

1. Introducere în automatizarea proceselor chimice

Industria chimică reprezintă un teren propice pentru conducerea automată a proceselor tehnologice și ca urmare unele dintre cele mai reprezentative aplicații își găsesc loc în acest domeniu. În paralel cu dezvoltarea și perfecționarea tehnologiilor chimice a avut și are loc un progres remarcabil în domeniul conducerii automate în vederea obținerii unor randamente înalte, a valorificării superioare a materiei prime și a scăderii prețului de cost.

1.1. Sistem chimic

Sistemul reprezintă un ansamblu de elemente aflate în interacțiune, cărora îi sunt specifice o organizare și un scop. Interacțiunile sunt concretizate prin fluxuri de masă, energie și/sau informație. Scopul asociat fiecărui sistem depinde de destinația acestuia.

Mediul exterior definește entitatea aflată în exteriorul sistemului considerat. Între sistem și mediul exterior există schimburi permanente de masă, energie și/sau informație.

Mărimile de intrare sunt mărimile independente asociate unui sistem. Mărimile de intrare sunt fluxuri de masă și/sau energie care intră sau ies din sistem. Aceste mărimi pot fi utilizate drept comenzi iar alte mărimi, fluxuri materiale sau energetice, care variază aleator influențând nefavorabil sistemul, sunt considerate perturbații. Comenzile și perturbațiile asociate unui sistem reprezintă mulțimea variabilelor independente, figura 1.1.

Mărimile de ieșire sunt mărimi dependente și sunt asociate în general calității produselor rezultate în sistemul chimic și uneori cantității acestora. Valorile mărimilor de ieșire depind direct de valorile comenzilor și ale perturbațiilor cât și de modelul matematic al sistemului.

Starea sistemului chimic este dată de valorile următoarelor variabilele termodinamice: temperatura T , presiunea P , concentrația c . În interiorul sistemului se consideră un punct curent M și funcția $\phi(M)$ ce reprezintă variația variabilelor termodinamice în raport cu poziția punctului M .

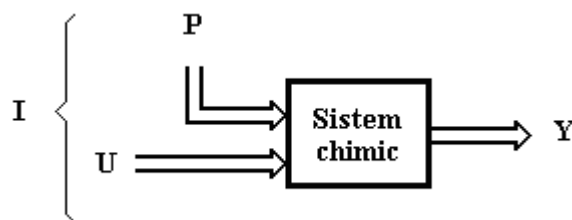


Fig. 1.1. Structura unui sistem chimic: I - vectorul intrare; Y - vectorul ieșire;
 P - vectorul perturbații; U - vectorul comandă.

Sistemul omogen reprezintă sistemul pentru care funcția $\varphi(M)$ este continuă.

Faza reprezintă acea parte dintr-un sistem în interiorul căreia proprietățile sunt funcții continue de poziție. Dacă funcția $\varphi(M)$ prezintă discontinuități, sistemul este eterogen și în consecință are mai multe faze.

Sistemele cu parametri concentrați sunt acele sisteme pentru care funcția $\varphi(M) = \text{constant}$. Exemplul de sistem cu parametri concentrați îl reprezintă un reactor cu amestecare perfectă, figura 1.2. În interiorul reactorului parametri de stare, concentrația componentului A și B au aceleași valori indiferent de poziția din reactor.

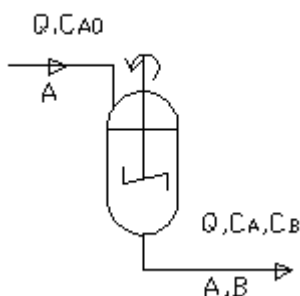


Fig. 1.2. Reactor cu amestecare perfectă.

Modelul matematic al reactorului are la bază următoarele ipoteze:

- reacția chimică este de tipul $A \rightarrow B$ și are ordinul 1;
- amestecarea este perfectă;
- procesul este izoterm.

Modelul matematic este descris prin bilanțul material pe fiecare component [16]:

$$Q c_{A0} = Q c_A + V K c_A; \quad (1.1)$$

$$0 = Q c_B - V K c_A, \quad (1.2)$$

semnificația mărimilor fiind următoarea:

Q - debitul de material la intrarea și ieșirea din reactor $[m^3 / s]$;

c_{A0} - concentrația reactantului A la intrare $[kmol / m^3]$;

c_A - concentrația reactantului A în reactor $[kmol/m^3]$;
 c_B - concentrația produsului de reacție B în reactor $[kmol/m^3]$;
 V - volumul masei lichide din reactor $[m^3]$;
 K - constanta vitezei de reacție $[s^{-1}]$.

Concentrația produsului B la ieșirea din reactor c_B , egală cu cea din reactor în virtutea ipotezei amestecării perfecte, constituie indicatorul de calitate al produsului obținut. Din acest motiv, concentrația c_B este considerată una dintre componentele mărimii de ieșire. Cealaltă componentă este concentrația reactantului la ieșire c_A . Concentrația produsului c_B este în funcție de debitul Q , în funcție de concentrația reactantului A la intrare c_{A0} și în funcție de volumul masei de lichid V . Toate aceste mărimi sunt mărimi de intrare, concentrația c_{A0} reprezentând perturbația pentru reactor. Schema bloc a reactorului cu amestecare perfectă, considerat sistem cu parametri concentrați, este prezentată în figura 1.3.

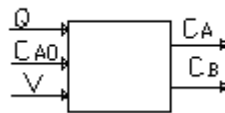


Fig. 1.3. Schema bloc a reactorului cu amestecare perfectă.

Având în vedere structura generală a unui sistem chimic (figura 1.1), mărimile care caracterizează sistemul sunt următoarele:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} Q \\ c_{A0} \\ V \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} c_A \\ c_B \end{bmatrix}.$$

Explicitând componentele mărimii de ieșire în funcție de componentele mărimii de intrare rezultă:

$$c_A = \frac{Q}{Q + V K} c_{A0}; \quad (1.3)$$

$$c_B = \frac{V K}{Q + V K} c_{A0}. \quad (1.4)$$

Sistemele cu parametri distribuți sunt sistemele caracterizate prin variații ale valorilor funcției $\varphi(M)$, sau cu alte cuvinte variabilele de stare au valori dependente de poziție. Exemplul caracteristic îl constituie reactorul tubular, figura 1.4 [16]. Pentru acest tip de reactor, variabilele de stare, presiunea, temperatura și concentrația, au valori dependente de poziția curentă a punctului M în interiorul reactorului.

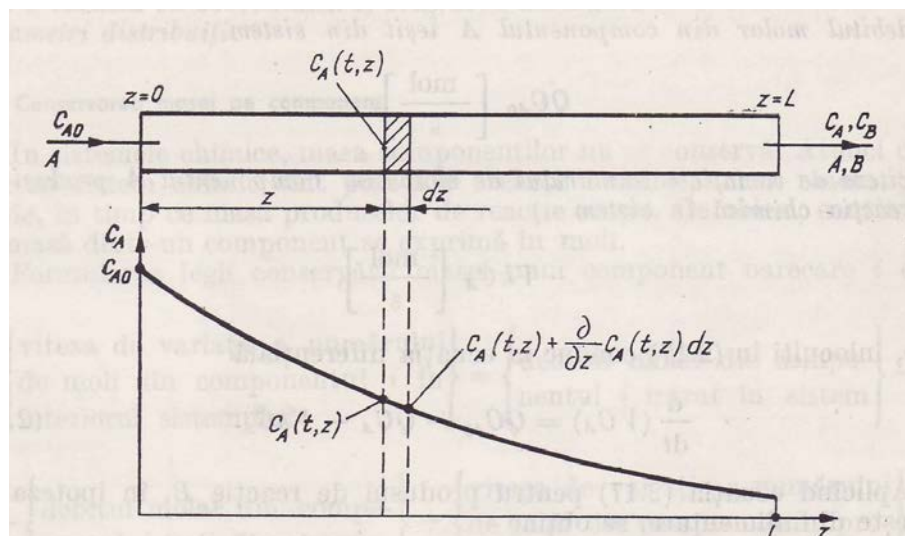


Fig. 1.4. Reactor chimic tubular.

În interiorul reactorului tubular are loc reacția chimică ireversibilă $A \rightarrow B$. Curgerea având loc în regim turbulent, se poate face ipoteza că proprietățile amestecului în secțiunea transversală sunt aceleași. Din cauza variației concentrației componentilor de-a lungul reactorului are loc un curent de difuzie axială. Modelul matematic în regim staționar este exprimat prin formularea următoare:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Debitul} \\ \text{molar} \\ \text{înt rat} \\ \text{în sistem} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Debitul} \\ \text{molar} \\ \text{iesit} \\ \text{din sistem} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Variația} \\ \text{molara} \\ \text{produsa} \\ \text{de reacție} \end{array} \right\}. \quad (1.5)$$

Pentru reactantul A se poate scrie relația

$$Q_A = (Q_A + dQ_A) - r_A dV, \quad (1.6)$$

Semnificația mărimilor fiind următoarea:

Q_A – debitul componentului A intrat în elementul infinitesimal al reactorului dV ;

dQ_A – variația debitului componentului A la ieșirea din sistem;

r_A - viteza de reacție $A \rightarrow B$;

dV – variația infinitesimală a volumului reactorului.

Relația (1.6) se reduce la forma

$$dQ_A = r_A dV \quad (1.7)$$

și având în vedere faptul că variația infinitesimală dQ_A poate fi exprimată cu ajutorul conversiei

$$dQ_A = -Q_{A0} dX_A \quad (1.8)$$

se obține ecuația diferențială

$$\frac{dX_A}{dV} = -\frac{r_A}{Q_{A0}} \quad (1.9)$$

Sistemele monovariabile sunt acele sisteme care sunt caracterizate printr-o singură mărime de intrare și o singură mărime de ieșire. În această categorie se găsesc sisteme de reglare automată asociate unui singur parametru (temperatură, presiune, nivel), figura 1.5. Semnificația mărimilor este următoarea: *P* - proces; *T* - traductor; *C* - regulator; *EE* - element de execuție; *i* - mărime de referință; *r* - mărime de reacție; *u* - comandă; *m* - mărime de execuție; *p* - perturbație; *y* - mărime de ieșire.

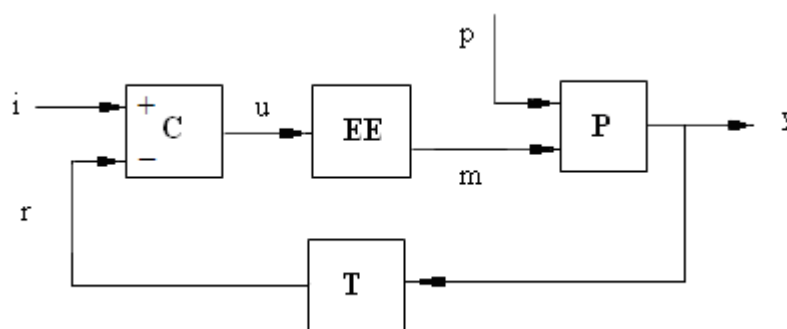


Fig. 1.5. Sistem de reglare cu acțiune după abatere.

Sistemul din figura 5 poate fi adus la forma prezentată în figura 6, formă caracteristică unui sistem monovariabil.

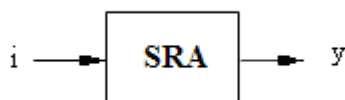


Fig. 1.6. Sistemul monovariabil asociat SRA.

Mărimea de intrare a sistemului este prescrierea *i* iar mărimea de ieșire este reprezentată de variabila reglată, *y*.

Sistemele multivariabile sunt sisteme caracterizate prin mai multe variabile de intrare și mai multe variabile de ieșire. Exemplu de sistem chimic multivariabil îl reprezintă procesul de fracționare al unui amestec binar. Acest proces este caracterizat prin două variabile de intrare (comenzile procesului) și două variabile de ieșire (concentrația componentului volatil în distilat și în reziduu). O schemă bloc a unui proces multivariabil este prezentată în figura 1.7. În cadrul sistemului fiecare mărime de intrare (comanda procesului) influențează ambele mărimi de ieșire.

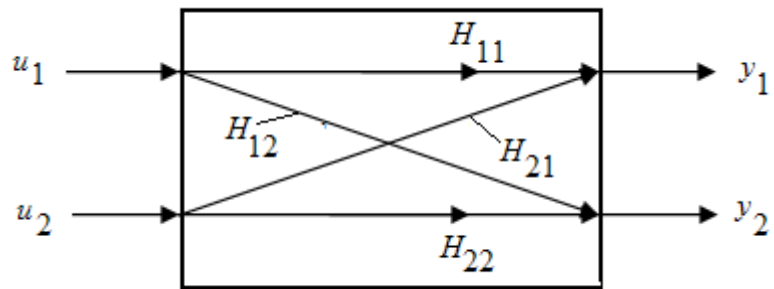


Fig. 1.7. Structura unui proces multivariabil.

În cadrul procesului din figura 1.7, semnificația mărimilor este următoarea:

- u_1, u_2 : mărimile de intrare ale sistemului (procesului);
- y_1, y_2 : mărimile de ieșire ale sistemului;
- H_{ij} : funcțiile de transfer pe canalul $u_i \rightarrow y_j$.

În regim dinamic, vectorul mărimilor de ieșire este calculat cu relația

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}. \quad (1.10)$$

În ipoteza că funcțiile de transfer H_{ij} provin de la elemente aperiodice de ordinul 1

$$H_{ij} = \frac{b_{ij}}{a_{ij}s + 1}, \quad (1.11)$$

relația (1.10) devine

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{b_{11}}{a_{11}s + 1} & \frac{b_{12}}{a_{12}s + 1} \\ \frac{b_{21}}{a_{21}s + 1} & \frac{b_{22}}{a_{22}s + 1} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}. \quad (1.12)$$

1.2. Exemple de sisteme de conducere a proceselor chimice

Exemplul 1.1. Automatizarea unui cuptor tubular.

Fie un cuptor tubular dintr-o instalație de distilare atmosferică a petrolului. Cuptorul tubular este destinat încălzirii și vaporizării parțiale a petrolului supus prelucrării. Din punct de vedere constructiv cuptorul este vertical, având o zonă de radiație și o zonă de convecție. Cuptorul funcționează cu aer cald insuflat, combustibilul lichid utilizat fiind păcura. Structura sistemelor de reglare utilizate este prezentată în figura 1.8.

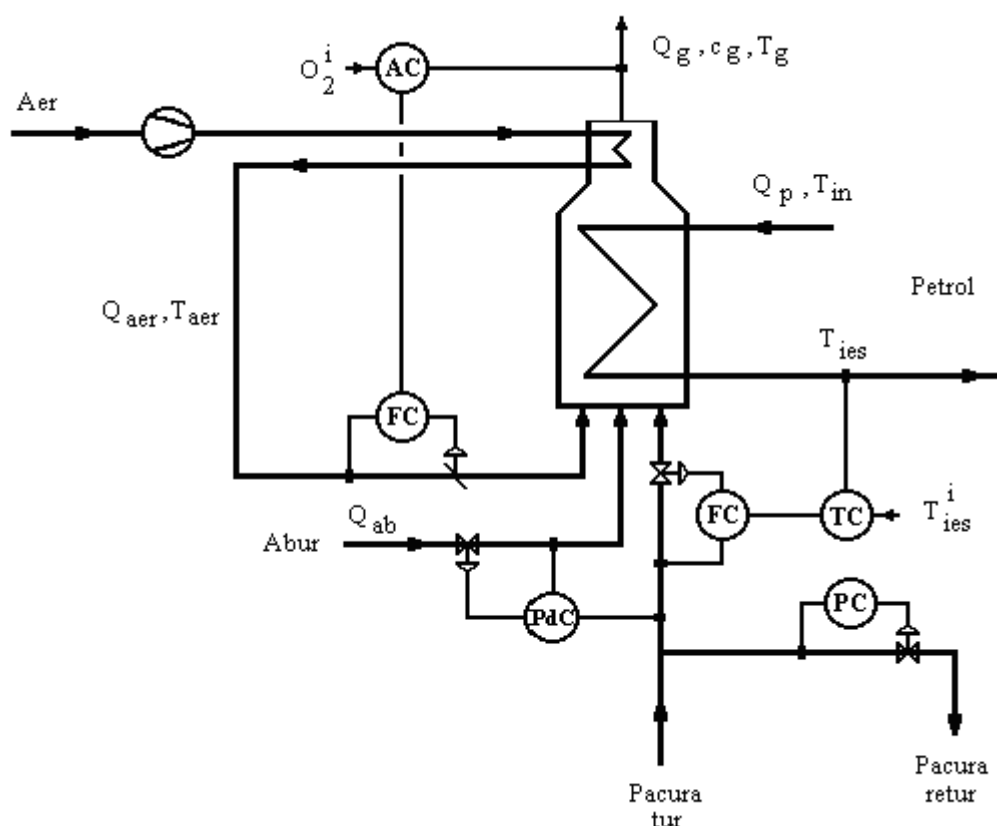


Fig. 1.8. Structura sistemului de conducere a unui cuptor tubular.

Mărimile ce caracterizează sistemul chimic sunt următoarele: $Y^T = [T_{ies}, T_g, c_g]$; $U^T = [Q_c, Q_{aer}, Q_{ab}]$; $P^T = [Q_p, T_{in}, T_{aer}, q_{inf}]$. Structura sistemului de conducere are în componență patru sisteme de reglare automată. Cele patru sisteme reglează temperatura materiei prime, presiunea combustibilului lichid, presiunea diferențială abur/combustibil și concentrația oxigenului în gazele de ardere.

Sistemul de reglare a temperaturii este impus de scopul tehnologic, acela de a încălzi petrolul (materia primă) la o anumită temperatură. Este adoptată structura de

reglare a temperaturii în cascadă cu debitul de combustibil, pentru a atenua perturbațiile introduse de variația necontrolată a debitului de combustibil.

Sistemul de reglare a presiunii combustibilului este impus de funcționarea arzătoarelor de combustibil. Acestea nu pot realiza dispersia lichidului în picături cu diametru foarte mic decât dacă lichidul este pulverizat la o presiune foarte mare. Suplimentar, pentru creșterea gradului de pulverizare, în arzător se introduce abur de pulverizare. Cantitatea de abur introdusă pentru pulverizare este dependentă de diferența de presiune dintre aburul de pulverizare și combustibilul lichid. În practică este utilizat un sistem de reglare automată a presiunii diferențiale abur/combustibil.

Calitatea arderii reprezintă un parametru economic al procesului de combustie, mărimea de ieșire urmărită fiind concentrația oxigenului din gazele de ardere. Pentru reglarea acestei mărimi este utilizat un sistem de reglare cu acțiune după abatere, mărimea de execuție fiind debitul de aer introdus în focarul cuptorului tubular.

Exemplul 1.2. Automatizarea unei coloane de fracționare.

Se consideră o coloană de fracționare a unui amestec binar (etilenă-etan, propilenă-propan). Coloana este prevăzută cu un rețierbător pentru generarea fluxului de vapori prin coloană și un condensator utilizat la obținerea refluxului lichid. Alimentarea coloanei, caracterizată prin debitul F și concentrația x_F , este separată în două fluxuri: distilatul D , bogat în componenta mai volatilă și reziduul B , sărac în componenta volatilă. Uzual, coloana de fracționare are structura de conducere prezentată în figura 1.9. Mărimile care caracterizează sistemul chimic sunt următoarele: $\mathbf{Y}^T = [x_D, x_b, P]$; $\mathbf{U}^T = [L, Q_w, Q_L]$; $\mathbf{P}^T = [F, x_F]$. Sistemul de conducere are o structură compusă din cinci sisteme automate cu acțiune după abatere: două sisteme sunt destinate reglării concentrației distilatului și reziduului; două sisteme reglează nivelul în vasul de reflux și în baza coloanei; un sistem automat este destinat reglării presiunii în coloană.

Sistemele de reglare a compoziției produselor separate au ca agenți de reglare debitul de reflux pentru reglarea compoziției distilatului și debitul de abur pentru reglarea compoziției reziduului. Structura de reglare a calității produselor separate este denumită **L-V**, conform numelor agenților de reglare utilizați.

Pentru închiderea bilanțului material pe coloană și pentru realizarea siguranței în exploatare, sunt utilizate două sisteme de reglare a nivelului, atât în baza coloanei cât și în vasul de reflux. Aceste sisteme automate contribuie la atingerea unor regimuri staționare ale acumulării volumice în cele două vase de acumulare. Totodată, sistemele asigură funcționarea în condiții de siguranță a pompelor care evacuează fluxul lichid din coloană și din vasul de reflux. Suplimentar, sistemul de reglare a nivelului din baza coloanei contribuie la buna funcționare a rețierbătorului.

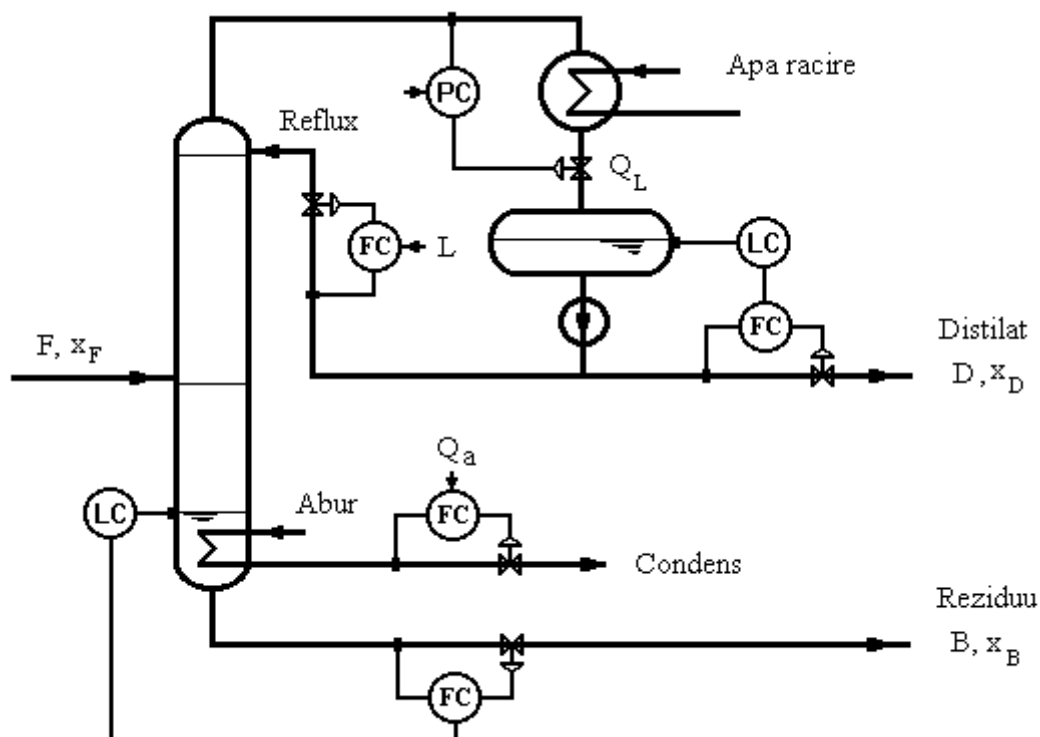


Fig. 1.9. Structura de conducere a unei coloane de fracționare.

Sistemul de reglare a presiunii este necesar pentru a menține constant echilibrul lichid-vapori. Soluția de automatizare adoptată în cadrul acestui exemplu este aceea de modificare controlată a ariei de transfer termic a condensatorului, prin modificarea nivelului de lichid din condensator.

Exemplul 1.3. Automatizarea instalației de cracare catalitică.

Procesul de cracare catalitică este destinat fabricării în principal de benzine cu cifra octanică ridicată (85-95 COR) precum și de hidrocarburi parafinice și olefinice cu masă moleculară redusă (propenă, propan, butene, butani etc). Materia primă utilizată este distilatul de vid, amestec de hidrocarburi grele având limitele de distilare între 350 și 540 °C. De asemenea se mai folosesc motorine grele de distilare atmosferică, distilate grele de cocsare etc.

Blocul de reacție al instalației are două componente: reactorul și regeneratorul. În reactor au loc reacțiile de cracare ale materiei prime în prezența catalizatorului sub forma de granule fine. În sistemul de cicloane catalizatorul uzat este separat de produsele de reacție aflate în fază gazoasă. Ulterior, cocsul depus pe catalizator este îndepărtat prin ardere în regenerator, rezultând energie care este recuperată prin generare de abur.

