

# Laborator 1

## Structuri de reglare neconvenționale.

## Structuri de reglare în cascadă.

### 1.1 Tema

Studiul unor structuri de sisteme de reglare neconvenționale pentru procese cu o intrare și mai multe mărimi măsurate și pentru procese cu mai multe comenzi și o ieșire. Studiul comportării unui sistem de reglare în cascadă. Acordarea experimentală a reguletoarelor dintr-un sistem de reglare în cascadă și analiza performanțelor la variația referințelor și a perturbațiilor.

### 1.2 Preliminarii

Reglarea unor procese multivariabile utilizând, natural, compensatoare multivariabile fără restricții de structură, deși larg tratată în teoria sistemelor, nu este aproape deloc utilizată în practica automatizărilor industriale. Printre motivele acestei stări de fapt putem enumera următoarele:

1. necesitatea pentru proiectarea unui compensator multivariabil a unui model matematic suficient de exact al procesului, model care se obține, în general, în urma unui proces de identificare costisitor și dificil;
2. în ipoteza existenței pentru proces a unui model matematic satisfăcător, este necesar un efort la fel de dificil și de costisitor de proiectare al compensatorului multivariabil;
3. compensatorul multivariabil este un produs unicat, destinat exclusiv conducerii procesului pentru care a fost proiectat: de aceea și costurile de proiectare și implementare sunt ridicate;
4. renunțarea la stabilirea modelului matematic al procesului și a proiectării compensatorului ar însemna utilizarea unor structuri generice de compensatoare multivariabile și utilizarea unor proceduri de acordare experimentală; o astfel de soluție nu s-a dovedit viabilă în practică din cauza complexității compensatoarelor, numărului mare de parametri de acordat, inexistența unor proceduri de acordare experimentală etc.

5. dificultatea stăpânirii unor situații de avarie etc.

De aceea, în practica reglării proceselor multivariabile, se utilizează, aproape în exclusivitate, reglarea descentralizată care, cel puțin într-o primă fază, privește procesul multivariabil ca o colecție de procese monovariabile (SISO: Single Input Single-Output). Sistemele de reglare automată realizate într-o astfel de viziune ar fi o colecție de sisteme SISO convenționale care beneficiază de multiple avantaje:

1. utilizarea unor controllere (algoritmi de reglare) tipizate, de uz curent;
2. existența unor proceduri de acordare experimentală;
3. o experiență uriașă în operarea unor astfel de sisteme (inclusiv posibilități de comandă manuală) etc.

### 1.2.1 Sisteme de reglare în cascadă pentru procese cu mai multe mărimi măsurate

În situația unui proces cu o singură mărime reglată și o singură mărime de comandă, măsurarea și a altor mărimi de pe traiectul informațional intrare-ieșire oferă, cel puțin în principiu, posibilitatea obținerii unor performanțe superioare prin aportul suplimentar de informație de funcționare.

Dacă numărul total de mărimi măsurate este  $p > 1$ , utilizarea întregii informații curente conduce la o structură generală de compensator cu o matrice de transfer de tip "linie" (v. fig. 1.1)

$$H_C(s) = \begin{bmatrix} H_C^{(1)}(s) & H_C^{(2)}(s) & \dots & H_C^{(p)}(s) \end{bmatrix}, \quad (1.1)$$

impusă de structura "coloană" a matricei de transfer a procesului:

$$H_P(s) = \begin{bmatrix} H_P^{(1)}(s) \\ H_P^{(2)}(s) \\ \vdots \\ H_P^{(p)}(s) \end{bmatrix}. \quad (1.2)$$

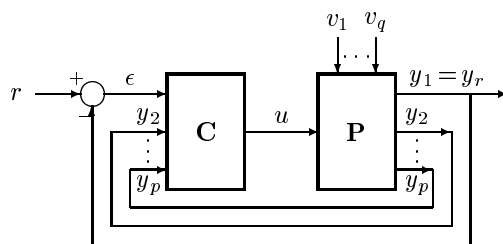


Figure 1.1: Sistem de reglare a unui proces SIMO (Single-Input Multi-Output); dintre mărimile măsurate (de ieșire) una singură ( $y_1$ ) este și mărime reglată.

**Structura de reglare în cascadă** reprezintă un caz particular al structurii generale și este caracterizat prin:

- posibilitatea ”ordonării” mărimilor măsurate pe traiectul causal mărime de comandă – mărime reglată, cu evidențierea unor subprocese înseriate și cu o repartizare pe subprocese a (punctelor de aplicare a) perturbațiilor importante;
- descompunerea compensatorului într-un set de controllere conectate în cascadă.

