A.12

TEMA DE PROIECT

Varianta B

REGLAREA DEBITULUI SI CALITATII
IN TRATAREA APELOR REZIDUALE

B.1. DESCRIEREA PROCESULUI TEHNOLOGIC (T.D.)

Apale reziduale de debit controlat (u_1) sint colectate initial in vasul (V_1) unde are loc o primă linistire și depunere a suspensiilor grosiere, nămolul rezultat evacuindu-se periodic. Apoi, lichidul trece liber in vasul (V_2) unde are loc prima tratare chimică și biologică. Apoi are loc curgerea liberă in vasul (V_3) unde se adaugă substanță activă de concentrație (c_a) - în substanță activă, rezultă în acest ultim vas concentrația finală (c) a substanței poluanțe. Evident, ca mărimi de ieșire interesează concentrația (c) și debitul de ieșire (Q_e).

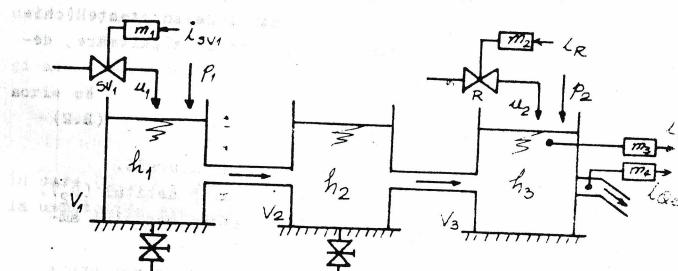


Fig.B.1

Concentrația (c) depinde de debitele (u_1) și (u_2), de gradul de impurificare chimică a apelor reziduale din debitul (u_1), de concentrația (c_a) și de procentul de distrugere a substanțelor poluanțe în vasele ($V_1 \neq V_3$).

Un model simplificat liniar ia în considerare doar acest proces și încot (c) va depinde doar de nivelele (h_1), (h_2), și (h_3) ale apei în cele trei vase.

Debitul (Q_e) depinde (nелиніар) de nivelul (h_3), evacuarea făcindu-se liber.

B.2. OBIECTIVELE REGLAJULUI AUTOMAT

Se urmărește ca în timpul tratării apelor reziduale să se mențină concentrația (c) și debitul (Q_e) a apelor tratate între anumite limite, impuse de tehnolog, deci

$$\begin{cases} c = c^* = \text{ct} \\ Q_e = Q_e^* = \text{ct} \end{cases}, \quad (\text{B.1})$$

indiferent de factorii perturbatori.

In plus, se urmărește decuplarea celor două mărimi de ieșire, atât în raport cu referința cît și în raport cu perturbațiile.

B.3. MĂRIMI PERTURBATOARE

Se consideră cele mai semnificative:

a) Calitatea apelor colectate, atât din punct de vedere al conținutului de suspensii cît și al concentrației de substanțe (chimice) poluante. Cu cît concentrația de suspensii este mai mare, debitul de nămol evacuat crește așa încât:

$$Q_e < (u_1 + u_2) \quad (\text{B.2})$$

la acest dezechilibru adăugindu-se și evaporarea naturală.

b) Concentrația (c_0) a substanței active în debitul (u_2).

Celelalte mărimi perturbatoare: temperatura mediului ambiant, gradul de agitare, se neglijăză.

Intr-o reprezentare echivalentă, perturbațiile vor apărea prin mărimile (p_1) și (p_2), sub forma unor debite - figura B.1 -

B.4. Aparatura primară de măsură

Se utilizează un traductor de concentrație a mărimilor poluante reziduale, plasat în vasul (V_3) și a cărui mărime de ieșire este curentul (i_c). Traductorul de debit volumetric măsoară de fapt

viteză de ieșire, secțiunea rămînind constantă. La ieșire rezultă curentul (i_{Q_e}) - figura B.1 -

B.5. ELEMENTELE DE EXECUȚIE NECESARE

Debitul (u_1) este comandat prin sistemul de vane (SV_1) sub comanda curentului (i_{SV_1}), iar debitul (u_2), prin robinetul (R) comandat de curentul (i_R).