Produsele de reacție obținute în reactor sunt: benzina, gazele de cracare, motorina, distilatele grele și cocsul. Principalul produs obținut este benzina (50-60 % volum și 85-95 COR). Gazele de cracare conțin 70-80 % masă hidrocarburi C₃-C₄. Distilatele grele care rezultă din proces sunt parțial recirculate sau sunt utilizate pentru

obținerea negrului de fum. Cocsul obținut prin reacția de cracare se depune pe catalizator, scăzând activitatea chimică a acestuia.

Un exemplu de structură de conducere a blocului de reacție al instalației de cracare catalitică este prezentat în figura 1.10 [5, 6, 16]. Mărimile care caracterizează sistemul chimic sunt: $Y^T = [T_R, c_R, c_{reg}, T_{reg}]$; $U^T = [Q_{mp}, T_{mp}, Q_{ab}, Q_{aer}, a, Q_{rec}]$; $P^T = [d_{mp}, c_{sulf}, T_{mv}]$. Semnificația tehnologică a notațiilor este următoarea: T_R - temperatura în reactor; c_R - concentrația produselor de reacție la ieșirea din reactor; c_{reg} - concentrația cocsului la ieșirea din regenerator; T_{reg} - temperatura în regenerator; Q_{mp} - debitul de materie primă; T_{mp} - temperatura materiei prime la ieșirea din cuptor; Q_{ab} - debitul de abur; Q_{aer} - debitul de aer la regenerator; a - raportul de contactare catalizator/materie primă; Q_{rec} - debitul de motorină recirculată; d_{mp} - densitatea materiei prime; c_{sulf} - concentrația sulfurii în materia primă; T_{mv} - temperatura medie volumetrică a materiei prime.

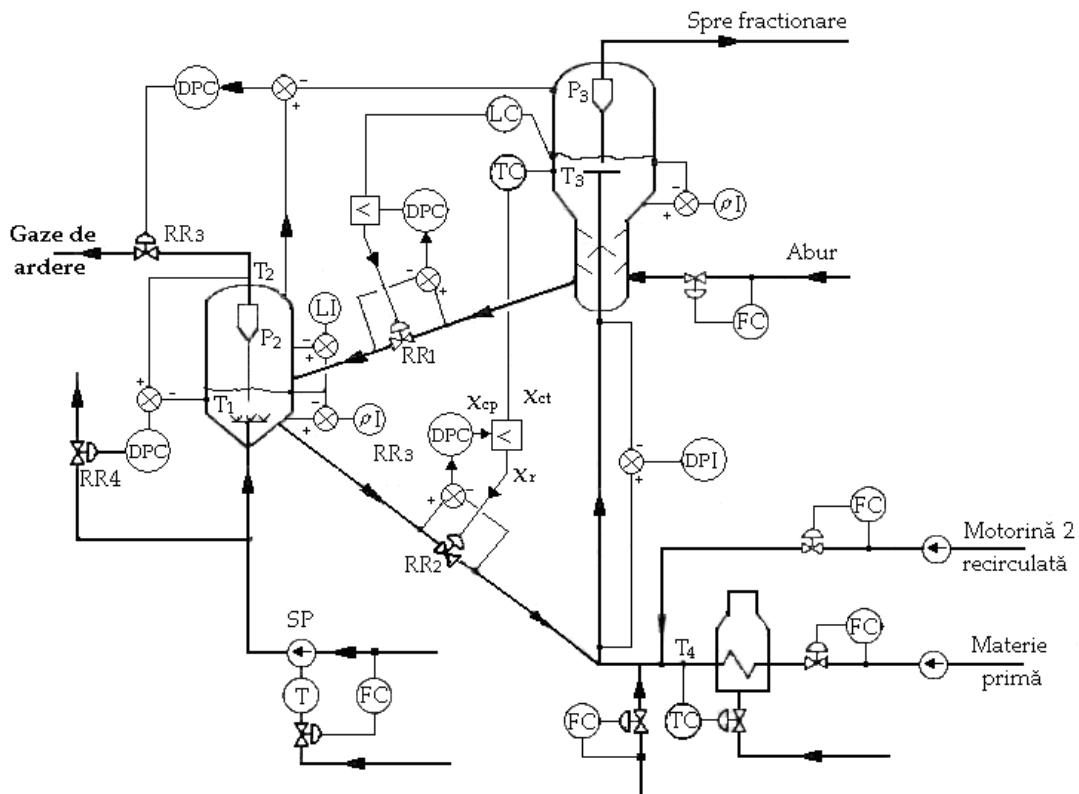


Fig. 1.10. Automatizarea blocului de reacție de la instalația de cracare catalitică.

Reglarea subsistemului reactor - regenerator presupune menținerea constantă a compozițiilor fluxurilor materiale care părăsesc sistemul: produsele de reacție, gazele de ardere, catalizatorul uzat și catalizatorul regenerat. Dintre aceste compoziții doar compoziția gazelor de ardere poate fi măsurată în flux în condiții tehnico-economice. În această situație, menținerea stării dorite a subsistemului reactor-regenerator poate fi realizată prin reglarea altor mărimi, în speță temperatura și presiunea în reactor și regenerator.

Structura sistemului automat prezentat în figura 1.10 conține un număr de 6 sisteme de reglare automată. Sistemul de reglare a temperaturii în reactor are ca agent de reglare fluxul de catalizator regenerat, al cărui debit este modificat prin intermediul robinetului RR₂. Comanda robinetului de reglare este transmisă prin intermediul unui selector de semnal minim, cu scopul de a preveni apariția circulației inverse prin sistemul reactor-regenerator.

Nivelul fazei dense de catalizator din reactor este reglat cu ajutorul fluxului de catalizator uzat, care circulă spre regenerator. Și în acest caz, comanda robinetului de reglare RR₁ este transmisă printr-un selector de semnal minim, cu scopul de a preveni apariția circulației inverse prin sistemul reactor-regenerator.

Urmărirea deschiderii robinetelor de reglare RR₁ și RR₂ este realizată cu ajutorul unor sisteme de reglare a diferenței de presiune pe robinet [5]. Pierderea de presiune este minimă la deschiderea completă și maximă la închiderea completă. Regulatorul de presiune diferențială are o prescriere fixată la o valoare inferioară deschiderii complete, de exemplu 90%. Atunci când deschiderea robinetului este mai mare de 90%, comanda x_{CP} a regulatorului de presiune diferențială scade, devine mai mică decât x_{CT} , iar selectorul de semnal minim realizează $x_C = \min\{x_{CP}, x_{CT}\} = x_{CP}$. Prin aceasta sistemul de reglare de la nivelul ierarhic superior va fi deconectat iar deschiderea robinetului de reglare va fi menținută la valoarea de 90%.

Diferența de presiune dintre regenerator și reactor este menținută la o valoare constantă, impusă de condițiile de circulație normală a catalizatorului în sistem. Micșorarea diferenței de presiune sub o anumită limită produce dificultăți în transportul catalizatorului, care pot duce la schimbarea sensului de circulație al catalizatorului și implicit la explozia instalației.

Procesul de ardere din regenerator este reglat cu ajutorul unui sistem de reglare a diferenței de temperatură dintre faza densă și gazele de ardere. Agentul de reglare este debitul de aer eșapat în atmosferă, variația acestuia ducând la transformarea controlată a monoxidului de carbon în dioxid de carbon.

Exemplul 1.4. Automatizarea instalației de producere a uleiurilor minerale

Procesul de producere a uleiurilor minerale este un proces discontinuu, realizat în autoclave. În figura 1.11 este prezentat un exemplu de automatizare al unor autoclave destinate producerii uleiurilor minerale. Sistemul de automatizare al autoclavelor este compus din următoarele subsisteme:

- a) Subsistemul de robinete de izolare a circuitelor tehnologice.
- b) Subsistemul de reglare a temperaturii autoclavelor.
- c) Subsistemul de reglare al turației agitatorului autoclavei.

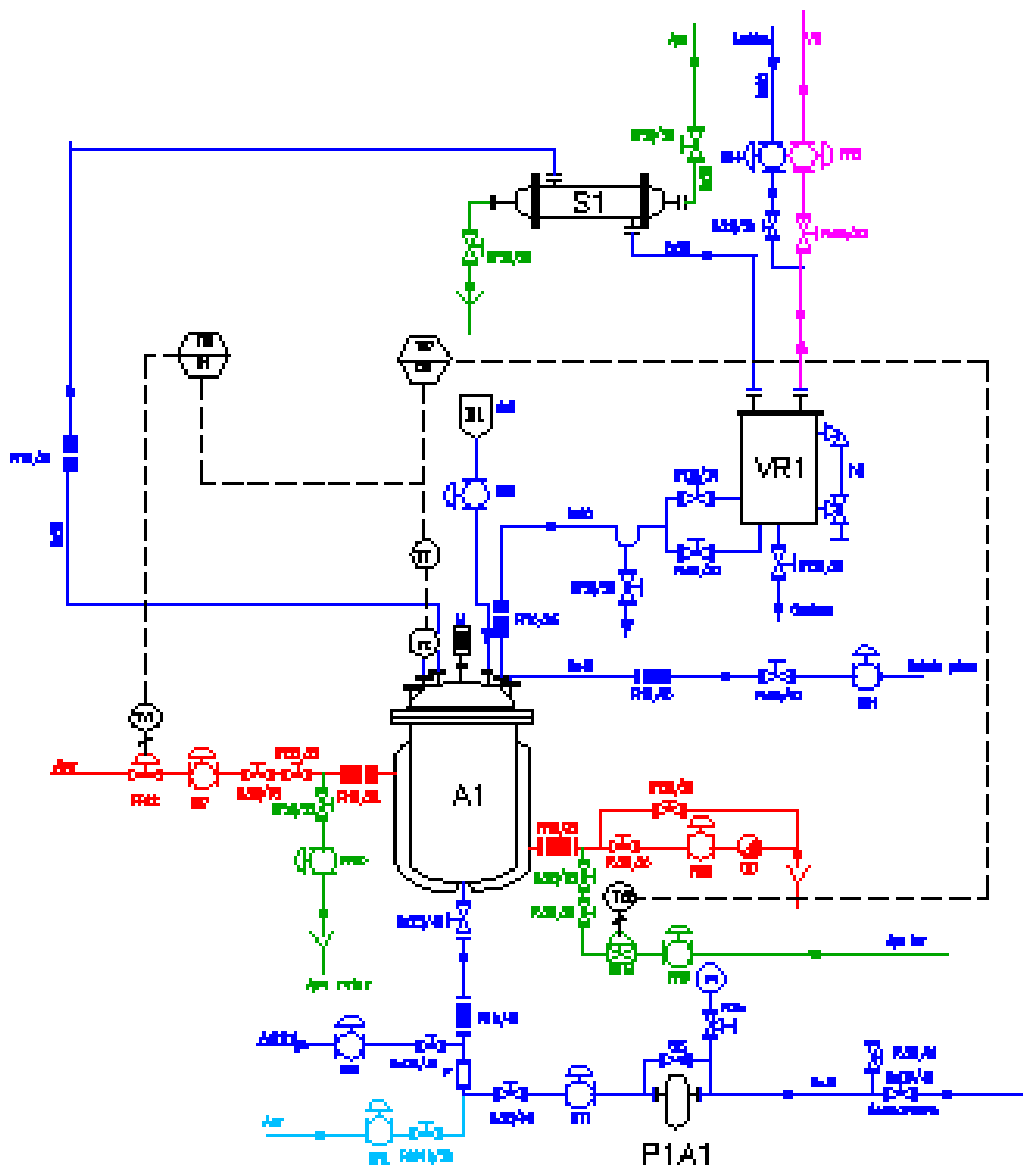


Fig. 1.11. Structura de automatizare a procesului discontinuu de producere a uleiurilor minerale.

Subsistemul de robinete de izolare a circuitelor tehnologice este impus de caracterul discontinuu al procesului și de existența a mai multor faze de producție. Sistemul prezentat în figura 1.11 cuprinde următoarele circuite tehnologice echipate cu sisteme de izolare a circuitelor, comanda de tipul INCHIS-DESCHIS (DA/NU) asociată robinetelor de izolare fiind elaborată de către un programator numeric, în funcție de faza în care se găsește în derulare procesul:

- Circuitul de alimentare al materiei prime (uleiul) este prevăzut cu un robinet cu bilă, RR1.
- Circuitul de aer este de asemenea prevăzut cu un robinet cu bilă, ce realizează izolarea circuitului de aerare, RR2.
- Circuitul de vid este prevăzut cu un robinet cu bilă, RR3.

- d) Circuitul de aerare al autoclavei este prevăzut cu robinetul cu bilă RR4.
- e) Circuitul de alimentare cu sulf este operat prin intermediul robinetului cu bilă RR5.
- f) Circuitul de alimentare cu aditivi este prevăzut cu un singur robinet cu bila cu comandă automată pentru izolarea circuitului de alimentare cu aditivi, RR6.
- g) Circuitele aburului către mantaua de încălzire/răcire a autoclavei. Acest circuit este prevăzut cu două robinete cu bilă, un robinet fiind montat pe linia de intrare a aburului în manta, RR7, iar cel de al doilea fiind montat pe linia de condens, având poziția de montaj în amonte de oala de condens, RR8.
- h) Circuitul apei de răcire la mantaua de încălzire/răcire a autoclavei este prevăzut de asemenea cu două robinete cu bilă. Un robinet este montat pe linia de intrare a apei în manta, RR9, iar cel de al doilea este montat pe linia de evacuare a apei, RR10.
- i) Circuitul produsului tehnologic este prevăzut cu un robinet cu bilă, în scopul izolării circuitului de evacuare a produsului, RR11.

Subsistemul de reglare a temperaturii autoclavelor este alcătuit dintr-un traductor de temperatura tip termocuplu, un adaptor de tensiune-curent, două regulatoare de temperatură și două robinete de reglare. Sistemul trebuie să asigure încălzirea progresivă a autoclavei, respectând un gradient de temperatură impus, prin intermediul regulatorului TIC-01. După atingerea temperaturii de operare în perioada de încălzire prestabilită, sistemul numeric de conducere va trece la faza de reglare a temperaturii atinse de masa de reacție, fază asigurată de regulatorul TIC-01. După trecerea perioadei impuse pentru reacție, sistemul numeric va comuta pe răcirea progresivă a mediului de reacție, oprind alimentarea cu abur, decomprimând mantaua autoclavei și așteptând evacuarea condensului. După consumarea acestei faze, sistemul numeric de conducere va comanda creșterea progresivă a debitului de apă de răcire și menținerea temperaturii impuse mediului de reacție, fază realizată de regulatorul TIC-02. Primul robinet de reglare este montat pe linia de alimentare cu abur, RR12, înaintea robinetului de izolare RR7. Cel de al doilea robinet de reglare este montat pe linia de apă de răcire, RR13, înaintea robinetului de izolare RR9.

Sistemul de reglare al turației agitatorului autoclavei este impus de obținerea unei turații constante, a cărei valoare este dependentă de faza de lucru. Pentru realizarea acestui sistem sunt necesare elementele: traductor de turație, regulator, convertizor static de frecvență și motor electric trifazat.

1.3. Etapele proiectării unui sistem de conducere a proceselor chimice

Un proces chimic este constituit dintr-o succesiune de operații unitare (acumulare de lichid, acumulare de gaz, transfer de masă, transfer de căldură, reacții chimice). Structura a unui proces chimic este descrisă în figura 1.12. Mărimile de intrare ale procesului chimic sunt împărțite în mărimi de execuție sau agenți de reglare și mărimi perturbatoare sau perturbații. Mărimile de ieșire sunt clasificate în mărimi de ieșire măsurabile și mărimi de ieșire nemăsurabile. Creșterea performanțelor economice ale unei instalații industriale, depinde în cea mai mare măsură de strategiile de control aplicate acesteia. Identificarea celei mai eficiente strategii de control presupune abordarea ierarhică a activităților de proiectare a structurii de reglare asociată unei instalații chimice. Practic, această abordare desemnează o metodologie de proiectare a strategiilor de reglare, bazată pe decizii structurale. Deciziile structurale includ atât alegerea sau amplasarea agenților de reglare și a variabilelor de măsurare cât și descompunerea problemei de reglare a întregii instalații în subprobleme mai ușor de rezolvat.

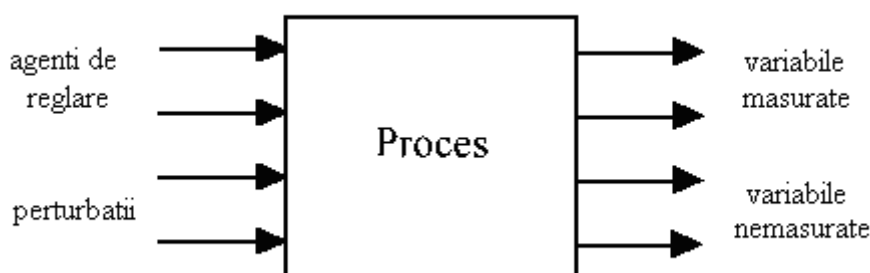


Fig. 1.12. Structura unui proces chimic.

Dezvoltarea unei strategii de reglare constă în parcurgerea anumitor etape. În general, principalele etape importante ale unei strategii de control sunt următoarele:

- I. Specificarea obiectivelor structurii de reglare ce urmează a fi proiectată
 - a) Cunoașterea capacității de producție a instalației și a obiectivelor de reglare;
 - b) Identificarea restricțiilor;
- II. Analiza de sus în jos (top-down)
 - a) Identificarea variabilelor procesului, a gradelor de libertate, a structurii de reglare și a opțiunilor de descompunere;
 - b) Stabilirea întregii structuri de reglare (într-o formă conceptuală);
- III. Proiectarea de jos în sus (up-down)
 - a) Dezvoltarea unei strategii de reglare;
 - b) Examinarea eventualelor strategii de reglare avansată ce pot fi aplicate procesului;
 - c) Evaluarea beneficiilor economice;

IV. Validarea structurilor de reglare propuse

- a) Stabilirea performanțelor reglatoarelor și a mărimilor de execuție;
- b) Verificarea reglatoarelor asociate proceselor individuale;
- c) Verificarea consecințelor restricțiilor și perturbațiilor;
- d) Simularea performanțelor sistemului de reglare pentru o gamă largă de condiții.

În cele ce urmează vor fi prezentate și detaliate aceste etape.

1. Formularea obiectivelor reglării. Un prim pas pregătit al etapei de proiectare a structurii de reglare a unui proces este cunoașterea *obiectivelor de reglare și de operare a unei instalații*. Formularea obiectivelor reglării poate fi realizată prin următoarele metode:

- descompunere bazată pe procese unitare și stabilirea celei mai bune structuri de reglare pentru fiecare proces unitar în parte (metoda clasică);
- analiza de sus în jos a procesului;
- proiectarea de sus în jos a sistemelor de reglare;
- metoda PlantWide Control.

Metoda clasică constă în descompunerea instalației chimice în procese unitare și automatizarea fiecărui proces unitar în parte. Astfel, dacă o instalație are în structura sa un cuptor tubular, un reactor chimic și un sistem de coloane de fracționare, toate aceste utilaje asociate proceselor unitare corespunzătoare vor fi automatizate individual, fără a ține cont de relația și interacțiunea dintre ele. Această abordare a problemei reglării este deficitară, deoarece, datorită unor conflicte între obiectivele reglării fiecărui proces unitar pot apărea conflicte între sistemele de reglare.

Metoda analizei de sus în jos implică alegerea de sus în jos a variabilelor (reglate, măsurate și de execuție) și stabilirea ulterioară a structurilor de reglare aferente instalației. Principalele etape sunt detaliate în tabelul 1.1.

Proiectarea de sus în jos reprezintă o tratare a activităților de reglare într-o manieră ierarhică. Acest pas implică atât proiectarea unor bucle de reglare pentru stabilizarea instalației, cât și eliminarea efectului perturbațiilor asupra ieșirilor. Tabelul 1.2 prezintă principalele etape ale fiecărei faze.

Metoda PlantWide Control permite abordarea reglării proceselor chimice complexe, procese caracterizate prin existența reciclurilor de materiale sau de energie. Conceptul PlantWide Control reprezintă o nou mod de stabilire a structurii de reglare a instalațiilor chimice cu structura complexă, instalația fiind subiectul analizei procedurii de sinteză a structurii de reglare. PlantWide Control este utilizat numai în domeniul strategiei de conducere a proceselor chimice.

Tabelul 1.1.

Etape și operații din cadrul metodei de analiză de sus în jos

Etapa	Operații
Identificarea variabilelor procesului, a mărimilor măsurate, a structurii de reglare și a opțiunilor de descompunere	Selectarea variabilelor reglate
	Identificarea variabilelor măsurate din proces
	Selectarea mărimilor de execuție potențiale
	Realizarea unei analize preliminare a gradelor de libertate a reglării (comparație între numărul de mărimi de execuție și numărul variabilelor de reglare)
	Determinarea principalelor perturbații
	Realizarea unei analize bazate pe modelul în regim staționar, selectarea finală a mărimilor de reglare și de execuție, și evaluarea posibilității descompunerii problemei de reglare
Stabilirea într-o formă conceptuală a întregii structuri de reglare	Determinarea structurii de reglare a debitului fiecărui produs
	Stabilirea tipului de structură de reglare ce va fi utilizată pentru reglarea calității produselor
	Stabilirea tipului de structură de reglare ce va fi utilizată pentru reglarea fluxurilor de recirculare și a compoziției produselor
	Stabilirea structurii de reglare pentru îndeplinirea restricțiilor impuse procesului
	Stabilirea structurii de reglare ce va elimina efectele perturbațiilor

Tabelul 1.2.

Etape și operații din cadrul metodei de proiectare de sus în jos

Etapa	Operații
Proiectarea buclelor de reglare	Determinarea structurilor de reglare pentru bilanțurile materiale și energetice
	Determinarea structurii de reglare pentru compensarea perturbațiilor
Examinarea eventualelor strategii de reglare avansată ce pot fi aplicate	Evaluarea reglării descentralizate, utilizată în cazul în care procesul nu manifestă interacțiuni și restricțiile nu se modifică
	Aplicarea structurilor multivariabile pentru îmbunătățirea performanțelor proceselor cu interacțiuni și pentru urmărirea modificărilor restricțiilor

Acest concept poate fi privit ca o modalitate utilizată în proiectarea structurii de conducere a proceselor chimice. Larsson și Skogestad au propus următoarea definiție a conceptului PlantWide control:

„PlantWide Control se referă la deciziile structurale și strategice implicate în proiectarea sistemului de reglare a unei instalații chimice complete (chiar a unei întregi fabrici), iar proiectarea structurii de reglare este abordarea sistematică (matematică) pentru rezolvarea acestei probleme”.

De exemplu, analiza sistemică a unei instalații de izomerizare pe baza conceptului PlantWide Control a identificat următoarele etape:

- a) reprezentarea intrare-ieșire a sistemului chimic;
- b) identificarea subsistemelor și reprezentarea interacțiunilor dintre acestea;
- c) tratarea interacțiunilor între subsistem și specificarea restricțiilor;
- d) elaborarea structurii de reglare aferente fiecărui subsistem izolat;
- e) bilanțarea automată a instalației.

2. Identificarea variabilelor de ieșire. Acestea pot fi clasificate în variabile măsurabile și variabile nemăsurabile. Variabilele măsurabile sunt acele variabile pentru care există în prezent traductoare destinate măsurării acestora. Unele variabile măsurabile nu pot fi măsurate datorită costului excesiv al sistemelor de măsurat. În această situație este inclusă măsurarea concentrației, care este deseori prohibitivă și ca atare nu este utilizată. Măsurarea concentrației este recomandată pentru coloanele de fracționare care separă produse finite destinate comercializării directe.

După criteriul continuității în timp, variabilele măsurabile pot fi continue sau discrete, necesitând utilizarea unor tipuri de traductoare specifice. În cadrul variabilelor continue în timp sunt incluse debitul, temperatura, presiunea, nivelul, concentrația. Variabilele discrete sunt variabilele logice, măsurate cu ajutorul unor senzori specifici. Exemple de astfel de variabile sunt: un anumit nivel (minim sau maxim), o anumită presiune, existența fenomenului de curgere, existența flăcării în cuptoare.

După modul de transmisie al semnalelor generate de traductoare putem avea semnale analogice de tipul 4-20 mA sau 0-5V și semnale numerice transmise prin protocoalele de comunicație serială (RS485, HART) sau în rețea (PROFIBUS, FIELDBUS).