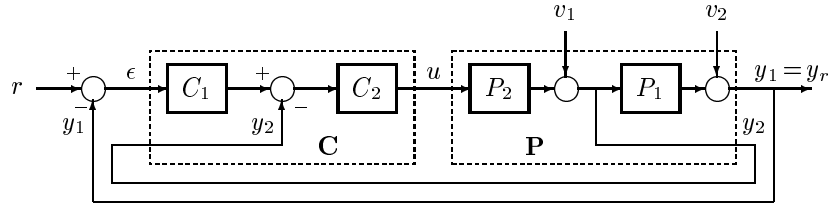


Figure 1.2: Sistem de reglare în cascadă cu două bucle.

În aceste condiții se pun în evidență mai multe bucle imbricate. Principalele avantaje ale utilizării unei structuri în cascadă sunt următoarele:

- utilizarea unor legi (algoritmi) de reglare tipizate, cu un număr redus de parametri de acordare, disponibile pe piața echipamentelor de automatizare în implementări analogice sau digitale;
- existența unei metodologii clare și ușor de aplicat pentru acordarea analitică sau experimentală a controllerelor componente; concret acordarea buclor se face în ordinea strictă *dinspre interior spre exterior* aplicându-se metodele de acordare de la sistemele convenționale (SISO);
- în general, cu o acordare corectă a controllerelor individuale, performanțele de reglare sunt net superioare în raport cu cele obținute cu o structură convențională.

În continuare, pentru lucrarea de laborator, vom considera  $p = 2$ . În acest caz, procesul se presupune a fi o înseriere a două subprocese (v. fig. 1.2) cu funcțiile de transfer  $H_2(s)$ ,  $H_1(s)$ , i.e. cu o matrice de transfer de forma (1.1):

$$H_P(s) = \begin{bmatrix} H_2(s)H_1(s) \\ H_2(s) \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

pentru care matricea de transfer a compensatorului ”general” se particularizează în

$$H_C(s) = [ K_1(s) \quad K_2(s)K_1(s) ] \quad (1.4)$$

unde  $K_1(s)$ ,  $K_2(s)$  sunt funcțiile de transfer a două compensatoare convenționale (i.e. SISO tipizate (P,PI,PID etc.))  $C_1$ , respectiv  $C_2$ .

### 1.2.2 Sisteme de reglare în cascadă pentru procese cu mai multe mărimi de comandă

Deși întâlnită mult mai rar în practică, există posibilitatea ca pentru reglarea unei mărimi scalare să fie disponibile două sau mai multe mărimi de execuție (comandă). Într-un astfel de caz, matricea de transfer a procesului este o matrice ”linie”

$$H_P(s) = \left[ H_P^{(1)}(s) \quad H_P^{(2)}(s) \quad \cdots \quad H_P^{(m)}(s) \right], \quad (1.5)$$

exprimând posibilitatea descompunerii sale în subprocese conectate în paralel la ieșire (v. fig. 1.4) și impunând o structură coloană a matricei de transfer a compensatorului (v. fig. 1.3):

$$H_C(s) = \begin{bmatrix} H_C^{(1)}(s) \\ H_C^{(2)}(s) \\ \vdots \\ H_C^{(m)}(s) \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

Rezumându-ne iarăși, pentru laborator, numai la cazul  $m = 2$  putem impune o structură în

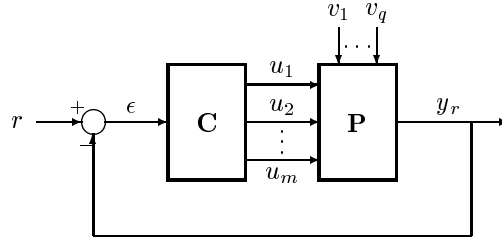


Figure 1.3: Reglarea multivariabilă pentru un proces MISO (Multi-Input Single-Output).

cascadă compensatorului conform careia una din comenzi este furnizată direct de un controller tipizat având ca intrare eroarea de reglare, iar cel de al doilea, conectat în cascadă, furnizează cea de a doua comandă (v. fig. 1.1). Dacă  $K_1(s)$  și  $K_2(s)$  sunt funcțiile de transfer ale celor două controlere (presupuse analogice) atunci matricea de transfer a compensatorului este

$$H_c(s) = \begin{bmatrix} K_1(s) \\ K_2(s)K_1(s) \end{bmatrix}. \quad (1.7)$$

Această structură prezintă unele particularități dintre care cea mai importantă este impunerea unei relații între valorile staționare ale celor două comenzi. Este evident faptul că dacă  $C_2$  conține o componentă integrală (PI sau PID) atunci valoarea staționară a lui  $u_1$  este nulă. Dacă  $C_2$  este numai P sau PD atunci, evident, raportul dintre valorile staționare ale celor două comenzi este  $K_2(0)$ . Pentru a se evita valoarea staționară nulă din prima situație se poate impune o altă valoare, fixată printr-o referință  $r_{u_1}$  pentru aceasta (v. fig. 1.1). În acest fel controllerul  $C_1$  va acționa numai în regim tranzitoriu, necesitățile de variație de comandă de la un regim staționar la altul fiind preluate de controllerul  $C_2$ .