B.6. PERFORMANȚELE IMPUSE

Performanțele impuse buclei se vor specifica în cadrul fiecarei metode de calcul.

B.7. PROBLEME DE IDENTIFICARE A PARȚII FIXATE

Dependențele între nivele și debite, precum și între concentrația (c) și elementele funcționale și constructive sunt nelineare, mai ales dacă se consideră curba de titrare. În jurul punctului defuncționare însă se pot considera modele simplificate, liniarizate și reportate la valorile nominale, așa încât, de pildă pentru nivel:

$$h = H/H_0 \quad (\text{B.3})$$

unde (H) este nivelul real (în metru), iar (H_0) cel nominal (în m), Neglijind constantele de timp ale elementelor de execuție și ale traductoarelor și ținând cont că pentru fiecare vas se poate scrie că

$$\frac{dh}{dt} = (Q_i^* - Q_e^*) \quad (\text{B.4})$$

în care (Q_i^* , Q_e^*) sunt debitele admise, respectiv evacuate, se ajunge la următoarea expresie liniarizată:

$$\begin{cases} h_1 = -(1+0,01 n)h_1 + h_2 + 0,05 u_1; \\ h_2 = h_1 - 2h_2 + h_3; \\ h_3 = h_2 - 1,6 h_3 + 0,3 u_2. \end{cases} \quad (\text{B.5})$$

$$\begin{aligned} \text{iar la ieșire:} \\ Q_e &= 0,2 h_3 \\ c &= 0,3 h_1 + 0,5 h_2 + 0,6 h_3 \end{aligned} \quad (\text{B.6})$$

Se introduc variabilele de stare

$$\dot{x}_1 = h_1; \quad x_2 = h_2; \quad x_3 = h_3 \quad (B.7)$$

și cele de ieșire:

$$\begin{cases} y_1 = c \\ y_2 = Q_e \end{cases} \quad (B.8)$$

asa incit, cu neglijarea perturbațiilor ($p_1, p_2 = 0$) rezultă:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -(1+0,01 n) & 1 & 0 \\ 1 & -2 & 1 \\ 0 & 1 & 1,6 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0,5 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0,3 \end{bmatrix} u; \quad (B.9)$$

$$y = \begin{bmatrix} 0,3 & 0,5 & 0,6 \\ 0 & 0 & 0,2 \end{bmatrix} \cdot x \quad (B.9)$$

identificindu-se direct matricile (A, B) și (C) în cazul cu $n=3$ stări și $q = 2$ mărimi de intrare/ieșire.

Deducerea formelor în $H[3]$ presupune calcularea matricei de transfer $H_f(s)$:

$$H_f(s) = C [sI_3 - A]^{-1} \cdot B \quad (B.10)$$

evidențiind componentele $H_{f11}, H_{f12}, H_{f21}$ și H_{f22} .

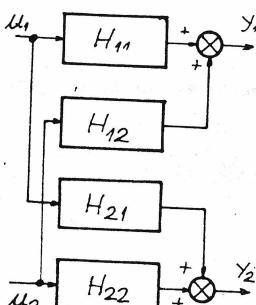
Constantele de timp ale vaselor sunt mult mai mari decât ale elementelor de execuție sau ale traductoarelor usual așa incit neglijarea este admisibilă. Structura în H corespunde figurii B.2.

Prin rezolvarea ecuației caracteristice de gradul trei se vor determina polii părții fixate.

Dacă se consideră și mărimile perturbaționale (estimate prin valorile maxime:

$$\begin{cases} P_{1max} = p_1 = 0,2 - u_{1max} \\ P_{2max} = p_2 = 0,1 \cdot u_{2max} \end{cases} \quad (B.11)$$

Fig.B.2



prima ecuație a modelului matematic intrare-stare-ieșire-relația (8.9) devine:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -(1+0,01 n) & 1 & 0 \\ 1 & -2 & 1 \\ 0 & 1 & 1,6 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0,5 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0,3 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0,1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0,03 \end{bmatrix} p \quad (B.9')$$