3. Identificarea variabilelor de intrare. Acestea pot fi clasificate în perturbații și agenți de reglare. Selecția agenților de reglare trebuie realizată în funcție de disponibilitatea fluxurilor, amplificarea realizată asupra procesului și nu în ultimul rând de gradul de disponibilitate și mărimea fluxului respectiv. Această operație trebuie realizată în urma modelării și simulării statice și dinamice a procesului chimic.

Perturbațiile unui proces chimic sunt împărțite în perturbații măsurabile și perturbații nemăsurabile. Măsurarea unei perturbații poate fi realizată numai dacă această mărime poate da indicații utile operatorului sau dacă mărimea intervine în cadrul unui algoritm de reglare evoluat. Toate variabilele de intrare pot avea variații continue sau discontinue.

4. Identificarea restricțiilor. Orice proces chimic este caracterizat prin restricții. Acestea pot fi clasificate în restricții rigide (hard) și restricții ușoare (soft).

Un exemplu de restricție hard o constituie valoarea minimă sau maximă a unui debit, valoare generată de poziția total închis sau total deschis a robinetului de reglare. Un alt exemplu de restricție hard o reprezintă calitatea stipulată într-un contract comercial pentru un produs obținut într-o coloană de fracționare. Valoarea calității specificate în contract nu poate fi încălcată deoarece acest fapt va duce la respingerea produsului, încadrarea acestuia într-o altă calitate sau la mărirea cheltuielilor de producție.

Un exemplu de restricție soft o constituie tot compoziția unui produs obținut într-o coloană de fracționare, specificată printr-un interval de valori, $x_{inf} \leq x \leq x_{sup}$. Aceasta compoziție poate avea valori situate în domeniul de valori acceptat, procesul desfășurându-se în parametrii normali.

5. Caracterizarea modului de operare. În funcție de structură, procesul chimic poate fi operat în mod continuu, semi-continuu sau discontinuu.

Procesele continue sunt reprezentate prin distilare atmosferică, reformare catalitică, cracare catalitică. Pentru aceste procese sunt utilizate sisteme automate prevăzute cu traductoare pentru variabile continue în timp. Procesele sunt operate pe perioade mari de timp, în condiții cvasi-constante, regimurile staționare fiind foarte importante iar performanțele tehnico-economice fiind în strânsă legătură cu aceste regimuri. Pentru creșterea performanțelor acestor procese se recomandă proiectarea unor sisteme de reglare optimală, care să asigure funcționarea sistemului chimic la parametrii optimi. Exemplele de procese automatizate 1.1 – 1.3, exemple prezentate anterior, sunt încadrate în categoria automatizării proceselor continue.

Procesele discontinue sunt reprezentate de procesele cu reacție chimică care se desfășoară în șarje. Traductoarele utilizate în cadrul sistemelor automate sunt în special traductoare pentru variabile discrete dar sunt utilizate și traductoare pentru variabile continue în timp. Pentru procesele discontinue, factorul timp și rețeta de amestecare sunt cele mai importante elemente în desfășurarea acestora. De aceea sistemele automate sunt caracterizate prin: măsurarea debitului masic și a masei totale de reactant, programarea în timp a unor operații de introducere/amestecare a reactanților sau încălzire/răcire a reactorului, reglarea unui profil temporal al temperaturii în reactor. În exemplul 1.4 este prezentată automatizarea unei instalații operată discontinuu.

6. Siguranța în funcționare este o condiție obligatorie în operarea proceselor chimice. Siguranța instalației este realizată atât prin sisteme de automatizare dedicate cât și prin specificarea corectă a elementelor de automatizare din cadrul sistemelor de reglare. Astfel, la un cuptor tubular în caz de urgență este imperios necesară închiderea alimentării cu gaz combustibil, operație realizată prin specificarea normal închis a robinetului de reglare. Pentru un proces exoterm, la care este nevoie răcirea continuă, robinetul de reglare amplasat pe agentul de răcire va fi specificat normal deschis.

7. *Proiectarea structurii de reglare.* În funcție de particularitățile procesului chimic, se poate alege o structură clasică sau evoluată.

Structurile clasice cuprind sistemele de reglare monovariabile, cu acțiune după abatere, sistemele de reglare cu acțiune după perturbație și sistemele de reglare combinată. O structură generală a unui asemenea sistem automat este prezentată în figura 1.13.

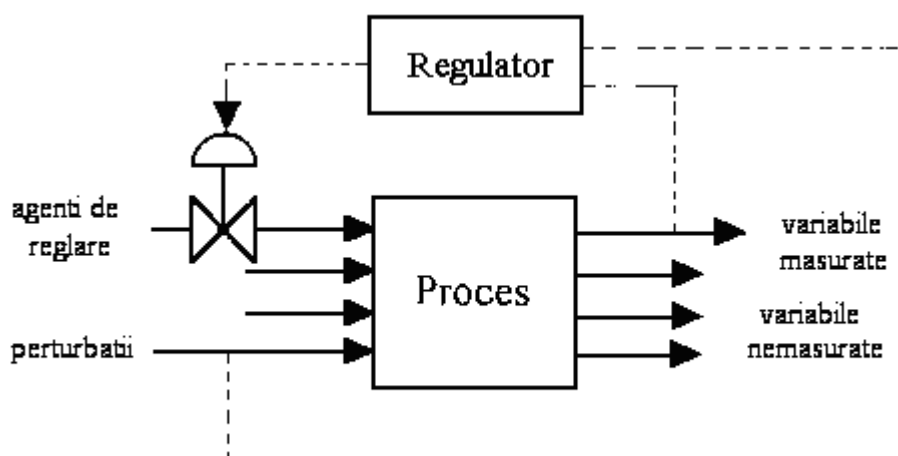


Fig. 1.13. Structura sistemului automat cu acțiune după abatere.

Structurile evolute conțin sisteme de reglare multivariabilă, sisteme de reglare cu model intern, sisteme de reglare predictivă și sisteme de reglare optimală, figura 1.14.

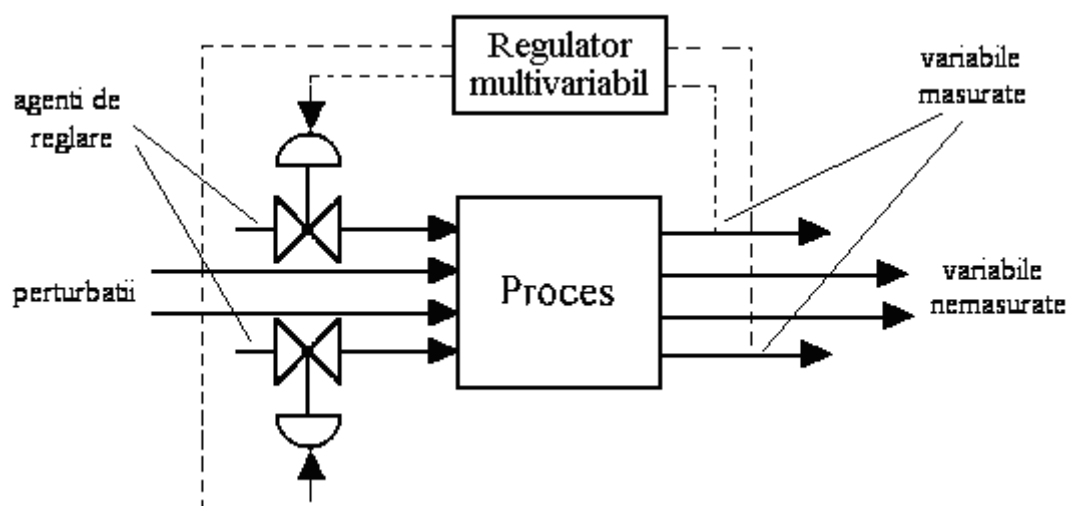


Fig. 1.14. Structura sistemului automat multivariabil.

1.4. Automatizarea proceselor tehnologice

Automatizarea unui proces tehnologic înseamnă dotarea instalațiilor cu mijloace tehnice necesare și folosirea optimă a acestor mijloace pentru efectuarea automată a operațiilor legate de conducerea procesului tehnologic. Principalele operații de automatizare dintr-o instalație chimică sunt următoarele [2]:

- măsurarea și/sau determinarea prin calcul a principalelor variabile ale procesului;
- semnalizarea depășirii limitelor inferioară și/sau superioară a anumitor variabile din proces;
- reglarea la o anumită valoare a uneia sau mai multor variabile de ieșire ale procesului;
- modificarea programată a unor variabile;
- menținerea unor variabile sau funcții de variabile la o valoare extremă;
- protecția instalației.

Automatizarea poate fi implementată în numeroase variante, în funcție de natura procesului automatizat, de gradul de cunoaștere a acestuia, de mijloacele tehnice avute la dispoziție, de gradul de pregătire a personalului de exploatare și întreținere.

În ceea ce privește reglarea clasică a proceselor se au în vedere următoarele tipuri de sisteme automate :

- sisteme de reglare cu acțiune după abatere;
- sisteme de reglare cu acțiune după perturbație;
- sisteme de reglare combinată.

1.4.1. Sisteme de reglare cu acțiune după abatere

Legea reglării după abatere. Sistemele automate din această categorie au proprietatea de a compara în permanență starea curentă cu starea de referință și atunci când constată apariția unor diferențe (abateri) între referință și starea curentă emit comenzi pentru eliminarea abaterilor.

Structura sistemului automat bazat pe legea reglării după abatere. În figura 1.5 este prezentată schema bloc a sistemului de reglare cu acțiune după abatere. Abaterile care intervin în starea sistemului automat se datorează acțiunii continue a perturbațiilor asupra procesului. În procesul de eliminare a abaterii, sistemul va atinge în final o nouă stare permanentă, caracterizată prin înlăturarea parțială sau completă a abaterii, în funcție de structura internă a sistemului automat.

Sistemele automate cu acțiune după abatere au implementate regulatoare ale căror algoritmi de reglare sunt relativ independenți de sistem. Structural, un regulator cu acțiune după abatere prezintă un element comparator *EC* și un bloc de calcul *BC*, figura 1.5.

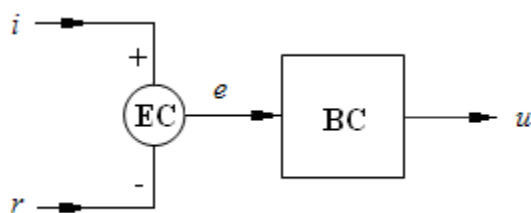


Fig. 1.5. Structura regulatorului cu acțiune după abatere.

Algoritmul elementului comparativ este dat de relația

$$e = \begin{cases} i-r; & K = \text{"direct"} \\ r-i; & K = \text{"invers"} \end{cases}, \quad (1.13)$$

în care e reprezintă eroarea iar K reprezintă starea comutatorului "DIRECT/INVERS".

Blocul de calcul BC elaborează comanda u după funcția $u = f(e)$. Dependent de structura funcției f , algoritmi de reglare pot fi liniari sau neliniari. Cei mai răspândiți algoritmi de reglare sunt: algoritmul proporțional **P**, algoritmul proporțional- integrator **PI** și algoritmul proporțional-integrator-derivator **PID**.

Algoritmul proporțional este descris în forma analogică de relația

$$u = u_0 + K_p e, \quad (1.14)$$

în care K_p reprezintă coeficientul de proporționalitate (coeficientul de amplificare).

Sub forma discretă, algoritmul regulatorului **P** devine

$$u_k = u_0 + K_p e_k, \quad (1.15)$$

unde k reprezintă momentul de timp la care se realizează eșantionarea, eroarea e_k fiind

$$e_k = i_k - r_k \quad (\text{"modul direct"}). \quad (1.16)$$

Algoritmul proporțional-integrator are următoarea expresie analogică

$$u = u_0 + k_p e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dt, \quad (1.17)$$

iar expresia discretizată are forma

$$u_k = u_0 + k_p e_k + \frac{\tau}{T_i} \sum_{j=0}^k e_j \quad (1.18)$$

unde τ reprezintă perioada de eșantionare.

Deoarece evaluarea sumei erorilor la fiecare iterație de calcul a comenzii u_k necesită un efort deosebit, se propune utilizarea relațiilor:

$$u_k = u_0 + k_p e_k + \frac{\tau}{T_i} (S_{k-1} + e_k); \quad (1.19)$$

$$S_k = S_{k-1} + e_k . \quad (1.20)$$

Un aspect important în funcționarea reguletoarelor industriale îl constituie saturarea comenzii, aceasta proprietate trebuind a fi transpusă și reguletoarelor software. În acest scop se utilizează schema de saturare din figura 1.16, în care valoarea reacției, a prescrierii și a comenzii este exprimată în %.

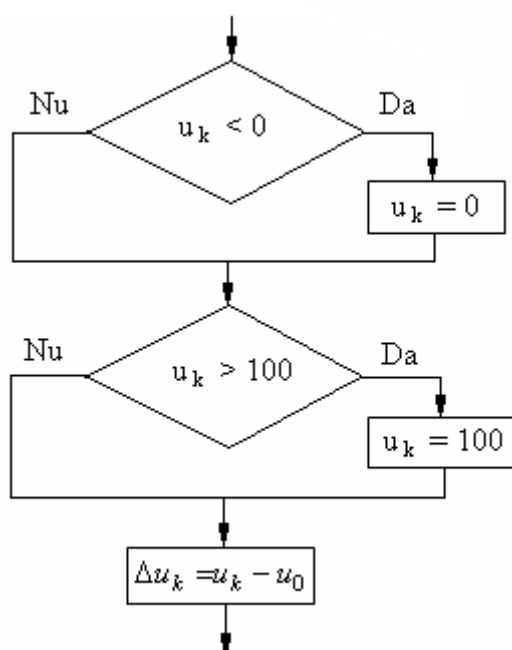


Fig. 1.16. Schema logica pentru saturarea comenzii regulatorului.

1.4.2 Sisteme de reglare cu acțiune după perturbație

Legea reglării după perturbație. Sistemele din aceasta categorie au proprietatea de a observa în permanență evoluția perturbațiilor și atunci când constată modificări ale acestora emit comenzi de compensare a efectului perturbațiilor, simultan cu acțiunea acestora, astfel încât starea curentă să nu se modifice în raport cu starea de referință.

Prin structura lor, sistemele automate bazate pe legea reglării după perturbație se bazează pe compensarea efectului perturbațiilor procesului. Luarea în considerare a perturbațiilor necesită cunoașterea modelului matematic de conducere al procesului, model ce sta la baza algoritmului de reglare după perturbație. Acest fapt conduce la specificitatea algoritmilor de reglare după perturbație în funcție de sistemul chimic pentru care sunt proiectați.

Structura sistemului automat bazat pe legea reglării după perturbație. În figura 1.17 este prezentată schema bloc a unui sistem de reglare cu acțiune după perturbație. Semnificația mărimilor este următoarea: P - proces; T - traductor; C - regulator; EE - element de execuție; i - mărime de referință; r - mărime de reacție; u - comandă; m - mărime de execuție; p - perturbație; y - mărime de ieșire;

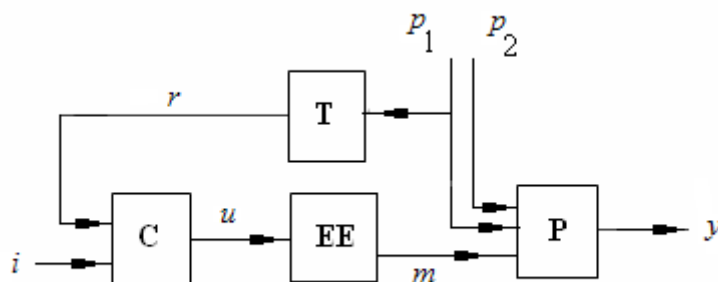


Fig. 1.17. Schema bloc a sistemului automat bazat pe legea reglării după perturbație.

Algoritmul de reglare cu acțiune după perturbație. Considerând variațiile mărimii reglate ca rezultând prin compunerea aditivă a efectelor perturbațiilor și comenzilor, rezultă posibilitatea divizării procesului pe două canale, figura 1.17. Pentru cazul proceselor liniare și aplicând teorema superpoziției, variația Δy a mărimii reglate este dată de

$$\Delta y = \Delta y_{p1-y} + \Delta y_{m-y} \quad (1.21)$$

în care Δy_{p1-y} și Δy_{m-y} reprezintă variațiile mărimii de ieșire pe canalul perturbație p_1 - ieșire, respectiv mărime de execuție - ieșire.

Esența reglării după perturbație presupune ca la modificarea perturbației luate în considerare, ieșirea rămâne neschimbată, $\Delta y = 0$, ceea ce conduce la

$$\Delta y_{p1-y} = -\Delta y_{m-y} \quad (1.22)$$

Relația (1.22) indică necesitatea existenței în regim dinamic a unor efecte egale și de semn contrar, asociate celor două canale. Această consecință conduce la proiectarea regulatorului cu acțiune după perturbație, respectiv la calculul funcției de transfer $H_C(s)$ a acestuia. Având în vedere reprezentarea din figura 1.17 rezultă succesiv:

$$U(s) = H_C(s) * P_1(s); \quad (1.23)$$

$$Y_{p1-y}(s) = H_{p1-y}(s) * P_1(s); \quad (1.24)$$

$$Y_{m-y}(s) = H_T(s) * H_C(s) * H_{EE}(s) * H_{m-y}(s) * P_1(s); \quad (1.25)$$

respectiv

$$H_C(s) = - \frac{H_{p1-y}(s)}{H_T(s) * H_{EE}(s) * H_{m-y}(s)} \quad (1.26)$$

în care $H_{p1-y}(s)$ și $H_{m-y}(s)$ sunt funcțiile de transfer aferente celor două canale ale procesului.

Concluzie: *Determinarea algoritmului de reglare cu acțiune după perturbație implică cunoașterea modelului procesului pe cele două canale.*

În cazul în care funcțiile de transfer pentru cele două canale nu pot fi determinate, algoritmul de reglare după perturbație se descompune în două componente: o componentă a regimului staționar și o componentă a regimului dinamic.

Modelul matematic al procesului poate fi exprimat prin relații de tipul

$$\begin{cases} G(u, p, y) = 0 \\ H(u, p, y) \leq 0 \end{cases} \quad (1.27)$$

În regim staționar, mărimea de ieșire este egală cu mărimea prescrisă, respectiv $y = i$. Substituind formal mărimea prescrisă în locul mărimii de ieșire se poate obține o relație care reprezintă componenta staționară a algoritmul de reglare cu acțiune după perturbație

$$u_s = F(p, i). \quad (1.28)$$

Componenta dinamică poate avea forma ecuației diferențiale

$$a_u \frac{du}{dt} + u = u_s(t - \tau) \quad (1.29)$$

unde τ reprezintă timpul mort al procesului pe canalul mărime de execuție-mărime de ieșire.

Exemplul 1.5. Reglarea după perturbație a unui schimbător de căldură.

Se considera un schimbător de căldură utilizat la încălzirea unui produs cu debitul Q_p și temperatura de intrare T_{in} . Produsul nu suferă transformare de fază. Agentul termic este aburul caracterizat prin debitul Q_a . În regim staționar procesul descris prin modelul

$$Q_a r_a = Q_p c_p (T_{ies} - T_{in}). \quad (1.30)$$

Din punct de vedere al conducerii automate, sistemul chimic este caracterizat de următoarele mărimi: $y = [T_{ies}]$; $u = [Q_a]$; $p = [Q_p, T_{in}, r_a]$. Relația (1.30) permite exprimarea explicită a comenzii u

$$u = Q_a = \frac{Q_p c_p (T_{ies} - T_{in})}{r_a}. \quad (1.31)$$

Pentru ca relația (1.31) să poată fi utilizată drept algoritm de reglare, se impune ca în regim staționar $y = i$, respectiv $T_{ies} = T_{ies}^i$. Introducând prescrierea T_{ies}^i a sistemului automat de reglare a temperaturii, algoritmul de reglare în regim staționar devine

$$Q_{a,s} = \frac{Q_p c_p (T_{ies}^i - T_{in})}{r_a}. \quad (1.32)$$

În regim dinamic, algoritmul de reglare are forma

$$a \frac{dQ_a}{dt} + Q_a = Q_{a,s}(t - \tau). \quad (1.33)$$

În figura 1.18 este prezentată structura sistemului automat.

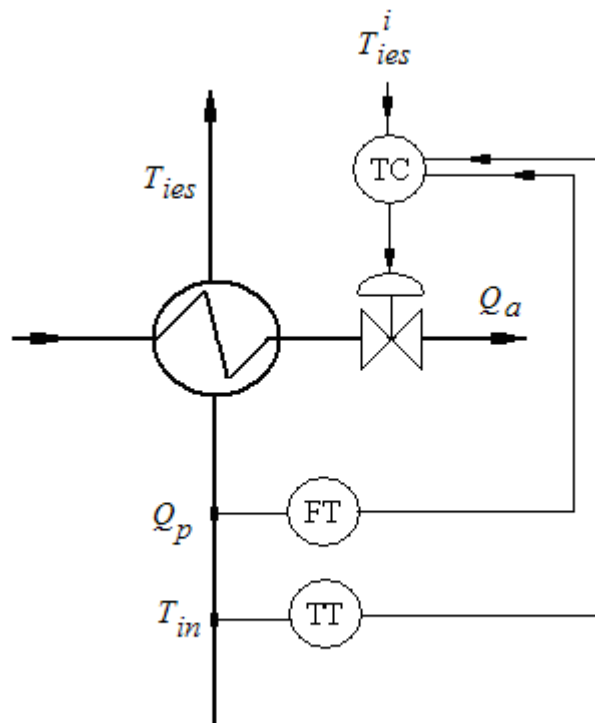


Fig. 1.18. Sistemul automat de reglare cu acțiune după perturbație pentru un schimbător de căldură.

1.5. Proiectarea sistemelor pentru reglarea parametrilor proceselor

Prin parametrii proceselor se înțeleg uzual mărimile tehnologice debit, nivel, presiune, temperatură și concentrație. În cele ce urmează vor fi prezentate exemple de sisteme automate pentru fiecare dintre parametrii enumerați anterior.

1.5.1. Standarde privind reprezentarea grafică a sistemelor automate

Standardul STAS 6755-81, Semne convenționale și simboluri literale, definește modul de reprezentare a elementelor de măsurare și reglare în schemele de automatizare a proceselor tehnologice [19]. Standardul este aplicat în domeniul automatizării instalațiilor din industria chimică, extracția și prelucrarea petrolului, energetică etc. Cunoașterea simbolurilor grafice din schemele de conducte și automatizare (scheme PI&D- **P**ipe and **I**nstrument **D**rawing) a unor instalații industriale, au rolul de a realiza un limbaj comun între personalul tehnic, desenator, proiectant și personalul de întreținere a unei instalații industriale.

Standardul definește următoarele elemente ale unui sistem de măsurare și reglare:

1. **Element primar**: Parte a buclei sau a aparatului care percepe valoarea variabilei de proces și care presupune o stare sau ieșire inteligibilă și predeterminată în mod corespunzător. Elementul primar poate fi separat sau integrat cu alte elemente funcționale ale buclei. Elementul primar mai este cunoscut sub numele de detector sau senzor.
2. **Transmiter**: Dispozitiv care percepe o variabilă de proces prin intermediul unui element primar și are o ieșire a cărei valoare de stare permanentă variază numai după o funcție predeterminată a variabilei de proces. Elementul primar poate fi încorporat în transmiter.
3. **Element de execuție**. Dispozitiv care transpune acțiunea sistemului automat asupra procesului.


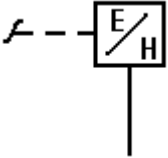
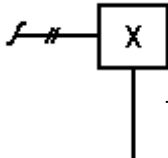
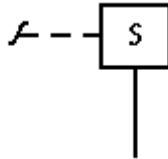
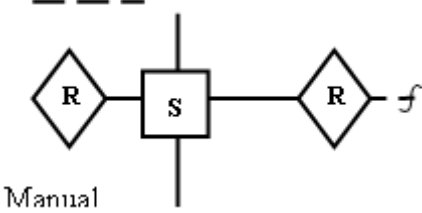
Modul de identificare a aparatelor. Fiecare aparat va fi identificat printr-un sistem ce conține:

- identificarea tipului de aparat;
- identificarea locului de montaj;
- identificare funcțională;
- identificarea buclei de măsurare și reglare.

Identificarea tipului de aparat este definită prin simboluri grafice. În tabelul 1.3 sunt prezentate codificările grafice ale elementelor de acționare (element de acționare manuală, solenoid, etc). Tabelul 1.4 descrie simbolurile grafice asociate dispozitivelor de acționare în cazul dispariției alimentării cu agent energetic.

Tabelul 1.3

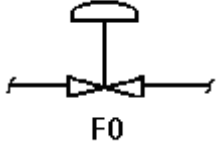
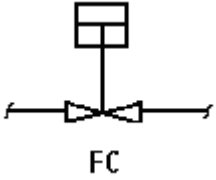
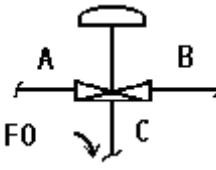
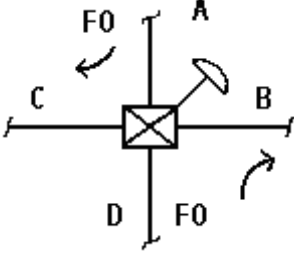
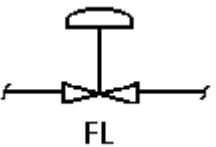
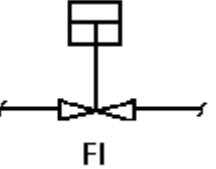
Codificarea semnelor convenționale pentru elementele de acționare

Semn convențional	Denumire
	Element de acționare manual
	Element electrohidraulic
	Element neclasificat (tipul elementului de acționare se va scrie în sau adiacent la semn)
	Solenoid
	Element de acționare cu zavorâre și rearmare de la distanță sau manuală

Tabelul 1.5 conține semnele convenționale pentru reglatoarele directe, robinete și alte dispozitive iar tabelul 1.6 este dedicat codificărilor grafice pentru elementele de acționare cu piston.

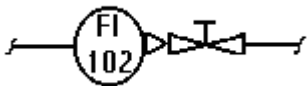


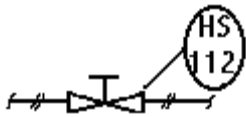
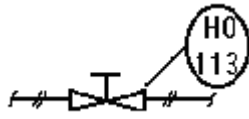

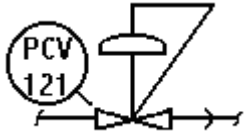
Tabelul 1.4

Semne convenționale pentru funcționarea dispozitivelor de acționare
în cazul dispariției alimentării dispozitivului

Semn convențional	Denumire
 <p style="text-align: center;">FO</p>	Robinet cu două căi, deschis la căderea alimentării
 <p style="text-align: center;">FC</p>	Robinet cu două căi, închis la căderea alimentării
 <p style="text-align: center;">FO</p>	Robinet cu trei căi, A-C deschis la căderea alimentării
 <p style="text-align: center;">FO</p>	Robinet cu patru căi, cu căile A-C și B-D deschise la căderea alimentării
 <p style="text-align: center;">FL</p>	Robinet blocat în poziția existentă în momentul dispariției alimentării
 <p style="text-align: center;">FI</p>	Robinet cu poziție nedeterminată la căderea alimentării

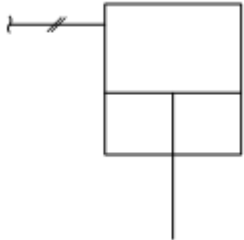
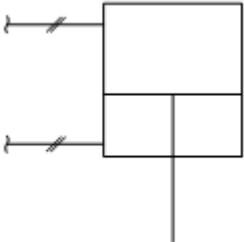
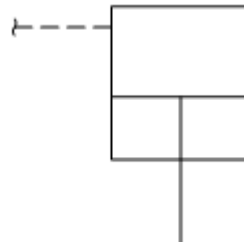
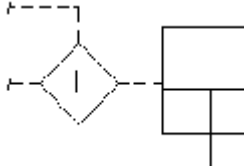
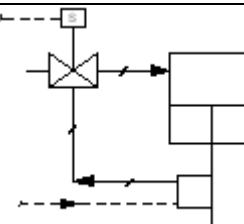
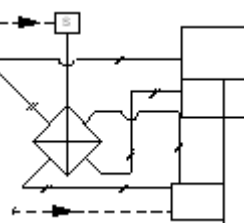
Tabelul 1.5

Semne convenționale pentru regulatoare directe, robinete și alte dispozitive

Semn convențional	Denumire
	Rotametrul indicator cu robinet de obturare manual integrat
	Regulator automat de debit cu indicator integrat. Dacă nu are indicator, simbolul e FCV-105
	Robinet de comandă manual
	Robinet închis-deschis acționat manual, pe linia de semnal pneumatic
	Orificiu de restricție ajustabil manual
	Regulator direct de nivel cu transmisie mecanică
	Regulator-reductor de presiune

Tabelul 1.6

Semne convenționale pentru elementele de acționare cu piston

Semn convențional	Denumire
	Cilindru fără poziționar sau alt pilot, cu acționare simplă
	Cilindru fără poziționar sau alt pilot, cu acționare dublă
	Cilindru asamblat cu pilot; ansamblu acționat de o intrare comandată
	Cilindru cu poziționar și robinet pilot cu acționare simplă, varianta 1
	Cilindru cu poziționar și robinet pilot cu acționare simplă, varianta 2
	Cilindru cu poziționar și robinet pilot cu acționare simplă, varianta 3

Identificarea locului de montaj este realizată prin semne convenționale specifice. În tabelul 1.7. sunt prezentate semnele convenționale utilizate pentru definirea aparatelor utilizate în cadrul sistemelor de măsurare, reglare și semnalizare.

Tabelul 1.7

Semne convenționale pentru elementele de măsură, reglare și comandă

Nr. Crt.	Denumire	Semn convențional
1	Aparat montat pe utilaj, aparat local	
2	Aparat montat pe tablou de ordinul 1 (tablou lângă agregat)	
3	Aparat montat pe tablou de ordinul 2 (tablou în camera de comandă dispecer 1)	
4	Aparat montat pe tablou de ordinul 3 (tablou de comandă, dispecer general)	
5	Aparate cu mai multe funcțiuni distincte din punct de vedere constructiv	
6	Simbolul calculatorului	
7	Ecran de supraveghere distribuită, afișare date, inaccesibil operatorului	
8	Ecran de supraveghere distribuită, controlare, înregistrare, sau alarmare, accesibil operatorului	

Identificarea funcțională este reprezentată printr-un sistem de litere, tabelul 1.8. Prima literă indică parametrul măsurat sau este un simbol de inițiere. A doua literă sau următoarele indică funcțiile aparatului individual. Într-o buclă de reglare, prima literă va fi aleasă ținând cont de variabila măsurată sau de inițiere și nu de variabila asupra căreia se acționează. Literele următoare ale identificării funcționale definesc una sau mai multe funcții de afișare, funcții pasive sau funcții de ieșire. Toate literele identificării funcționale vor fi scrise cu majuscule.

Identificarea buclei din care face parte aparatul se face printr-un număr. Fiecare buclă va avea un număr unic. Pentru toate buclele din schemă va fi utilizată o succesiune unică a numerelor de ordine a buclelor. Dacă o buclă are mai multe aparate cu aceeași funcție, se recomandă să se adauge un sufix la numărul buclei, de exemplu: TE-25-1, TE-25-2.

Fiecare element de automatizare va fi identificat printr-un sistem de litere reprezentând identificarea lui funcțională și un număr ce reprezintă identificarea buclei, figura 1.19. Acest număr va fi în general comun tuturor aparatelor dintr-o buclă.

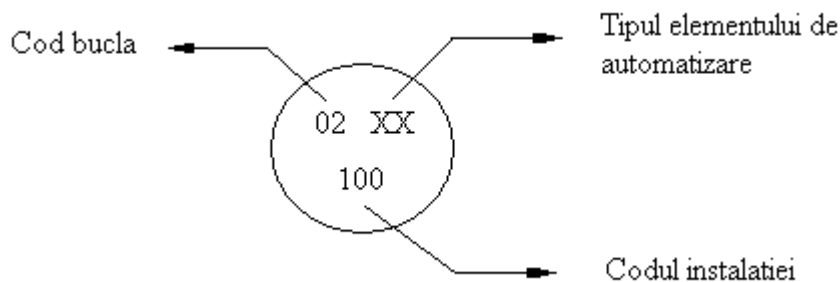

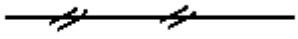

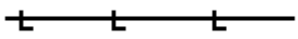
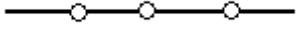


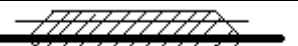



Fig. 1.19. Codul elementului de automatizare.

Semne convenționale pentru transmiterea informațiilor. Pentru stabilirea direcției fluxului de informației, se vor adăuga săgeți de direcționare a liniilor de semnal. În general, reprezentarea interconectării între două aparate pe scheme de flux se face printr-o singură linie de semnal, chiar dacă fizic aceasta se realizează prin mai multe linii. Succesiunea în care aparatele unei buclei sunt conectate pe schema de flux trebuie să reflecte logica funcțională și nu succesiunea de conectare a semnalului. Conexiunea între elementele de automatizare se face prin diferite tipuri de legături, semnificația legăturilor între acestea fiind prezentate în tabelul 1.9.

Tabelul 1.9

Simboluri de legătură

Simboluri grafice	Descrierea
	Linie de transmisie mecanică
	Semnal pneumatic
	Semnal electric
	Semnal hidraulic
	Semnal soft
	Simbolul conductei
	Conductă izolată
	Conductă cu încălzire – abur sau apă
	Conductă cu încălzire electrică

Standardul ISA-S5.3, Instrument Loop Diagrams. Standardul definește în 8 capitole principalele elemente grafice utilizate la proiectarea sistemelor de reglare automată [11].

1. Obiective

1.1 Instrucțiuni de bază. Acest standard ajută la înțelegerea utilizării instrumentelor pentru schematizare în proiectare, construcții, demararea unor proiecte, operații, întreținere și modificarea sistemelor de instrumentare.

1.2 Studiu aprofundat. Ghidul oferă suportul pentru înțelegerea instrumentelor pentru schematizare și îmbunătățește sistemul de comunicații între personalul tehnic, non-tehnic, managerial, operațional și de întreținere.

2. Scop

2.1 Informații suplimentare pentru scheme individuale. Aceasta lucrare stabilește cerințele minime informaționale și identifică informațiile opționale adiționale necesare pentru realizarea unei scheme tehnice a unui proiect

2.2 Adaptabilitate. Aceasta lucrare este utilă pentru următoarele domenii de activitate: chimie, petrol, energetică, aer condiționat, metalurgie și alte industrii.

2.3 Domenii specializate. Anumite domenii de activitate, cum este astronomia, transportul maritim și medicina, folosesc instrumente

specializate care diferă de instrumentele de procesare industriale convenționale. Acest standard este suficient de flexibil pentru a se adapta pentru orice domeniu.

3. Aplicații

3.1 Deservirea multor scopuri. Diagramele tehnice sunt utile pentru foarte multe scopuri. Câteva dintre acestea, prezentate mai jos, sunt utilizate cronologic în dezvoltarea unor proiecte.

3.2 Design.

- (1) Ilustrează filozofia controlului și confirmă corectitudinea datelor utilizate în proiect.
- (2) O extensie a Diagramelor de Proces și Instrumentație (DPI), care arată componentele și accesoriile schemei tehnice, a conexiunilor dintre dispozitive și identifică acțiunea componentelor.
- (3) Specificarea instrumentelor hard și realizarea unui necesar pentru aprovizionare.

3.3 Construcție.

- (1) Interconectarea panoului de comandă și diagrama de verificare.
- (2) Documentare și cerințe speciale pentru instalarea instrumentației.
- (3) Interconectarea instrumentației.
- (4) Verificarea schemei instrumentale.
- (5) Inspecție și documentație.

3.4 Demararea proiectelor

- (1) Analiză și calibrare realizate înainte de demararea proiectelor.
- (2) Suport pentru învățare și ajutor.

3.5 Operații

- (1) Mediul de comunicare între operații, întreținere și personalul ingineresc.
- (2) Dispozitiv de ajutorare pentru operații.

3.6 Întreținere

- (1) Probleme tehnice.
- (2) Calibrare.
- (3) Dispozitiv de întreținere folosit pentru prevenire și corectare.

3.7 Modificare

- (1) Rearanjare.
- (2) Reconstrucție.
- (3) Îmbunătățire.

4. Definiții

Acest ghid este o extensie a comunicărilor realizate de ISA – S5.1, simbolurile pentru instrumentație și identificare, alături de definițiile și standardizările din acele comunicări sunt aplicate începând de la data respectivă, reprezentând noul standard. Aceasta lucrare prezintă realizarea diagramelor tehnice, fără să aducă definiții noi.

5. Conținut

5.1 Date Generale. Instrumentele pentru schematizare sunt reprezentări ale informațiilor tehnice apărute într-o schema tehnică. Ele conțin toate conexiunile electrice și fizice, plus toate informațiile necesare pentru a crea o imagine de ansamblu cât mai fidelă realității. În cele ce urmează sunt prezentate cerințele minime și câteva opțiuni care pot fi folosite pentru a realiza schemele propuse.

5.2 Cerințele minime. Ca minim necesar, o diagramă tehnică trebuie să conțină următoarele:

- (1) Identificarea buclor tehnice și a componentelor acestora apărute în PI&D. Alte componente principale pot fi identificate folosind ISA – S5.1, *Simboluri pentru instrumentație și identificare*.
- (2) Cuvinte descriu funcțiile apărute pe diagramă. Dacă nu sunt suficiente cuvinte, este nevoie să fie utilizate note suplimentare.
- (3) Indicarea relațiilor dintre diferite bucle, incluzând comenzi de control, interconexiuni, legături în cascadă și circuite de control și de protecție.
- (4) Toate interconexiunile punct la punct se fac cu numere și culori diferite pentru fiecare cablu electric, conductori, multi-tuburi pneumatice sau pentru tuburi pneumatice și hidraulice. Aceasta identificare a interconexiunilor include joncțiunile, capetele terminale, membranele, porțile și legăturile la pământ.
- (5) Localizarea generală a elementelor precum: locul în care va fi realizat proiectul, panoul de comanda, echipament auxiliar, suportul fizic al sistemului, camera de comanda, camera de separare a cablurilor (separatorul), componenta care se ocupă cu funcțiile de intrare/iesire ale sistemului, etc.
- (6) Sursele de energie pentru componentele proiectului, cum ar fi: energia electrică, sursa de aer, sursa de presiune hidraulică. Identificarea tensiunilor, a presiunii și a altor cerințe aplicabile sistemului în cauză. Pentru surse electrice se identifică circuitele sau numerele de deconectare.
- (7) Liniile procesului și echipamentul necesar pentru a descrie comportarea buclei tehnice pentru o claritate cât mai bună în realizarea controlului. Analiza mărimilor ce necesită o măsurare sau a celor care trebuie controlate.
- (8) Acțiuni sau poziționări sigure pentru componentele de control cum ar fi regulatoarele, comutatoarele, valvele de control, valvele solenoidale și transmițătoarele. Acestea vor fi identificate în conformitate cu ISA - S5.1, *Simboluri pentru instrumentație și identificare*.

5.3 Informații opționale. Informațiile suplimentare sunt necesare pentru creșterea eficienței în acomodarea cu schemele realizate. Elementele următoare sunt exemple tipice pentru utilizarea lor în scopul ajutorării utilizatorilor.

- (1) Echipamente de proces, linii și numerele lor de identificare, surse, desemnări sau direcții de curgere.
- (2) Referințe către baze de date suplimentare (înregistrări și scheme), precum detalii de instalare, DPI, scheme de localizare, diagrame cu cablaje și desene și specificații tehnice pentru instrumentație.
- (3) Localizarea pentru fiecare dispozitiv în parte, cum ar fi zone ridicate, suprafețe, componente ale panoului de comandă, structura fizică (carcasă) și localizarea componentelor la acest nivel, localizarea intrărilor și ieșirilor, etc.
- (4) Referințe între diferite bucle, pentru obiecte folosite în comun, cum ar fi înregistratoare multiple, indicatoare duale, etc.
- (5) Referințe către descrierea echipamentelor, producători, numărul de ordine al diferitelor modele, tipuri de componente hard, specificații și documentații, ordine de cumpărare, etc.
- (6) Gama de semnale și informații de calibrare, incluzând valorile pentru comutatoare și pentru echipamente de alarmare și deconectare.
- (7) Referințe numerice software, cum ar fi adresele de intrare/ieșire, tipuri de blocuri de control și denumiri, interfețe de rețea, nume cheie, etc.
- (8) Informații cuprinse în legendă, folosite în scopul unei identificări mai bune a instrumentelor și a accesoriilor.
- (9) Accesorii specifice cum ar fi: regulatoare, filtre, valve cu utilizări multiple, valve de siguranță, etc.
- (10) Referințe către documentații scrise de către producători: scheme, detalii privind conexiunile, instrucțiuni de operare, etc.
- (11) Identificare folosind codul culorilor pentru conductoare sau tuburi care utilizează numere pentru diferențiere.

6. Format

6.1 Consistența pentru o utilizare mai ușoară. Următoarele semne convenționale ar trebui să fie adoptate pe o scară mai largă pentru o comunicare mai bună și pentru ușurința cu care pot fi utilizate.

6.2 Mărimea desenului. Mărimea minimă pentru desenul original ar trebui să fie de 11'' x 17''. Atenție mare la mărimea textului și a simbolurilor, pentru a le menține inteligibile și în cazul unor copii reduse ca mărime. (Pentru a ușura tipărirea și îndosărirea acestora, acest nou standard utilizează exemple realizate la o scară mai mică).

6.3 Desenarea conținutului. O singură diagramă ar trebui să conțină o singură buclă. Evitați extinderea unei bucle pe mai multe pagini, în cazul în care este posibil.

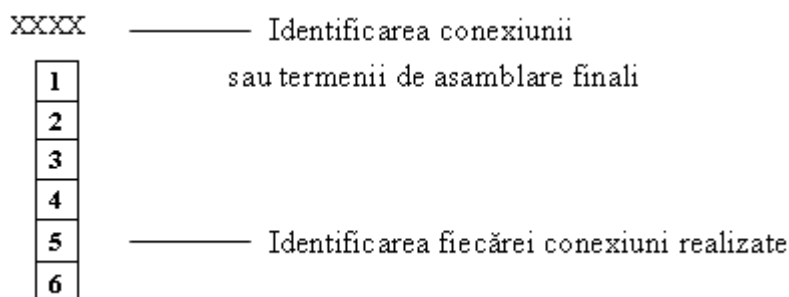
6.4 *Designul general.* Mențineți un design consistent (și pe orizontală și pe verticală) pe toata durata realizării desenului. O sugestie ar fi ca să împărțiți desenul în secțiuni pentru localizarea relativă a dispozitivelor.

7. Simboluri

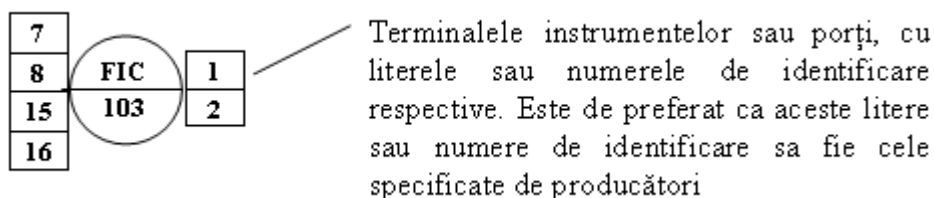
7.1 *Conexiunea instrumentelor și informații legate de acțiunea lor.* Simbolurile din standardul ISA-S5.1 sunt utilizate pentru realizarea diagramelor. Dar este necesară o lărgire a gamei acestor simboluri astfel încât să fie incluse și elemente ca: puncte de legătură, surse de alimentare cu energie (electrice, pneumatice, hidraulice); este necesară și specificarea acțiunii fiecărui instrument utilizat în realizarea diagramelor.

NOTA: Terminalele și porturile prezentate nu sunt pictoriale.

7.2 *Terminale generale sau simboluri terminale.*

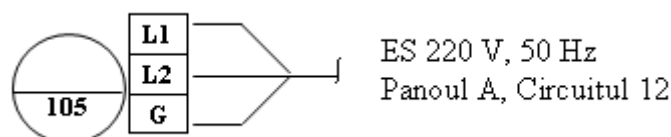


7.3 *Terminalele instrumentelor sau porți.*

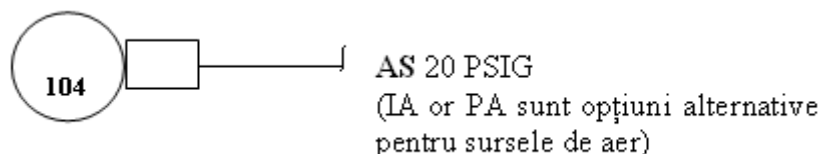


7.4 *Sistemul de alimentare cu energie al instrumentelor.*

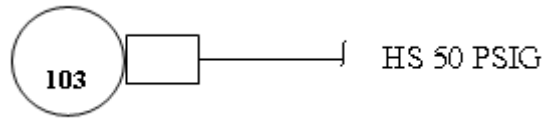
7.4.1 *Surse de alimentare cu curent electric.* Identificarea surselor de curent electric și identificarea exactă a tensiunii de alimentare și a numărului de ordine sau a specificațiilor de deconectare.



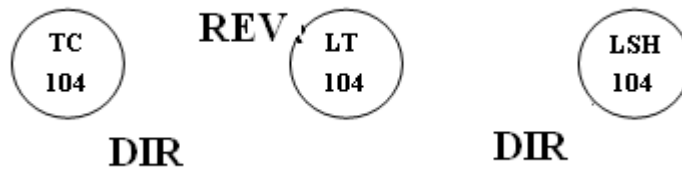
7.4.2 *Surse de aer.* Identificarea surselor de aer, urmată de specificarea presiunii aerului.



7.4.3 *Sursa de lichid hidraulic.* Identificarea lichidului hidraulic, urmată de specificarea presiunii lichidului.



7.5 *Identificarea acțiunii instrumentelor.* Aceasta arată direcția semnalului provenit de la instrument, prin asocierea literelor specifice fiecărui echipament. Identificarea unui instrument la care valoarea semnalului de ieșire crește sau atinge valoarea sa maximă, ca intrare (valoare măsurată) și este marcată cu literele DIR. Identificarea unui instrument la care valoarea semnalului de ieșire scade sau atinge valoarea sa minimă este marcată cu literele REV. Având în vedere că majoritatea transmițătoarelor sunt cu acțiune directă, specificația DIR este opțională pentru ele.



1.5.2. Exemple de utilizare a semnalelor convenționale și simboluri în cadrul unei bucle de reglare

Reglarea debitului. Structura de reglare a debitului conține: elementul primar diafragmă **FE**, un traductor de presiune diferențială **FT**, un regulator **FIC**, un convertor electro-pneumatic **FY** și un robinet de reglare **FV**, figura 1.20.

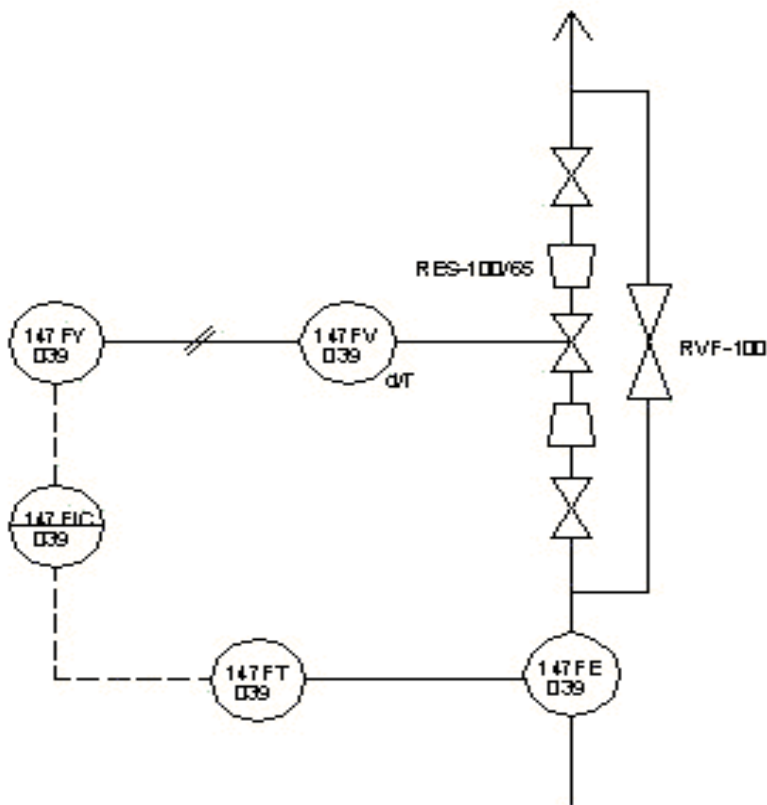


Fig. 1.20. Schema detaliată a SRA-D.

Elementul sensibil **FE**, diafragma, este montat în conductă și simbolizat ca atare. De la acest element sensibil sunt figurate legături fizice (linie continuă) până la traductorul de debit **FT**, în speță traductorul de presiune diferențială. Traductorul de debit generează un semnal electric, curent continuu 4...20 mA, către regulatorul de debit **FIC**. Semnalul este figurat printr-o linie întreruptă. Acesta este un generator de comenzi, curent continuu 4...20 mA, către convertorul electropneumatic **FY**, linia de semnal fiind o linie întreruptă. Convertorul electropneumatic va genera un semnal în gama 0,2...1 bar, linia de semnal fiind specifică semnalelor pneumatice. Servomotorul pneumatic **FV** va primi acest semnal și va acționa asupra organului de reglare, în speță un robinet cu un scaun. Legătura dintre servomotor și organul de reglare este fizică, fiind realizată prin linie continuă.

Reglarea presiunii. Structura de reglare a presiunii conține: un traductor de presiune **PT**, un regulator de presiune **PIC**, un convertor electropneumatic **PY** și un robinet de reglare **PV**, figura 1.21.

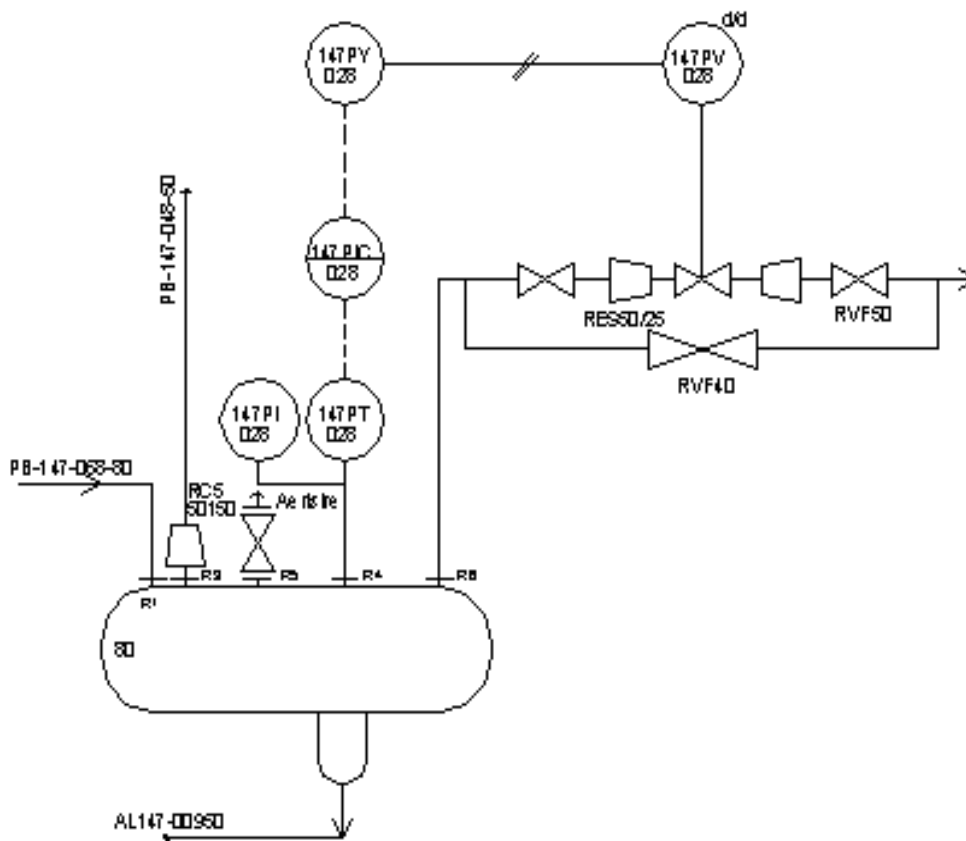

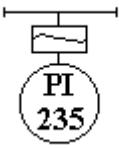



Fig. 1.21. Schema detaliată a SRA-P.

Traductorul de presiune **PT** este montat pe un ștuț al vasului de reflux. Traductorul de presiune generează un semnal electric, curent continuu 4...20 mA, către regulatorul de presiune **PIC**. Semnalul este figurat printr-o linie întreruptă. Acesta este un generator de comenzi, curent continuu 4...20 mA, către convertorul electropneumatic **PY**, linia de semnal fiind o linie întreruptă. Convertorul electropneumatic va genera un semnal în gama 0,2...1 bar, linia de semnal fiind specifică semnalelor pneumatice. Servomotorul pneumatic **PV** va primi acest semnal și va acționa asupra organului de reglare, respectiv asupra unui robinet cu un scaun. Legătura dintre servomotor și organul de reglare este fizică, fiind realizată prin linie continuă.

În tabelul 1.10 sunt prezentate și alte exemple de codificări de sisteme de măsurat presiunea.

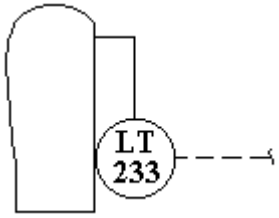
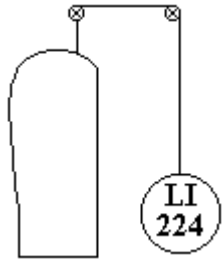
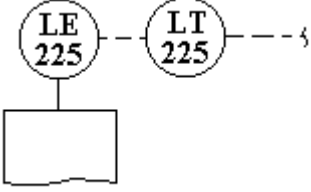
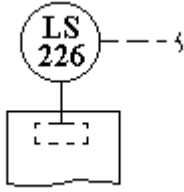
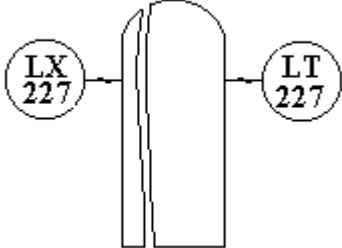
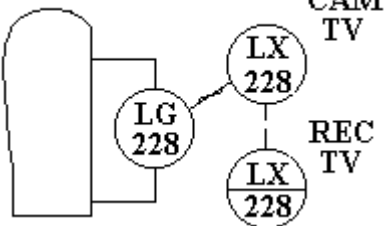
Codificări ale sistemelor de măsurat presiunea

P		Indicator de presiune conectat direct
P		Indicator de presiune conectat prin membrană de separație și tub capilar cu conducta de legătură
P		Indicator de presiune prin membrană de separație și tub capilar montat direct pe linia de flux

Reglarea nivelului. Structura de reglare a nivelului conține: un traductor de nivel cu imersor **LT**, un regulator de nivel **LIC**, un convertor electro-pneumatic **LY** și un robinet de reglare **LV**, figura 1.22. Traductorul de nivel cu imersor **LT** este montat la două ștuțuri ale vasului de reflux. Traductorul de nivel generează un semnal electric, curent continuu 4...20 mA, către regulatorul de nivel **LIC**. Semnalul este figurat printr-o linie întreruptă. Acesta este un generator de comenzi, curent continuu 4...20 mA, către convertorul electropneumatic **LY**, linia de semnal fiind o linie întreruptă. Convertorul electropneumatic va genera un semnal în gama 0,2...1 bar, linia de semnal fiind specifică semnalelor pneumatice. Servomotorul pneumatic **LV** va primi acest semnal și va acționa asupra organului de reglare, în speță un robinet cu un scaun. Legătura dintre servomotor și organul de reglare este fizică, fiind realizată prin linie continuă. În tabelul 1.11 sunt prezentate și alte exemple de sisteme de măsurat sau reglare a nivelului.

Tabelul 1.11

Exemple de codificare a sistemelor de măsurare și reglare a nivelului

Simbolizare	Semnificație
	Traductor de nivel, tip presiune diferențială, montat pe rezervor
	Indicator de nivel, de tip flotor și bandă flexibilă
	Element de nivel de tip capacitiv sau dielectric, conectat la traductor de nivel
	Semnalizator de nivel cu elice pentru măsurarea nivelului solidelor
	Traductor de nivel de tip radioactiv cu senzor integrat
	Indicare la distanță a nivelului cu cameră de luat vedrei și receptor de televiziune

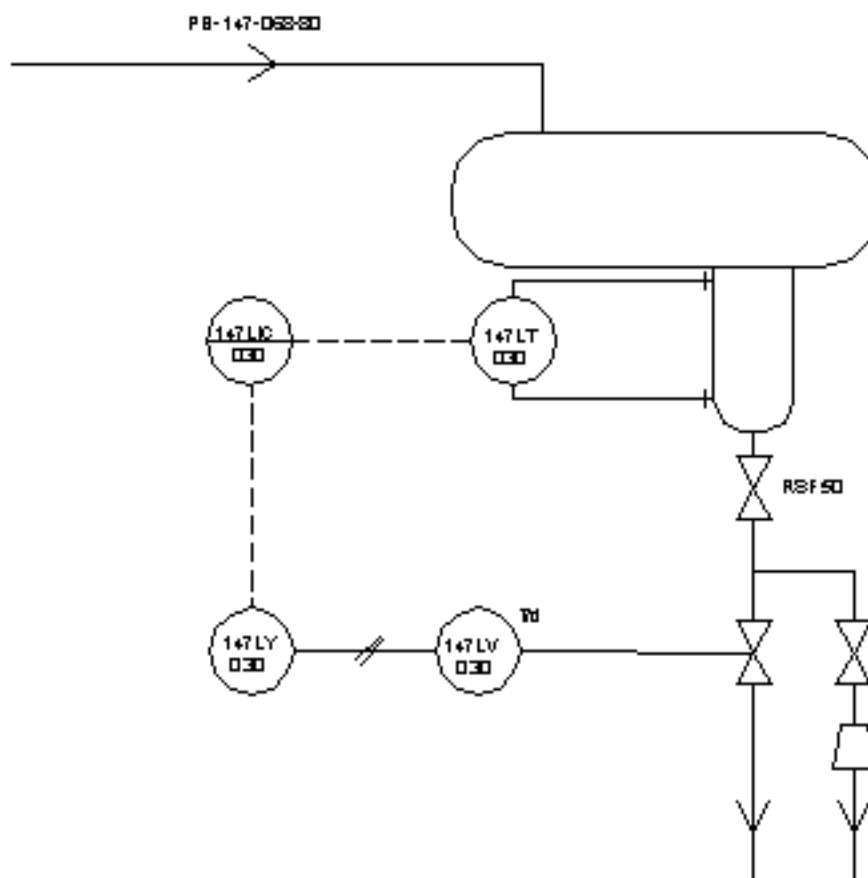


Fig. 1.22. Schema detaliată a SRA-N.

Reglarea temperaturii. Structura de reglare a temperaturii conține : un traductor de temperatură tip termocuplu **TE**, un adaptor tensiune-curent **TT**, un regulator de temperatura **TIC**, un convertor electro-pneumatic **TY** și un robinet de reglare **TV**, figura 1.23. Elementul sensibil **TE** este reprezentat de un termocuplu Fe-Co. Termocuplul este montat în conductă. Acest element generează un semnal electric, respectiv o tensiune electromotoare de ordinul a 1 mV. Semnalul electric este captat de un adaptor tensiune-curent, **TT**. Acesta va genera un semnal electric, curent continuu 4...20 mA, către regulatorul de temperatura **TIC**. Semnalul este figurat printr-o linie întreruptă. Acesta este un generator de comenzi, curent continuu 4...20 mA, către convertorul electropneumatic **TY**, linia de semnal fiind o linie întreruptă. Convertorul electropneumatic va genera un semnal în gama 0,2...1 bar, linia de semnal fiind specifică semnalelor pneumatice. Servomotorul pneumatic **TV** va primi acest semnal și va acționa asupra organului de reglare, în speță un robinet cu un scaun. Legătura dintre servomotor și organul de reglare este fizică, fiind realizată prin linie continuă.

În tabelul 1.12 sunt prezentate și alte simbolizări grafice ale sistemelor de măsurat temperatura.

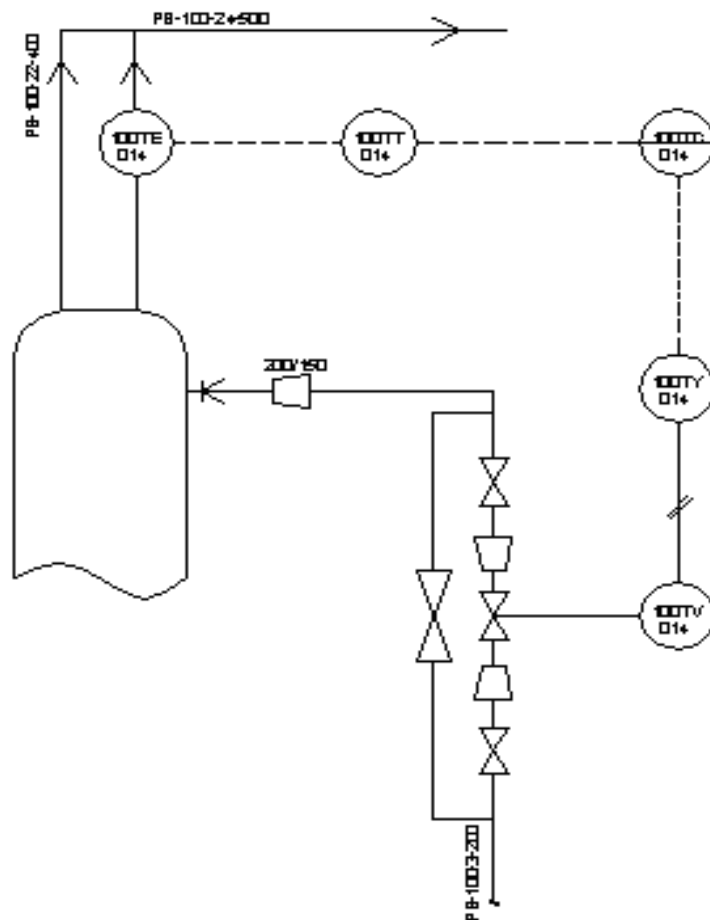
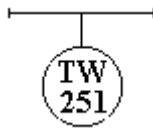
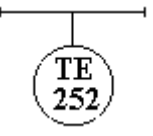
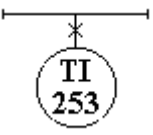
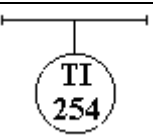


Fig. 1.23. Schema detaliată a SRA-T.

Tabelul 1.12

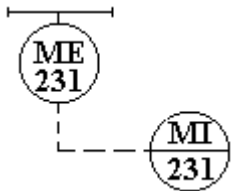
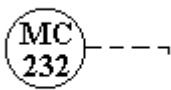
Simboluri utilizate în cadrul sistemelor de măsurat temperatura

	Conexiune de verificare a temperaturii cu teacă
	Element de temperatură (neconectat la aparat secundar)
	Indicator de temperatura cu tub capilar
	Termometru de tip bimetalic cu sticlă sau de alt tip

Tabelele 1.13, 1.14, 1.15 și 1.16 conțin și alte elemente grafice utilizate pentru codificarea sistemelor de măsurat umiditatea, sistemelor de contorizare, sistemelor de măsurare a radioactivității și sistemelor de măsurare a turației.

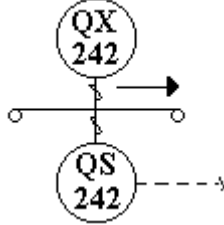
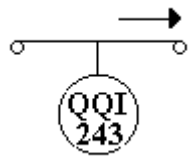
Tabelul 1.13

Codificări ale sistemelor de măsurat umiditatea

Simbolizare	Semnificație
	Detector de umiditate
	Regulator de umiditate de încăpere


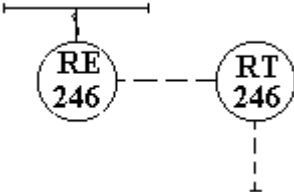
Tabelul 1.14

Codificări ale sistemelor de contorizare

	Numărător fotoelectric cu acțiune de comutare la fiecare eveniment
	Contor cu indicare tip mecanic

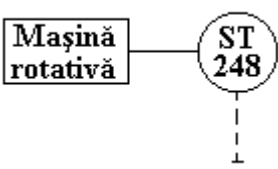
Tabelul 1.15

Codificări ale sistemelor de măsurare a radioactivității

Simbolizare	Semnificație
	Indicator de radioactivitate
	Element de măsură a radioactivității

Tabelul 1.16

Codificări ale sistemelor de măsurare a turației

	Traductor de turație
---	----------------------

1.6. Modelarea și simularea dinamică a sistemelor

Modelarea și simularea dinamică reprezintă un instrument eficient și ieftin de investigare a sistemelor chimice. Consecințele directe în planul automatizării sunt:

- proiectarea algoritmilor de reglare (reglarea după perturbație, reglarea cu model intern, reglarea multivariabilă, reglarea predictivă, reglare optimală);
- proiectarea structurilor de conducere;
- acordarea optimală a reguletoarelor cu acțiune după abatere;
- proiectarea sistemelor de semnalizare și protecție a instalațiilor chimice.

Deoarece un sistem chimic reprezintă un ansamblu de subsisteme aflate în interacțiune, dinamica sistemului va rezulta din interacțiunea fiecărui subsistem component. În cele ce urmează se va prezenta dinamica unor elemente tip, elemente ce se regăsesc în structura sistemelor chimice.

1.6.1. Simularea dinamică utilizând mediul PASCAL

Exemplul 1.6. Dinamica elementului aperiodic de ordinul 1.

Se consideră sistemul prezentat în figura 1.24, al cărui model matematic este

$$a\Delta\dot{y} + \Delta y = b\Delta u \quad (1.34)$$

având condiții inițiale nule.

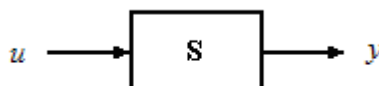


Fig. 1.24. Element aperiodic de ordinul I.

Expresia normalizată a ecuației diferențiale (1.34) este

$$\Delta\dot{y} = \frac{b\Delta u - \Delta y}{a} \quad (1.35)$$

Utilizând metoda Euler de rezolvare a sistemelor de ecuații diferențiale, metoda studiată la disciplina Metode numerice, transcrierea procedurii **Model** în limbajul PASCAL este prezentată în lista 1.1 [5, 11].

Procedura **Model** pentru dinamica sistemului (1.35)

```
Procedure Model (timp:real; var y,func:sir);
begin
  func[1]:= (b*du-y[1])/a;
end; {Model}
```

Exemplul 1.7. Dinamica elementului aperiodic de ordinul 2.

Modelul matematic al sistemului S este dat de ecuația diferențială

$$a_2 \Delta \ddot{y} + a_1 \Delta \dot{y} + \Delta y = b \Delta u. \quad (1.36)$$

Utilizând transformarea de variabilă

$$\Delta \dot{y} = \Delta z \quad (1.37)$$

se obține sistemul

$$\begin{cases} a_2 \Delta \dot{z} + a_1 \Delta z + \Delta y = b \Delta u \\ \Delta \dot{y} = \Delta z \end{cases}, \quad (1.38)$$

respectiv forma normalizată

$$\begin{cases} \Delta \dot{z} = \frac{b \Delta u - \Delta y - a_1 \Delta z}{a_2} \\ \Delta \dot{y} = \Delta z \end{cases}. \quad (1.39)$$

În lista 1.2 este prezentată transcrierea procedurii **Model** în limbajul PASCAL [11].

Procedura **Model** pentru dinamica sistemului (1.39)

```
Procedure Model (timp:real; var y,func:real);
begin
  func[1]:= (b*du-y[2]-a1*y[1])/a2;
  func[2]:=y[1];
end; {Model}
```

Exemplul 1.8. Dinamica elementelor cu ieșiri însumate.

Fie sistemul prezentat în figura 1.25.

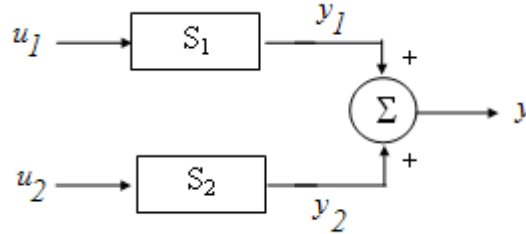


Fig. 1.25. Elementul aperiodic de ordinul I cu ieșiri însumate.

Modelul matematic al sistemului S este

$$\begin{cases} a_1 \Delta \dot{y}_1 + \Delta y_1 = b_1 \Delta u_1 \\ a_2 \Delta \dot{y}_2 + \Delta y_2 = b_2 \Delta u_2 \\ \Delta y = \Delta y_1 + \Delta y_2 \end{cases} \quad (1.40)$$

Utilizând expresiile normalizate ale derivatelor:

$$\Delta \dot{y}_1 = \frac{b_1 \Delta u_1 - \Delta y_1}{a_1}, \quad (1.41)$$

$$\Delta \dot{y}_2 = \frac{b_2 \Delta u_2 - \Delta y_2}{a_2}, \quad (1.42)$$

transcrierea procedurii **Model** în limbajul PASCAL este prezentată în lista 1.3 [11].

Lista 1.3

Procedura **Model** pentru dinamica sistemului (1.40)

```

Procedure Model (timp:real; var y,func:sir);
begin
  func[1]:=(b1*du1-y[1])/a1;
  func[2]:=(b2*du2-y[2])/a2;
  func[3]:=0; y[3]:=y[1]+y[2];
end; {Model}
    
```

Exemplul 1.9. Dinamica unei variabile de proces.

Se consideră sistemul S prezentat în figura 1.24. Pornind de la definirea abaterii variabilei în raport cu starea inițială, dinamica unei variabile de proces este data de modelul

$$\begin{cases} a\Delta\dot{y} + \Delta y = b\Delta u \\ y = y_0 + \Delta y \end{cases} \quad (1.43)$$

Pentru a descrie dinamica ieșirii y , procedura **Model**, scrisă în limbajul PASCAL, va avea conținutul prezentat în lista 1.4.

Lista 1.4

Procedura **Model** pentru dinamica sistemului (1.43)

```
Procedure Model (timp:real; var y,func:sir);
begin
  func[1]:= (b*du-y[1])/a;
  func[2]:= 0; y[2]:=y0[2]+y[1];
end; {Model}
```

Exemplul 1.10. Dinamica unui traductor.

Se consideră un traductor caracterizat prin caracteristica statică liniară

$$\begin{cases} y: & y_{\min} \dots y_{\max} & [u.m.] \\ r: & 0 \dots 100 & [\%] \end{cases} \quad (1.44)$$

și regimul dinamic

$$a_T \Delta \dot{r} + \Delta r = b_T \Delta y, \quad (1.45)$$

în care

$$b_T = \frac{100}{y_{\max} - y_{\min}}. \quad (1.46)$$

Deoarece traductorul este sensibil doar în domeniul $[y_{\min} \dots y_{\max}]$, modelul matematic al acestuia trebuie să reflecte acest fapt. În consecință, pentru a modela în regim dinamic un traductor se va utiliza schema logică din figura 1.26.

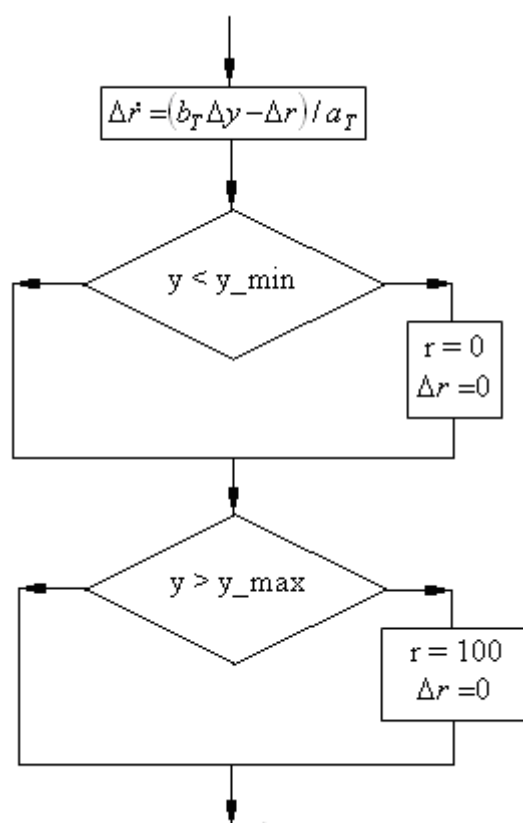


Fig. 1.26. Schema logică asociată modelului dinamic al unui traductor.

1.6.2. Simularea dinamică utilizând mediul SIMULINK

MATLAB este un pachet de programe de înaltă performanță, dedicat calculului numeric și reprezentărilor grafice din domeniul științei și ingineriei. Una dintre aplicațiile specifice versiunii 5.1 al mediului MATLAB este mediul SIMULINK. Acest pachet de programe este utilizat pentru simularea matematică a sistemelor dinamice cu ajutorul unor elemente fundamentale [20, 21, 22].

Exemplul 1.11. Simularea dinamică a elementului aperiodic de ordinul 1.

Pentru a realiza simularea dinamică a unui sistem, utilizând mediul SIMULINK, este necesară parcurgerea următoarelor etape:

1. Determinarea modelului matematic în regim dinamic.
2. Identificarea blocurilor corespunzătoare elementelor dinamice, care modelează sistemul.
3. Realizarea diagramei sistemului, formată din blocuri standard (aflate în biblioteca Simulink) sau a blocurilor proprii (create de utilizator).
4. Configurarea fiecărui bloc, în funcție de modelul matematic și a parametrilor asociați sistemului.
5. Lansarea în execuție.
6. Selectarea opțiunilor necesare vizualizării rezultatelor simulării

A. Modelul matematic al sistemului. Fie sistemul de ordinul 1 fără timp mort, descris prin modelul matematic

$$T \frac{d\Delta y}{dt} + \Delta y = K * \Delta u(t) \quad (1.47)$$

unde $T=2$ reprezintă constanta de timp a sistemului, $K=3$ este factorul de amplificare asociat variabilei de intrare u iar mărimea de intrare are o variație de tip treaptă unitară, $\Delta u = 1(t)$.

Condiția inițială a sistemului este $\Delta y(0)=1$. Sistemul va fi simulat pe intervalul de timp $[0, 10]$ s. Aplicând transformata Laplace asupra modelului matematic (1.47) se obține

$$H(s) = \frac{k}{Ts + 1} . \quad (1.48)$$

Ultima relație reprezintă modelul matematic al sistemului, relație ce urmează a fi implementată în fereastra destinată construirii și simulării diagramei.

B. Identificarea blocurilor. Modelul matematic descris de relația (1.48) poate fi implementat prin intermediul blocului **Transfer Fcn** din componenta *Linear Library* a bibliotecii SIMULINK. Pentru generarea semnalului de intrare se utilizează blocul **Step** din componenta *Sources Library*. Vizualizarea dinamicii sistemului este realizată de blocul **Scope** din componenta *Sinks Library*.

C. Proiectarea diagramei. Pentru realizarea diagramei se procedează în modul următor:

- I. Toate blocurile necesare (**Transfer Fcn**, **Step** și **Scope**) vor fi copiate din biblioteca SIMULINK în schema bloc. Pentru realizarea acestei etape se execută succesiv operațiile:
 - I.1. Se activează fereastra *Linear-Library*.
 - I.2. Se execută click pe blocul *Transfer Fcn* cu butonul din dreapta mouse-ului. Cât timp este apăsat butonul, se realizează o copie a blocului și se plasează în diagrama bloc.
 - I.3. Similar sunt copiate blocurile: *Step-Block* din fereastra *Source-Library* și respectiv *Scope-Block* din fereastra *Sink-Library*.

Operații uzuale pentru copierea, mutarea și ștergerea blocurilor:

- copiere - se va utiliza butonul drept al mouse-ului;
- mutarea blocurilor - se va utiliza butonul stâng al mouse-ului;
- ștergerea blocurilor - se va utiliza butonul Delete.

II. Blocurile se vor conecta conform diagramei din figura 1.27. Acestea pot fi conectate prin apăsarea butonului drept al mouse-ului și tragerea unei săgeți de la ieșirea unui bloc la intrarea altui bloc. În diagrama astfel obținută, blocurile pot fi deplasate și aranjate cu ajutorul butonului stâng al mouse-ului.

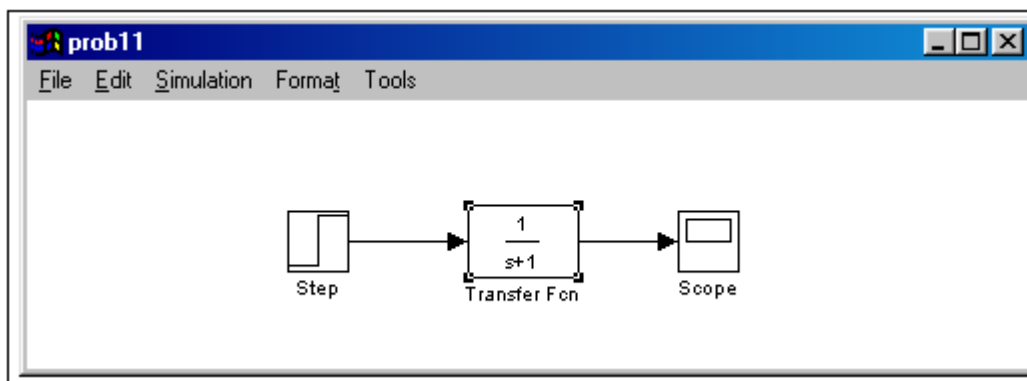


Fig.1.27. Diagrama de simulare asociată modelului (1.37).

D. Configurarea blocurilor

Prin configurare se înțelege setarea anumitor parametri numerici asociați blocurilor. În cadrul diagramei din figura 1.26, este necesară configurarea blocurilor *Step* și *Transfer Fcn*. Etapa de configurare decurge astfel:

I. Blocul Step

- Se execută click pe blocul Step;
- În urma activării blocului Step se va deschide căsuța de dialog specifică blocului, figura 1.28.

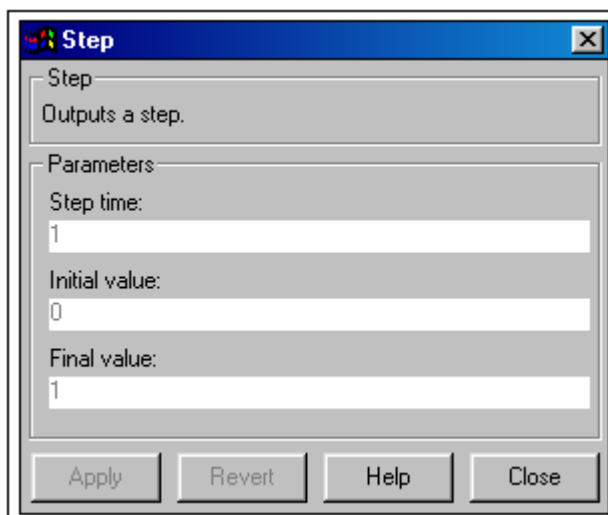


Fig. 1.28. Configurarea inițială a blocului Step.

- În câmpurile specifice parametrilor se setează:
 - Step time =0 (întârziere la aplicarea semnalului de intrare);
 - Inițial value =0 (valoarea inițială a intrării) ;
 - Final value =1 (valoarea semnalului treaptă).
- Validarea valorilor introduse se face prin apăsarea butonului *Apply*, figura 1.29. Butonul *Revert* se utilizează în cazul în care se dorește anularea valorilor introduse.

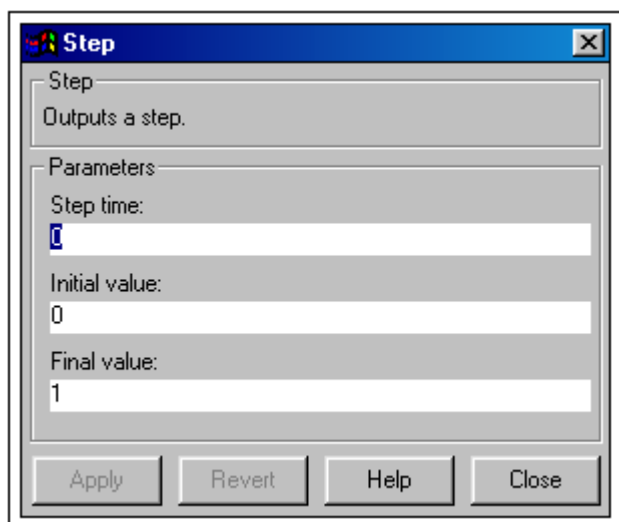


Fig. 1.29. Configurarea finala a blocului Step.

- Pentru închiderea căsuței de dialog se utilizează butonul *Close*.

II. Blocul **Transfer Fcn**

- În urma activării blocului **Transfer Fcn** se va deschide căsuța de dialog specifică blocului, figura 1.30.

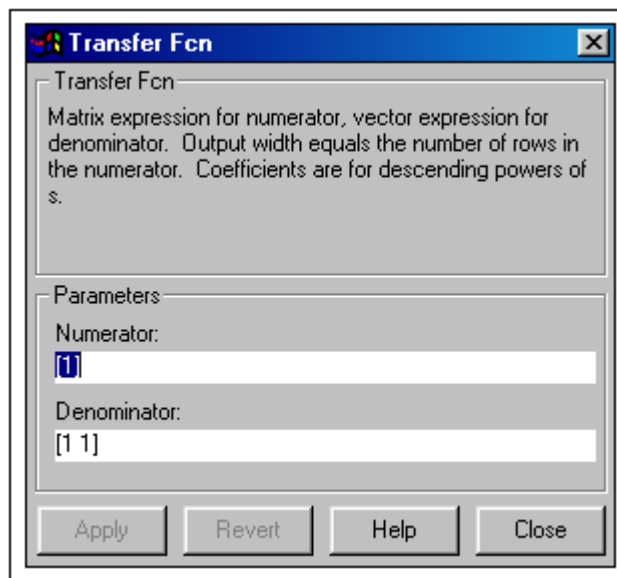


Fig.1.30. Configurarea inițiala a blocului Transfer Fcn.

- În câmpurile specifice parametrilor se setează, conform figurii 1.31, parametrii următori:
 - Numerator = [3] (valoarea coeficientului de amplificare);
 - Denominator = [2, 1] (2-coeficientul lui s^1 , 1-coeficientul lui s^0);

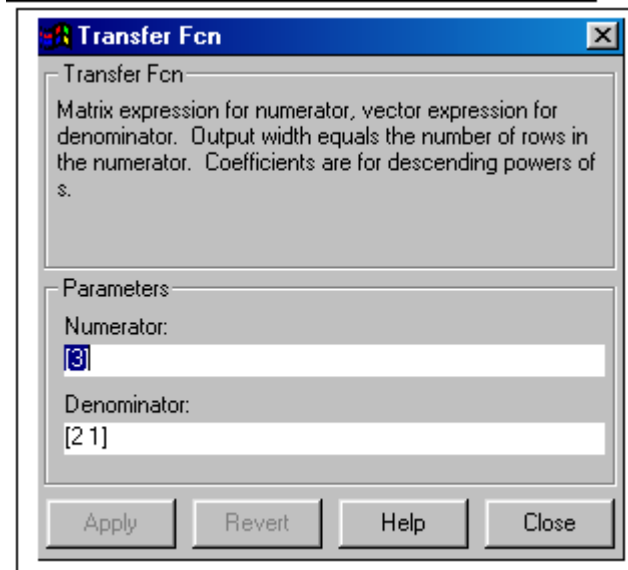


Fig.1.31. Configurarea finală a blocului Transfer Fcn.

În urma etapei de configurare, diagrama bloc va avea aspectul din figura 1.32.

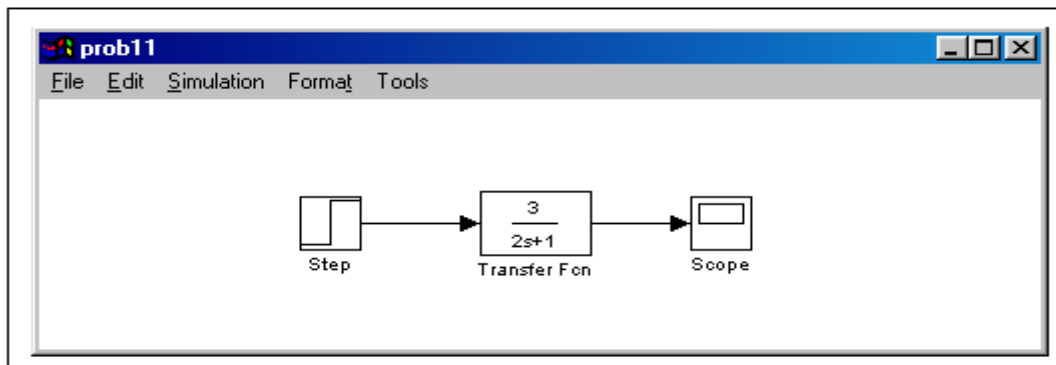


Fig.1.32. Diagrama finală asociată modelului (1.37).

Diagrama bloc se va salva sub numele de *prob11*, alegând comanda *File/SaveAs*, cu extensia “mdl”.

E. Selectarea opțiunilor necesare vizualizării rezultatelor simulării

Pentru o mai bună reprezentare grafică a rezultatelor, în meniul *Simulation/Parameters/Solver* vor fi setați următorii parametri, figura 1.33:

- “Start Time” și “Stop Time” pentru setarea intervalului de integrare;
- “Euler”, “Adam” sau “Runge-Kutta” din meniul *Solver Options* pentru alegerea metodei de integrare.

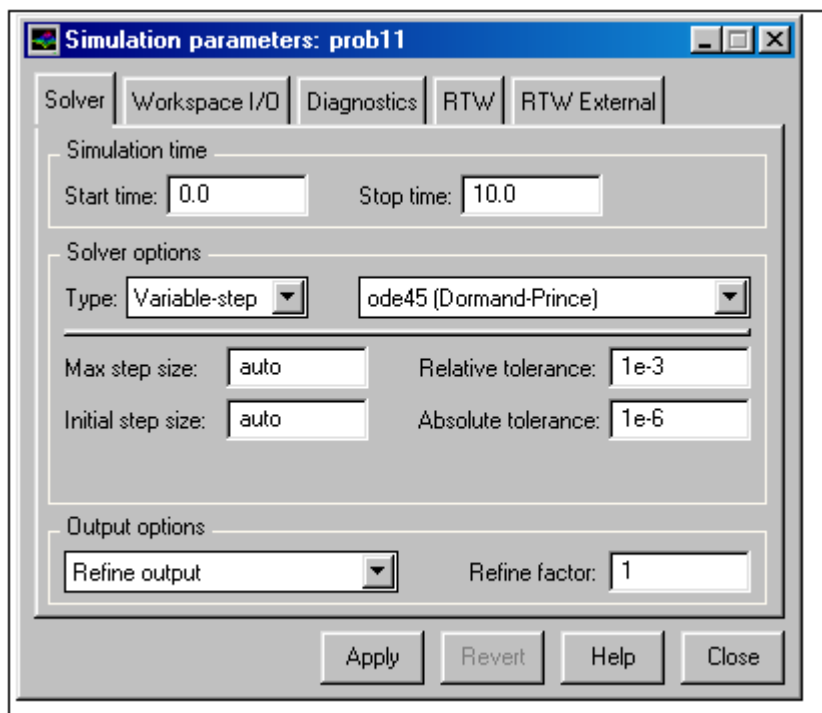


Fig.1.33. Meniul *Simulation parameters*.

Vizualizarea rezultatelor simulării este accesibilă prin utilizarea blocului **Scope**, trăsăturile acestuia fiind prezentate în figura 1.34:

- Butonul situat cel mai din stânga este butonul de *Zoom*, care permite modificarea dimensiunilor graficului în ambele direcții (se alege aria de modificare cu mouse-ul);
- Următoarele două butoane sunt de asemenea butoane de *Zoom*. Ele permit modificarea graficului în direcția *x*, respectiv *y*;
- Butonul prevăzut cu binoclu este butonul *Auto-scale*, funcție care reproduce răspunsul întregului sistem;
- Butonul *Save-axes* salvează configurația axelor, așa cum au fost definite de funcția *Zoom*;
- Butonul situat cel mai din dreapta este butonul *Properties*, care permite configurarea blocului *Scope* în cadrul meniului *Axes*. În câmpurile *Ymax* și *Ymin* se introduc valori pentru determinarea limitelor de reprezentare pe axa *y*, figura 1.35.

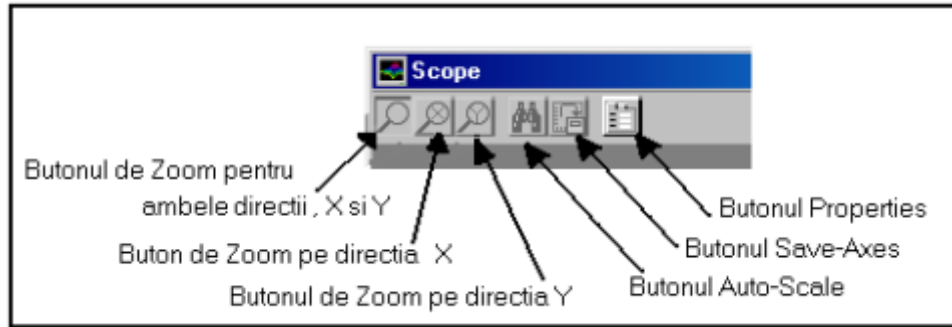


Fig. 1.34. Funcțiile blocului Scope.

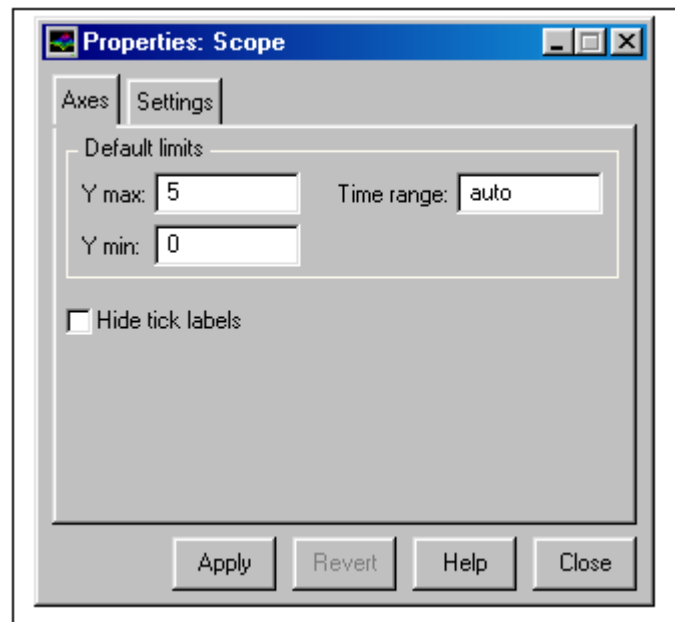


Fig.1.35. Căsuța de dialog a butonului *Properties*.

F. Lansarea în execuție.

Aceasta este realizată prin comanda *Start* din meniul *Simulation*, figura 1.36.

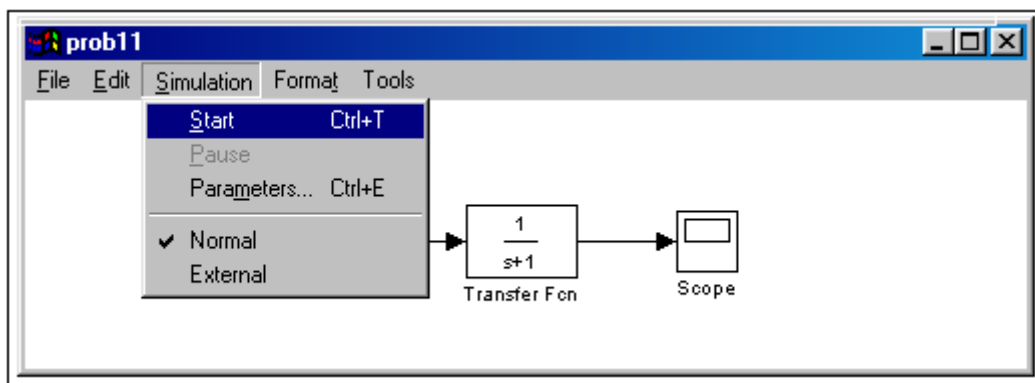


Fig.1.36. Execuția comenzii *Start*.

În figura 1.37 este redată dinamica sistemului de ordinul 1 fără timp mort. Răspunsul sistemului este specific unui sistem aperiodic de ordinul 1.

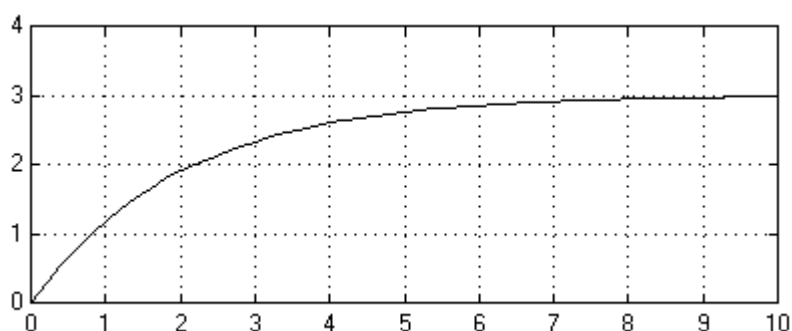


Fig.1.37. Rezultatul obținut prin simularea sistemului de ordinul 1 fără timp mort.

Exemplul 1.12. Simularea dinamică a elementului aperiodic de ordinul 1 cu timp mort.

Pentru a realiza simularea dinamică a sistemului, utilizând mediul SIMULINK, sunt necesar parcurgerea aceluiași etape prezentate în cadrul exemplului 1.10.

A. Modelul matematic al sistemului.

Fie sistemul de ordinul 1 cu timp mort, descris prin modelul matematic :

$$T \frac{d\Delta y}{dt} + \Delta y = K * \Delta u(t - \tau) \quad (1.49)$$

unde $T = 2$ reprezintă constanta de timp a sistemului, $K = 3$ este factorul de amplificare asociat variabilei de intrare, u este mărimea de intrare care are o variație de tip treaptă unitară, $\Delta u = 1(t)$ iar $\tau = 2$ reprezintă timpul mort al sistemului.

Condiția inițială a sistemului este $\Delta y(0) = 0$. Sistemul va fi simulat pe intervalul de timp $[0, 10]$ s. Aplicând transformata Laplace asupra modelului matematic (1.49) se obține

$$H(s) = \frac{k \cdot e^{-ts}}{Ts + 1} \quad (1.50)$$

Ultima relație reprezintă modelul matematic al sistemului, relație ce urmează a fi implementată în fereastra destinată construirii și simulării diagramei, figura 1.38.

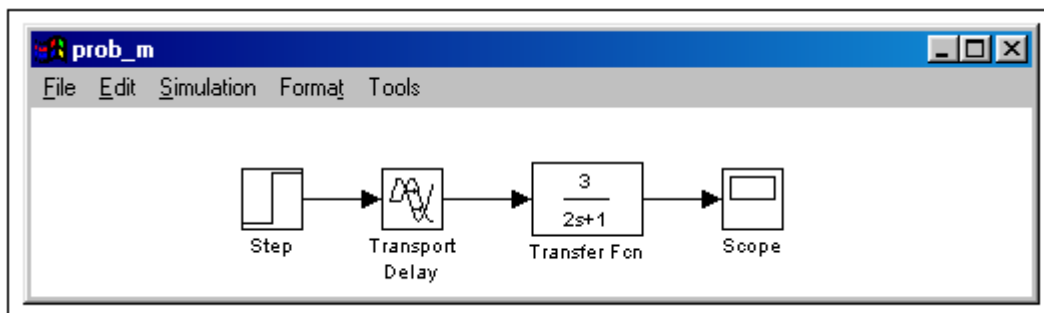


Fig.1.38. Diagrama asociată sistemului (1.32).

Elementul de noutate îl constituie blocul **Transport Delay** din componenta *Nonlinear Library*, prin intermediul căruia este implementat timpul mort. În cadrul etapei de configurare a blocului, în fereastra de dialog se vor seta parametrii următori, figura 1.39:

- Time delay = 2 (timpul mort) ;
- Initial input = 0 (valoarea inițială a intrării) ;
- Initial buffer size = 1024 (dimensiunea inițială a bufferului).

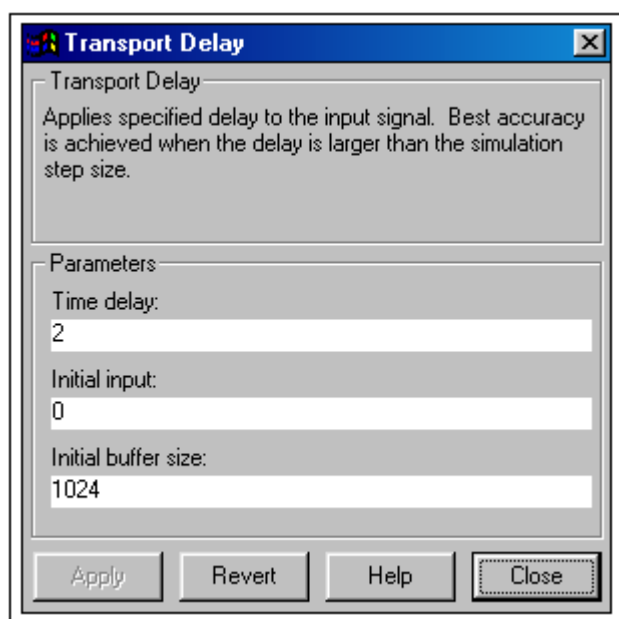


Fig.1.39. Fereastra de dialog a blocului Transport Delay.

Configurare blocurilor *Transport Fcn*, *Step* decurge în același mod ca și în exemplul 1.10.

În figura 1.40 este prezentat răspunsul sistemului (1.49).

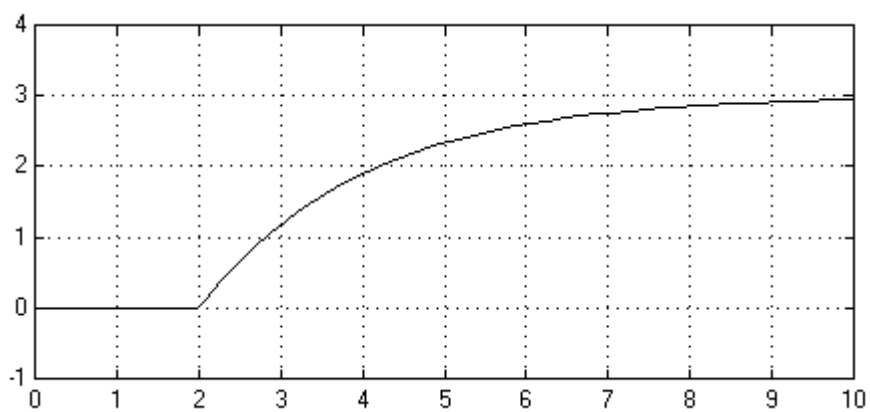


Fig.1.40. Rezultatul obținut prin simularea sistemului de ordinul 1 cu timp mort.

1.7. Conducerea optimală

Tendențele de a se asigura performanțe din ce în ce mai bune ale sistemelor automate în regimuri staționare și tranzitorii și de a folosi tehnologiile la capacitatea maximă au propulsat într-un loc central problemele de optimizare în cadrul automatizării. Astfel, unui sistem chimic i se poate asocia o mărime suplimentară, numită funcție de performanță sau funcție obiectiv, cu ajutorul căreia se apreciază performanțele funcționării sistemului. Funcția obiectiv poate fi asociată regimului staționar sau dinamic, delimitând astfel optimizarea dinamică de optimizarea staționară. Prin conducere optimală se înțelege determinarea comenzilor u asociate sistemului chimic, astfel încât funcția de performanță să fie minimă (maximă).

1.7.1. Optimizarea regimurilor staționare

Exemplul 1.13. Reglarea optimală a combustiei în cuptoare tubulare

Se consideră un cuptor tubular dintr-o instalație de distilare atmosferică (DA), figura 1.41.

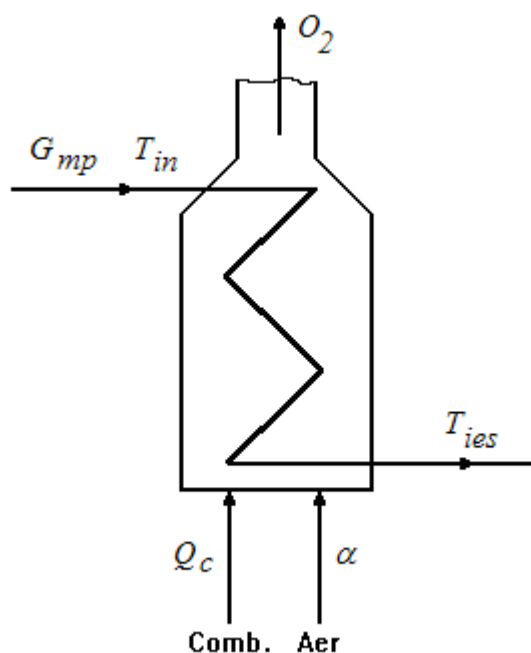


Fig. 1.41. Cuptor tubular: G_{mp} debit de materie primă;
 T_{in}/T_{ies} - temperatura de intrare/ieșire a materiei prime; B - debitul de combustibil;
 α - coeficientul cantității de aer; x_{O_2} - concentrația oxigenului în gazele de ardere.

Sistemul cuptor tubular este caracterizat prin mărimile: $Y^T = [T_{ies}, x_{O_2}]$; $P^T = [G_{mp}, T_{in}]$; $U^T = [B, \alpha]$.

Modelul matematic al procesului, $Y = f(P, U)$, are forma [9]

$$T_{ies}(\alpha) = \begin{cases} a_{01} + a_{11}G_{mp} + a_{21}T_{in} + a_{31}B + a_{41}\alpha, & \alpha < \alpha^c \\ a_{02} + a_{12}G_{mp} + a_{22}T_{in} + a_{32}B + a_{42}\alpha, & \alpha \geq \alpha^c \end{cases}, \quad (1.51)$$

în care T_{ies} este temperatura de ieșire a petrolului prelucrat [$^{\circ}\text{C}$];

G_{mp} - debitul de petrol [kg/h];

T_{in} - temperatura de intrare a petrolului [$^{\circ}\text{C}$];

B - debitul de combustibil [kg/h];

α - coeficientul cantității de aer (mărime derivată din debitul de aer);

α^c - valoarea minimă a coeficientului de aer pentru care arderea în cuptor este completă.

Coeficienții din modelul (1.40) au valori specifice fiecărui domeniu de ardere:

$$\text{a) ardere incompletă} \left\{ \begin{array}{l} a_{01} = 0,12587150200 * 10^3 \quad [^{\circ}\text{C}] \\ a_{11} = -0,3929296 * 10^{-3} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{kg/h}] \\ a_{21} = 0,3671257 \\ a_{31} = 0,1200484 * 10^{-1} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{kg/h}] \\ a_{41} = 0,1312911 * 10^3 \quad [^{\circ}\text{C}] \end{array} \right\};$$

$$\text{b) ardere completă} \left\{ \begin{array}{l} a_{02} = 0,3077407 * 10^3 \quad [^{\circ}\text{C}] \\ a_{12} = -0,4261158 * 10^{-3} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{kg/h}] \\ a_{22} = 0,3666044 \\ a_{32} = 0,1255206 * 10^{-1} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{kg/h}] \\ a_{42} = -0,3013083 * 10^3 \quad [^{\circ}\text{C}] \end{array} \right\}.$$

Cuptorul tubular este operat în condițiile $G_{mp} = 200000$ kg/h, $T_{in} = 250$ $^{\circ}\text{C}$, $Q_c = 4500$ kg/h iar valoarea minimă a coeficientului de aer pentru care arderea în cuptor este completă este $\alpha^c = 1,1$.

Pentru studiul procesului se consideră structura de conducere prezentată în figura 1.42. Procesul de ardere și de transfer termic din cuptorul tubular prezintă o caracteristică statică neliniară, cu punct de extrem. Funcția obiectiv este reprezentată de temperatura produsului încălzit T_{ies} iar variabila acestei funcții este comanda debitul de aer Q_{aer} (sau coeficientul cantității de aer), figura 1.43. În cazul unui cuptor real, caracteristica statică nu poate fi cunoscută cantitativ aprioric, însă forma acesteia (caracterul extremal) rămâne neschimbată.

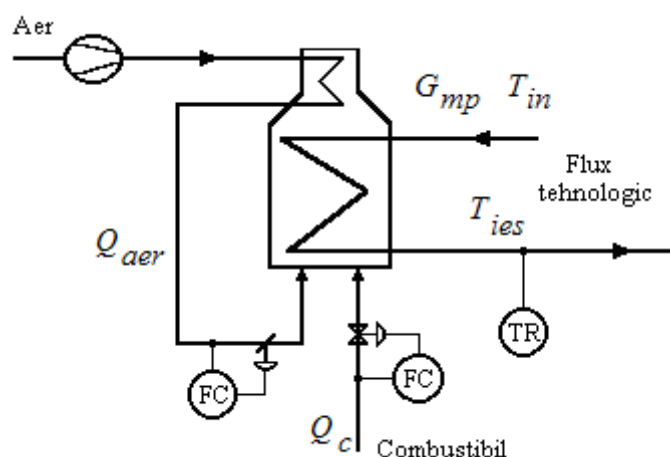


Fig. 1.42. Structura de reglare utilizată pentru studiul cuptorului tubular .

Pentru reglarea optimă a procesului de combustie se are în vedere un algoritm de explorare unidimensională, similar cu algoritmul extremal pas cu pas [12]. Se consideră ca punct inițial valoarea 1,49 a coeficientului cantității de aer *alfa* și sensul de căutare în care *alfa* scade, respectiv $r = -1$. Pentru aceasta valoare a comenzii procesului (argumentului funcției obiectiv) se obține o valoare a temperaturii (funcția obiectiv) corespunzătoare punctului A de pe caracteristica statică a cuptorului tubular.

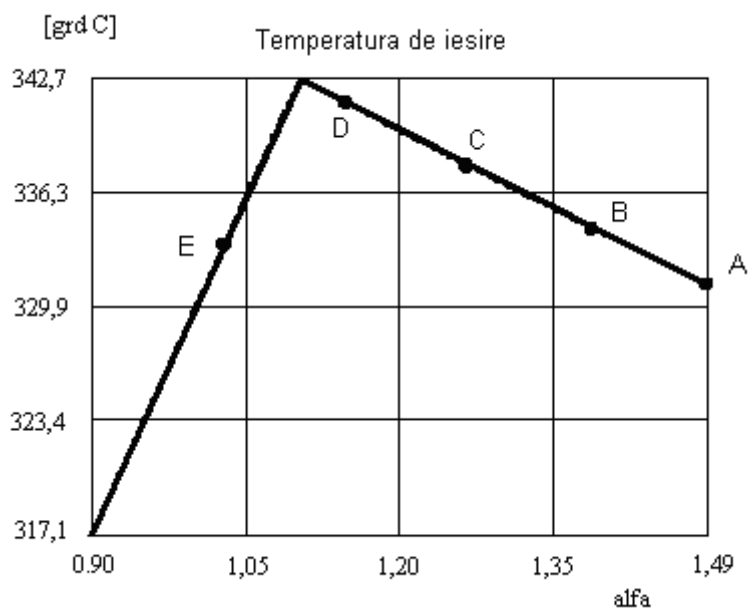


Fig. 1.43. Caracteristica statică a unui cuptor tubular.

Algoritmul va modifica valoarea comenzii (valoarea argumentului) în sensul scăderii acesteia, obținându-se astfel punctul B de pe caracteristică. Deoarece valoarea funcției obiectiv crește, se continuă căutarea, menținându-se sensul inițial de explorare (sens corespunzător scăderii coeficientului cantității de aer). După obținerea punctului D de pe caracteristica statică a procesului, la următorul pas se va obține punctul E,

pentru care valoarea funcției obiectiv scade în raport cu valoarea anterioară. În acest caz se procedează la inversarea sensului de căutare și se continuă explorarea. Dacă se menține constant pasul de căutare, după două iterații se va proceda din nou la inversarea sensului de explorare, punctul D de pe caracteristica procesului. În aceasta situație, punctul de extrem se va găsi în intervalul delimitat de punctele D și E de pe caracteristica statică. Micșorarea progresivă a pasului de explorare conduce la reducerea intervalului de incertitudine dar nu și la determinarea valorii exacte a optimului.

Pentru cuptorul industrial prezentat în figura 1.41, sarcina principală a sistemelor automate o reprezintă menținerea temperaturii produsului, la ieșirea din cuptor, la valoarea tehnologică impusă. Structura clasică de conducere a procesului este prezentată în figura 1.44.

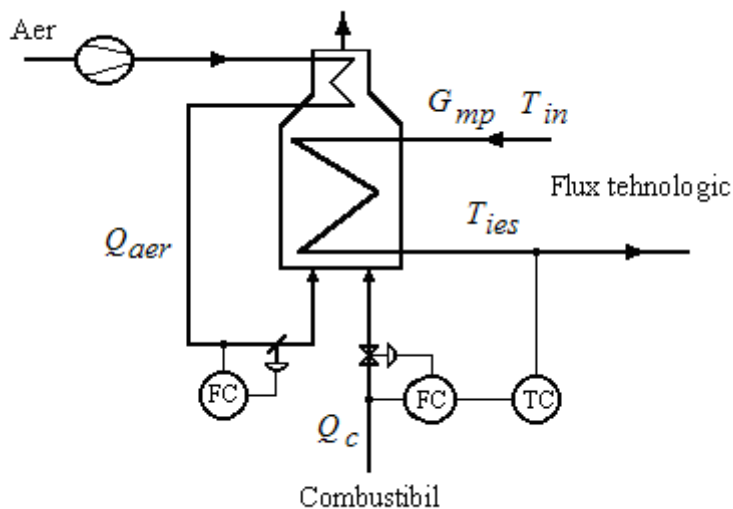


Fig. 1.44. Structura de reglare a temperaturii asociată unui cuptor tubular.

În condițiile funcționării SRA-T, pentru un debit de produs G_{mp} și o temperatură de intrare T_{in} cunoscute, debitul de combustibil va fi dependent de debitul de aer la care este operat cuptorul industrial, caracteristica fiind prezentată în figura 1.45. Funcția obiectiv asociată sistemului chimic este debitul de combustibil iar variabila independentă este debitul de aer.

Algoritmul de optimizare este denumit regulatorul extremal pas cu pas [1]. În cazul determinării minimumului, relațiile ce caracterizează regulatorul extremal pas cu pas sunt următoarele:

$$u(k) = u(k-1) + r(k)\Delta u, \quad (1.52)$$

$$r(k) = \begin{cases} r(k-1); f_{ob}(k) \leq f_{ob}(k-1) \\ -r(k-1); f_{ob}(k) > f_{ob}(k-1) \end{cases}, \quad (1.53)$$

având condițiile inițiale

$$\begin{cases} r(1) = -1 \\ u(1) = u_0 \\ \Delta u = \Delta u_0 \end{cases}, \quad (1.54)$$

în care k reprezintă pasul curent de explorare; u - valoarea argumentului funcției obiectiv; Δu - valoarea pasului de căutare; f_{ob} - valoarea funcției obiectiv; r - sensul de explorare definit prin $r = \begin{cases} 1, & \text{pentru sensul de creștere} \\ -1, & \text{pentru sensul de scădere} \end{cases}$.

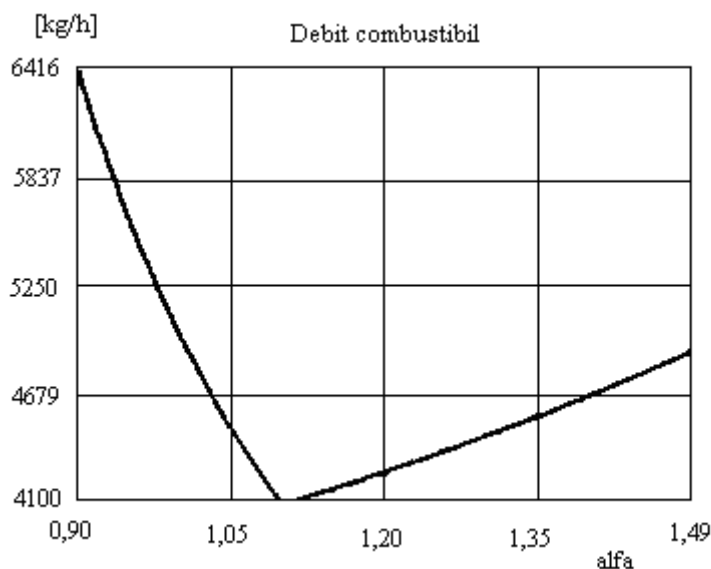


Fig. 1.45. Caracteristica statică a cuptorului tubular prevăzut cu SRA-T.

Aplicând relațiile asociate regulatorului extremal pas cu pas (1.41) - (1.43), se va determina un interval în care se găsește punctul optim de operare a cuptorului tubular. Realizarea industrială a unui sistem de reglare optimă a combustiei bazat pe regulatorul extremal pas cu pas este mult mai dificilă, deoarece cuptorul nu trebuie operat în domeniul arderii incomplete (domeniu aflat în stânga punctului de optim). În figura 1.46 este prezentată o structură posibilă a unui sistem de reglare optimă a combustiei.

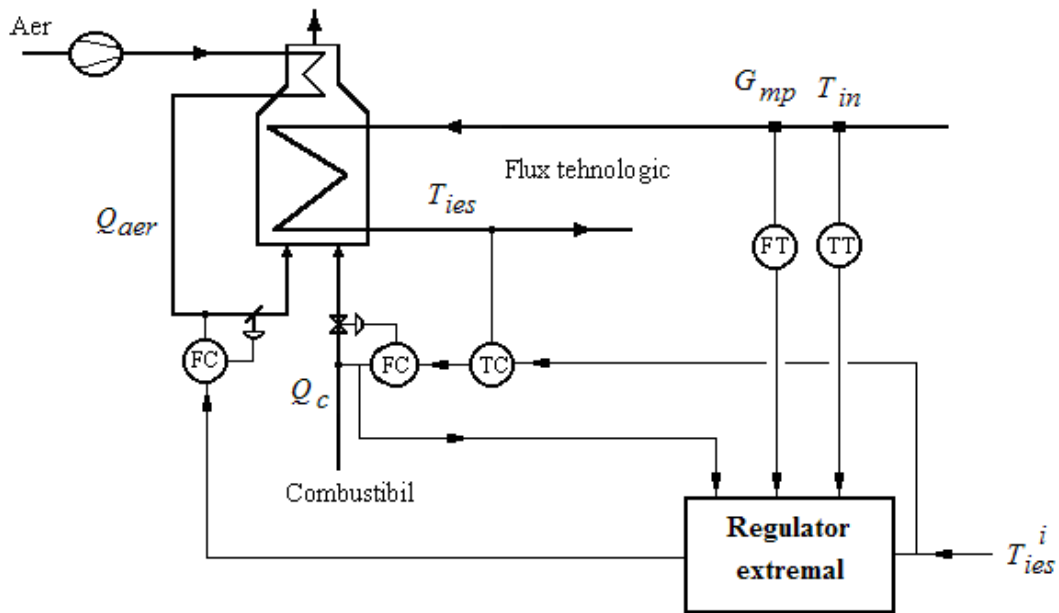


Fig. 1.46. Structura sistemului de reglare optimală a combustiei.

1.7.2. Optimizarea dinamică

Se consideră un sistem pentru care mărimile p , u și y sunt unidimensionale. În regim dinamic sistemul este descris prin modelul

$$\frac{dy}{dt} = f(p, u, y), \quad (1.55)$$

având condiția inițială $y(0)$.

Acest sistem trebuie condus astfel încât atunci când $y(t)$ parcurge traiectoria de la $y(0)$ la $y(t_1)$, funcționala definită prin

$$J = \int_0^{t_1} \Phi(p, u, y) dt \quad (1.56)$$

sa fie minimizată [5].

Exemple de probleme practice în care intervin funcționale sunt :

- pornirea unei instalații astfel încât timpul de atingere al stării staționare dorite sa fie minim ;
- conducerea unui proces pe un interval de timp dat cu maximizarea beneficiului.

1.8. Sisteme ierarhice de conducere automată

Necesitatea creșterii eficienței economice în contextul complexității unităților economice din industria chimică, a instalațiilor tehnologice precum și nivelul foarte mare al informațiilor vehiculate a impus proiectarea și realizarea de sisteme ierarhice de conducere automată.

1.8.1. Structuri ierarhice de conducere automată

Operarea platformelor chimice presupune decizii și acțiuni luate la un anumit număr de niveluri și orizonturi de timp asociate. O asemenea abordare are în vedere existența a cinci niveluri de conducere ierarhică: societate comercială, instalație, proces unitar, operare proces unitar, sisteme de reglare de bază, figura 1.47.

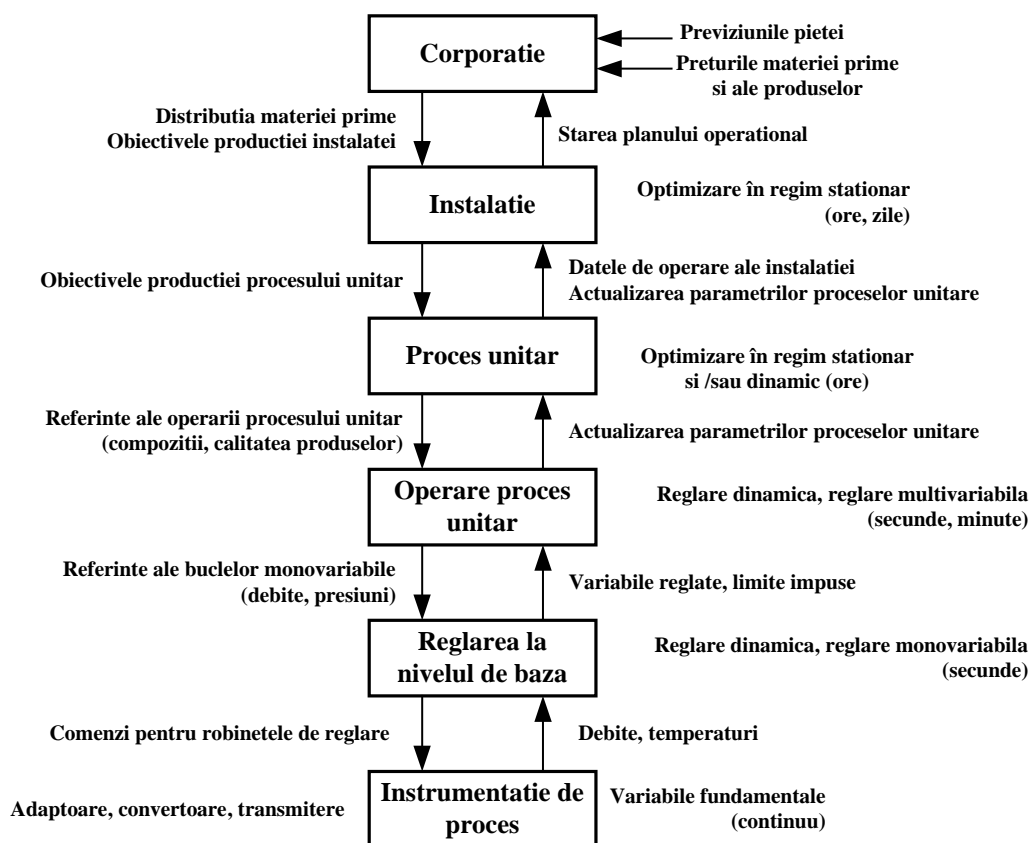


Fig. 1.47. Structura de conducere ierarhică a unei rafinării.

La nivelul ierarhic asociat societății comerciale se adoptă deciziile de alocare a resurselor, se fac proiecții ale cererii pieței, se verifică disponibilitatea materiilor prime și cheltuielile de operare necesare pentru realizarea planului de producție. De asemenea este realizată și optimizarea alocării resurselor și a produselor astfel încât profitul să fie

maxim. Aceste decizii sunt luate la momente de timp neregulate: săptămânal, lunar sau pe trimestru. În mod obișnuit, deciziile sunt adoptate pe baza calculelor de optimizare liniară. Informația rezultată este trimisă mai departe nivelului ierarhic asociat instalației tehnologice.

Nivelul ierarhic asociat instalației tehnologice generează deciziile de alocare a resurselor între diferitele procese unitare ale platformei. Deciziile se iau zilnic sau chiar mai frecvent, în funcție de sistemul de conducere al proceselor unitare. Un exemplu îl constituie utilizarea aburului provenit din surse diferite, cu costuri diferite.

Nivelul ierarhic al operării procesului unitar preia decizia elaborată de către nivelul ierarhic superior, realizează modificări pentru îndeplinirea obiectivelor trasate. Acest nivel presupune echipamente individuale de conducere, referințele acestora putând fi schimbate la interval de o oră sau chiar mai frecvent. Baza de timp asociată reglării la acest nivel este de ordinul minutelor.

Nivelul ierarhic al reglării de bază constă în sistemele de reglare a presiunii, nivelului și debitului. Constantele de timp asociate acestui nivel sunt situate sub 1 secundă.

1.8.2. Studiu de caz. Structuri de conducere ierarhică a proceselor de fracționare

Fracționarea sau distilarea fracționată este cea mai răspândită operație de separare a amestecurilor în componente pure sau fracțiuni. Din acest motiv, problema separării prin fracționare a amestecurilor binare, dar mai ales a celor multicomponent a căpătat o dezvoltare deosebită. Obiectivul economic al fracționării este obținerea de produse mai valoroase în raport cu amestecul supus prelucrării. Deoarece valoarea produselor depinde direct de calitatea lor, reglarea calității acestora are o importanță de prim ordin în operarea coloanei. Asigurarea specificațiilor de calitate este însă numai un aspect al reglării coloanei; operarea acesteia trebuie să asigure o anumită producție și un anumit beneficiu. Aceste trei obiective: calitatea, producția și beneficiul sunt puternic interconectate.

Evoluția proceselor de fracționare, a țințelor care trebuie atinse în exploatare precum și dezvoltarea echipamentelor de automatizare au făcut ca structurile ierarhice de conducere automată să fie studiate și implementate pe scară largă. În acest context, în literatura este prezentată o structură ierarhică de conducere a procesului de fracționare a amestecului propenă-propan [7, 22]. Structura are 3 niveluri ierarhice, figura 1.48.

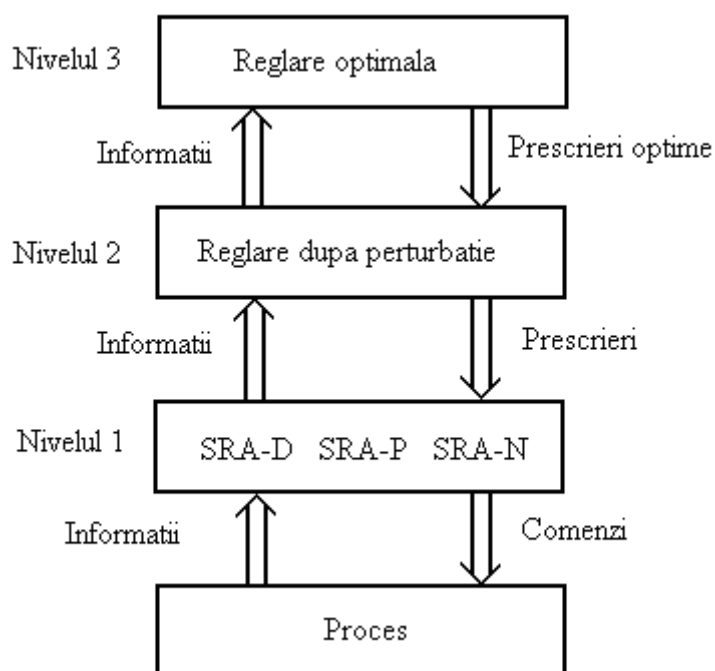


Fig. 1.48. Structura de conducere ierarhică a procesului de fracționare propena-propan.

Nivelul 1 de conducere. Sistemul multivariabil reprezentat de coloana de fracționare propenă-propan are 5 mărimi de intrare și 5 mărimi de ieșire. Dintre cele cinci mărimi de ieșire, concentrațiile produselor separate prezintă un interes deosebit. Studiul matricei amplificărilor relative în regim staționar, MARS, reprezintă un ghid util în alegerea perechilor agent de reglare – concentrație reglată. Un studiu comparativ pentru configurațiile de reglare LV , LB , DV , DB/L , DV/B , SB/L , SV/B , utilizând relațiile de calculul dezvoltate de Shinsky, este prezentat în tabelul 1.17.

Tabelul 1.17

Rezultatele numerice ale MARS

Structura	MARS	Structura	MARS
Λ_{DV}	0.841	Λ_{LV_B}	0.828
$\Lambda_{DL/B}$	1.019	Λ_{SD}	0.241
$\Lambda_{DV/B}$	1.042	Λ_{SV}	2.435
Λ_{LD}	0.165	$\Lambda_{SL/B}$	0.942
Λ_{LB}	1.010	$\Lambda_{SV/B}$	1.015
Λ_{LV}	20.831	Λ_{DS}	0.758
$\Lambda_{LL/B}$	0.910		

Dintre amplificările relative supraunitare, structura *LB* are valoarea cea mai apropiată de 1 și în consecință această structură va reprezenta nivelul 1 de conducere ierarhică, figura 1.49.

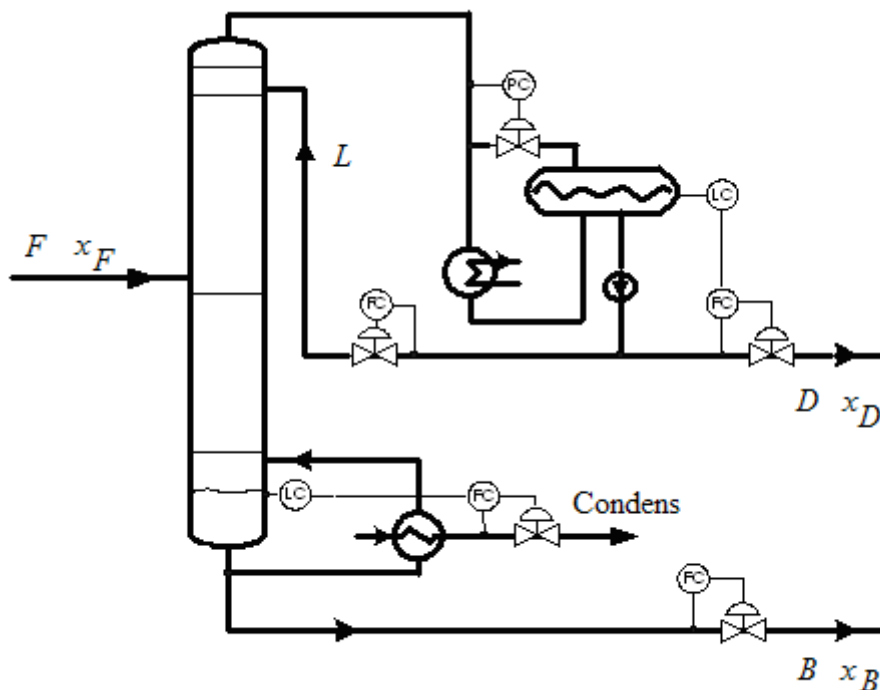


Fig. 1.49. Structura de reglare asociată nivelului 1 de conducere ierarhică.

Nivelul 2 de conducere. La nivelul 2 de conducere ierarhică este implementat un sistem de reglare a concentrațiilor produselor separate, sistem cu acțiune după perturbație, figura 1.50.

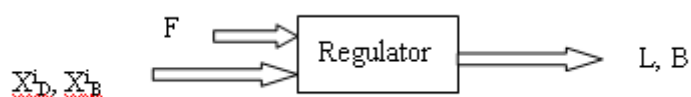


Fig. 1.50. Schema bloc a regulatorului după perturbație.

Modelul matematic de conducere al procesului are forma Fenske-Gilliland-Underwood [12]:

$$B = F \frac{x_D^i - x_F}{x_D^i - x_B^i}; \quad [\text{kmol/h}] \quad (1.57)$$

$$N_{min} = \frac{\ln \left(\frac{x_D^i}{1 - x_D^i} * \frac{1 - x_B^i}{x_D^i} \right)}{\ln \alpha}; \quad (1.58)$$

$$\theta = \frac{\alpha}{x_F(\alpha - 1) + 1}; \quad (1.59)$$

$$R_{min} = \frac{\alpha x_D^i}{\alpha - \theta} + \frac{1 - x_D^i}{1 - \theta} - 1; \quad (1.60)$$

$$A = \left(1 - 1,333 * \frac{N - N_{min}}{N + 1} \right)^{1,7587}; \quad (1.61)$$

$$R = \frac{A + R_{min}}{1 - A}; \quad (1.62)$$

$$L = R(F - B); [\text{kmol/h}], \quad (1.63)$$

în care α reprezintă volatilitatea medie relativă a componentului ușor în raport cu cel greu; θ - parametru în relația Underwood; R_{min} - rația minimă de reflux; N - numărul teoretic de echilibre lichid-vapori (talere teoretice); N_{min} - numărul minim de echilibre teoretice; R_{min} - rația minimă de reflux; R - rația reală de reflux; A - parametru în relația Eduljee; L - debitul de reflux; i - indice asociat prescrierii sistemului automat de conducere.

Structura sistemului de conducere ierarhică a procesului de fracționare a amestecului propenă-propan cuprinde nivelul unu al automatizării de bază și nivelul 2 al reglării concentrațiilor cu acțiune după perturbație, figura 1.51. Prescrierile nivelului 2 de conducere sunt concentrația în propenă a distilatului și a produsului din bază, perturbația măsurată este debitul de alimentare F , iar comenzile nivelului 2 de conducere sunt materializate ca prescrieri ale sistemelor de reglare a debitului de reflux L și a debitului din bază B , sisteme situate la nivelul ierarhic 1.

Nivelul 3 de reglare. În cadrul acestui nivel conducere ierarhică este dezvoltat un sistem de reglare optimală a procesului de fracționare. Regulatorul optimal asociat acestui nivel conține funcția obiectiv, modelul matematic de conducere asociat nivelului 2 și un algoritm de determinare a optimului [12]. Funcția obiectiv asociată acestui nivel de conducere are forma

$$F_{ob}(x_B^i) = 44 * 10^{-3} M_b \Delta p B x_B^i + c_a Q_a, \quad (1.64)$$

unde Q_a este debitul de abur [t/h]; c_a - costul aburului [lei/t]; Δp - diferența dintre prețurile de vânzare a distilatului (propenă) și a produsului din bază (propan) [lei/t]; B - debitul de produs din bază [kmol/h]; x_B^i - concentrația impusă propenei în produsul de baza [fracții molare].

Primul termen din relația (1.64) este asociat recuperării produsului valoros, iar cel de al doilea definește efortul de operare. Legătura dintre variabilele funcției obiectiv și comenzile procesului este data de relația

$$Q_a = r_D(L + F - B), \quad [\text{t/h}] \quad (1.65)$$

precum și de modelul matematic de conducere asociat nivelului 2, relațiile (1.57) – (1.63). În cadrul relației (1.65) r_D reprezintă raportul dintre căldura latentă de vaporizare a propanului și căldura latentă de condensare a aburului [t/kmol].

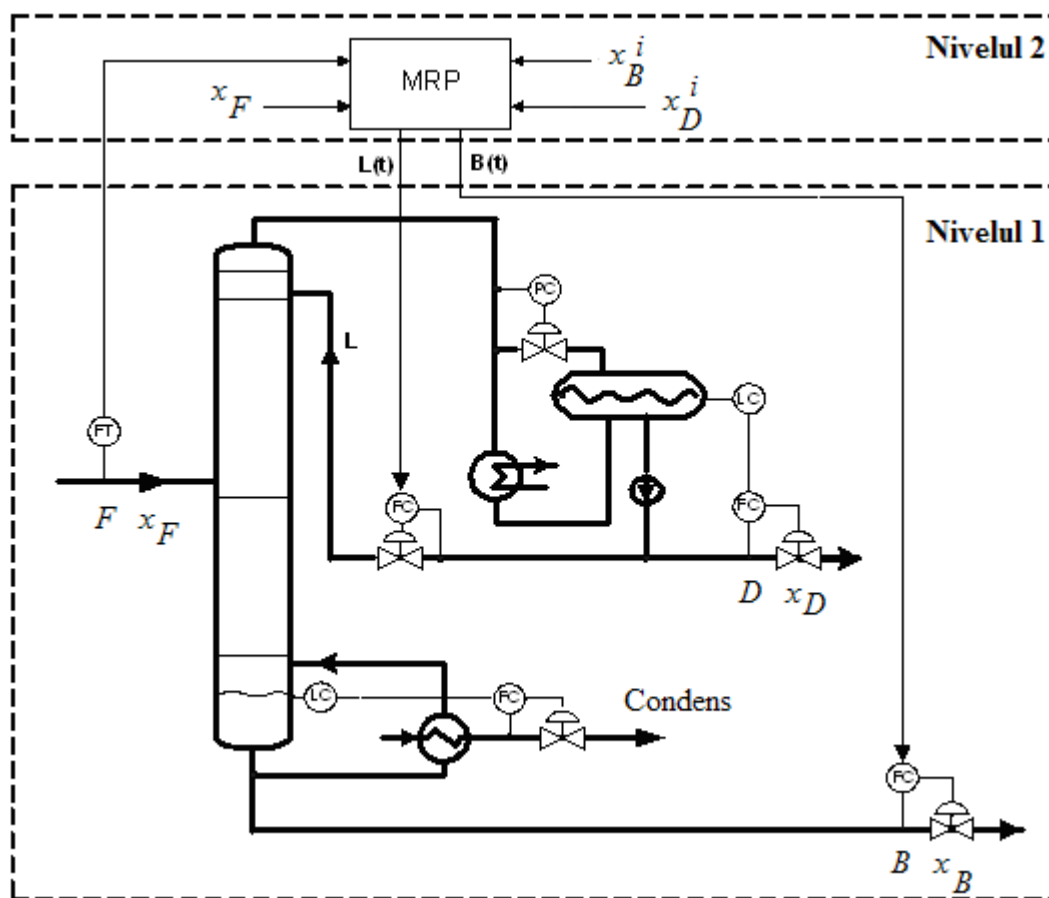


Fig. 1.51. Structura de conducere a procesului de fracționare cu două niveluri ierarhice.

Reglarea optimă a coloanei de fracționare este o problemă tehnico-economică, fiind dependentă de evoluția prețurilor. Astfel, în contextul modificării prețurilor celor două produse, reflectate prin Δp , sau a prețului aburului c_a , aspectul funcției obiectiv se schimbă substanțial, mergând până la dispariția punctului de optim în domeniul tehnic de operare al coloanei, figura 1.52 a, b.

Pentru determinarea poziției optimului au fost utilizați algoritmi din clasa metodelor de eliminare. Performanțele celor trei algoritmi utilizați, algoritmul Fibonacci, algoritmul secțiunii de aur și algoritmul perechilor secvențiale, sunt analizate comparativ, tabelul 1.18.

Regulatorul optim proiectat de autori are o prescriere rigidă, x_D , comanda acestuia, valoarea optimă a prescrierii concentrației propenei în propan, $x_B^{i\text{opt}}$, fiind calculată pe baza valorilor perturbațiilor F și x_F . Structura de conducere elaborată de autori are trei niveluri ierarhice: nivelul reglării de baza (nivelul 1), nivelul reglării după perturbație (nivelul 2) și nivelul reglării optime (nivelul 3), figura 1.53.

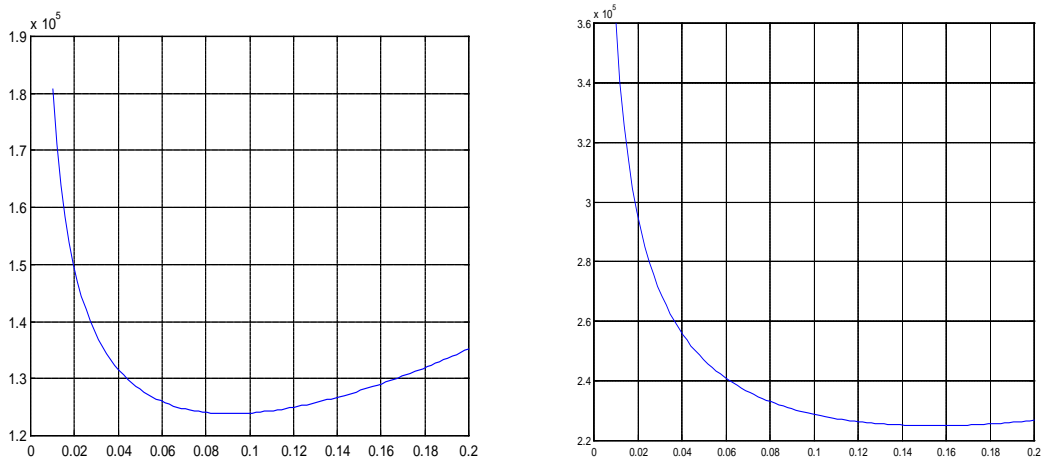


Fig. 1.52. Reprezentarea grafică a funcției obiectiv (1.46) în condițiile:
 a) $\Delta p = 160000$ lei/t și $c_a = 20$ lei/t ; b) $\Delta p = 160000$ lei/t și $c_a = 40$ lei/t.

Tabelul 1.18

Rezultatele obținute la minimizarea funcției (1.64)

Parametrul	Algoritmul		
	Fibonacci	Secțiunea de aur	Perechi secvențiale
x^{opt}	8.8283261E-02	8.8757481E-02	8.8778940E-02
f^{opt}	1.2090192E+05	1.2090173E+05	1.2090174E+05
Iterații	11	11	10
Număr evaluări	12	12	21

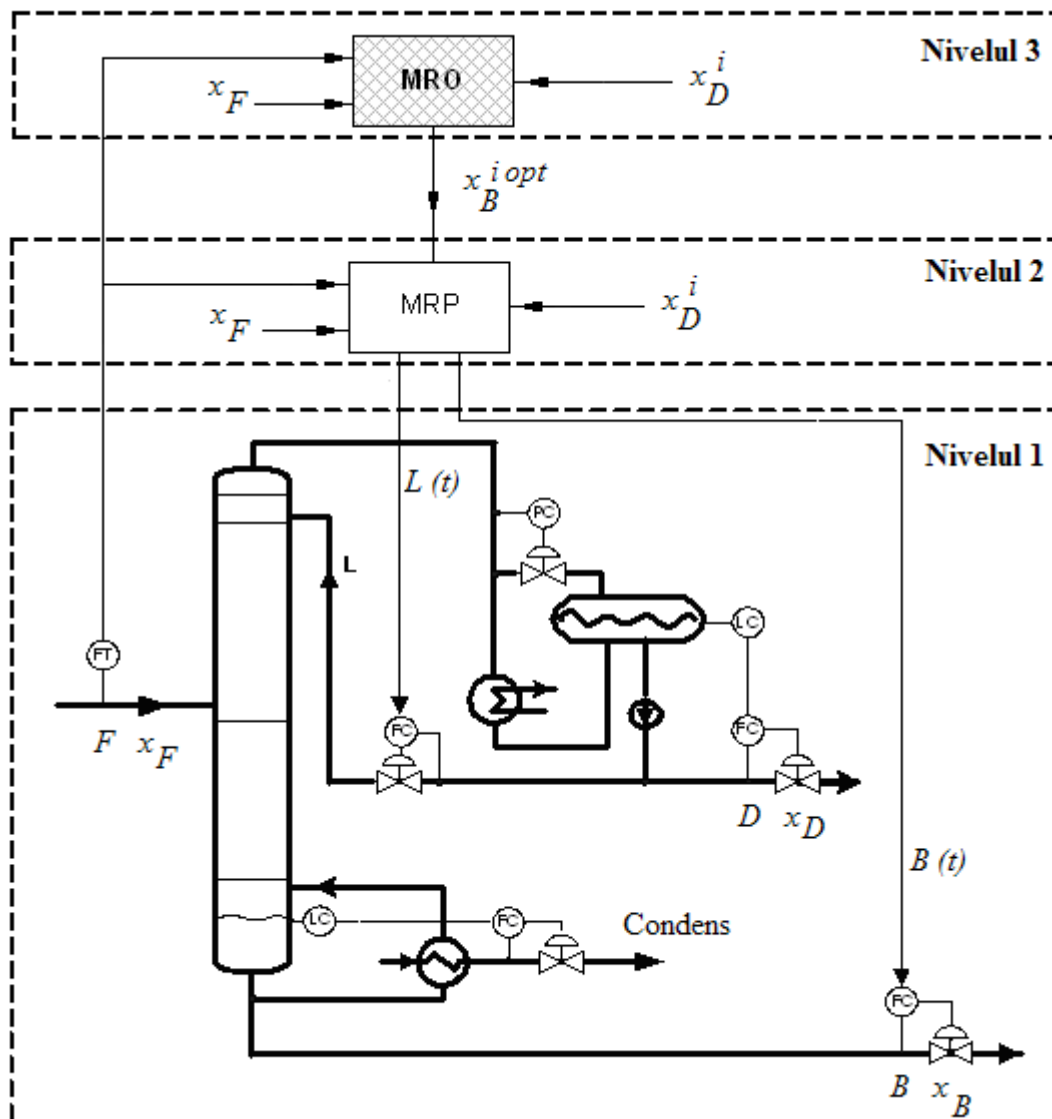


Fig. 1.53. Structura de conducere a procesului de fracționare cu trei niveluri ierarhice.

Bibliografie

1. Dumitrache I., *Tehnica reglării automate*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
2. Dumitrescu St., s.a., *Aparate de măsurat și automatizări în petrol și petrochimie*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
3. Luyben W.L., *Process modeling. Simulation and control for chemical engineering*, McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 1985.
4. Luyben W.L., Bjorn T., *Plantwide Process Control*, Editura Mc. Graw Hill, New York, USA, 1999.
5. Marinoiu V., *Automatizarea proceselor petrochimice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1977.
6. Marinoiu V., Stratula C., Pătrășcioiu C. – *Metode numerice aplicate în ingineria chimică*, București, Editura Tehnică, 1986.
7. Marinoiu V., Pătrășcioiu C., Francu S. - *Some Aspect about Advanced Control of Chemical Processes - Control Engineering and Applied Informatics*, vol. 2. nr. 1, București, December, 2000.
8. Ng Christine, Stephanopoulos G., *Plant-Wide Control Structures And Strategies*, 5th IFAC Symposium on Dynamics and Control of Process Systems, Corfu, Greece, 1998.
9. Patrascioiu C., Optimizarea automata a arderii combustibilului în cuptoare tubulare, Universitatea "PETROL-GAZE", Ploiesti 1994.
10. Patrascioiu C., Eftene C., *Modeling a Rieser – Type Reactor of Fluid Cracking Catalytic Unit*, Proceedings of the 12th International Symposium on Modeling, Simulation and identification, Septembrie 24-25, Dunarea de Jos University of Galati, 2004.
11. Pătrășcioiu C. – *Metode numerice aplicate în ingineria chimică – Aplicații în PASCAL*, Editia a 2^a, Editura MatrixRom, București, 2005.
12. Pătrășcioiu C. – *Tehnici numerice de optimizare*, Editura MatrixRom, București, 2005.
13. Patrascioiu C., Francu S., *Structuri de conducere ierarhică a proceselor de fracționare*, Buletinul Universității Petrol-Gaze din Ploiesti, vol. LVII, Seria Tehnică, Nr. 2, 2005.
14. Popa C., Patrascioiu C., *Hierarchical Control Structure of the Catalytic Cracking Unit*, Buletinului Științific al Universității "Politehnica" din Timisoara, seria Chimie și Ingineria Mediului, ISSN 1224-6018, Vol. 51(65), No. 1 - 2, 2006, pag. 35 – 38.
15. Popa C., Paraschiv N., Patrascioiu C., *Modeling, Simulation and Hierarchical Control of the Fluid Catalytic Cracking*, Proceedings of the 17th International Conference on Control Systems and Computer Science, ISSN 2066-4451, Editura Politehnica Press, București, 2009, p. 547-552.

16. Popa C., Patrascioiu C., *New Approach in Modelling, Simulation and Hierarchical Control of the Fluid Catalytic Cracking Process*, Revista de Chimie, 61, Nr.4, 2010, ISSN 0034-7752, pag 419-426.
17. * * * *Fisher - Rosemount, Arhitectura PlantWeb*, Revista Română de petrol și gaze, Ploiești, aprilie 2000.
18. * * * ISA-S5.3, *Graphic Symbols for Distributed Control/Shared Display Instrumentation, Logic and Computers Systems*, Instrument Society of America, ISBN 0-87664-707-7.
19. * * * STAS 6755-81, *Semne convenționale și simboluri literale*.
20. * * * www.tufts.edu/~rwhite07/PRESENTATIONS.
21. * * * ece.wpi.edu/courses/es3011/sim/simulink.html
22. * * * www.weizmann.ac.il/matlab/toolbox/simulink/ug/basics.html