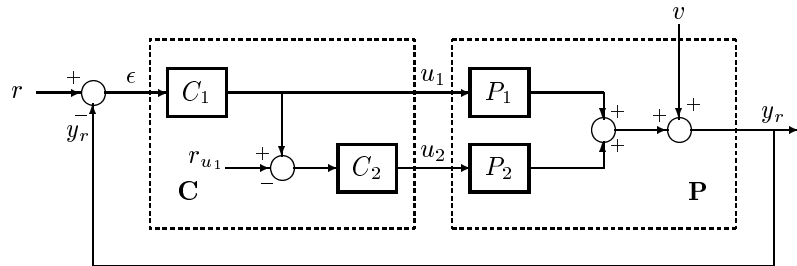


Figure 1.4: Reglarea în cascadă pentru un proces cu două comenzi și o mărime reglată (și măsurată).

### 1.3 Sarcini de lucru

Fie două subprocese cu perturbații aplicate la ieșire descrise de funcțiile de transfer

$$H_1(s) = \frac{2}{(10s+1)(2s+1)}, \quad H_2(s) = \frac{1.5}{(5s+1)(s+1)}. \quad (1.8)$$

#### A. Reglare în cascadă ”clasică” (pentru un proces SIMO)

Fie un proces obținut prin conectarea în serie a celor două subprocese de mai sus în ordinea și modalitatea din figura 1.2 și un compensator în cascadă ca în figura menționată în care cele două controllere sunt de tip PI. Se cere:

1. Se va elabora un program Lab-View pentru simularea în timp real a procesului cu posibilitatea de conducere manuală de la tastatură (de modificare a comenzii în timpul ”funcționării” procesului) și de modificare (de la aceeași tastatură) a celor două perturbații.
2. Folosind programul de la punctul precedent se va face un antrenament de reglare manuală a procesului.
3. Să se elaboreze un program de simulare în timp virtual a sistemului de reglare în cascadă în MATLAB (e.g. în SIMULINK) și a unui alt program de simulare a unui sistem de reglare convențional (cu acces numai la mărimea reglată  $y_1$ ) cu un controller considerat de student ca cel mai bun;
4. Folosind programul MATLAB de la punctul precedent, să se acordeze (experimental sau analitic) controllerele din structura în cascadă respectând metodologia de acordare menționată în preliminarii. De asemenea, să se acordeze optimal controllerul din structura convențională.
5. Să se facă o analiză comparativă a performanțelor celor două variante de automatizare la variații treaptă ale referinței și a celor două perturbații.
6. Se va elabora un program Lab-View pentru simularea în timp real a sistemului de reglare în cascadă.
7. Folosind acordările celor două controllere obținute în simularea în timp virtual se va studia comportarea sistemului de reglare în cascadă în timp real.

#### B. Reglare în cascadă pentru un proces MISO

Fie un proces obținut prin conectarea în paralel la ieșire a celor două subprocese de mai sus ca în figura 1.4 și fie un compensator în cascadă ca în figura menționată în care cele două controllere sunt de tip PI. Se cere:

1. Se va elabora un program Lab-View pentru simularea în timp real a procesului cu posibilitatea de conducere manuală de la tastatură (de modificare a celor două comenzi în timpul ”funcționării” procesului) și de modificare (de la aceeași tastatură) a celor două perturbații.
2. Folosind programul de la punctul precedent se va face un antrenament de reglare manuală a procesului.

3. Să se elaboreze un program de simulare în timp virtual a sistemului de reglare în cascadă în MATLAB (e.g. în SIMULINK).
4. Folosind programul MATLAB de la punctul precedent, să se acordeze (experimental sau analitic) controllerele din structura în cascadă respectând metodologia de acordare menționată în preliiminarii.
5. Se va elabora un program Lab-View pentru simularea în timp real a sistemului de reglare în cascadă.
6. Folosind acordările celor două controllere obținute în simularea în timp virtual se va studia comportarea sistemului de reglare în cascadă în timp real.

## Bibliografie

- [1] **I. Dumitrache**, *Ingineria Reglării Automate*, Curs.
- [2] **Jora B., Popeea C., Barbulea S.** *Metode de Calcul Numeric în Automatică*, Ed. Enciclopedică, București 1996.
- [3] **S. Călin, I. Dumitrache**, *Reglatoare Automate*, EDP, 1987.

## Aplicație

Se va simula un sistem de reglare autoamă în cascadă cu două bucle de reglare cu următoarele date:

- funcția de transfer a procesului în bucla interioară este:

$$H_2(s) = \frac{1.5}{s+1};$$

- funcția de transfer a procesului în bucla exterioară este:

$$H_1(s) = \frac{1}{7s+1};$$

- cele două regulatoare vor fi de tip PI:

$$H_R(s) = K_R \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right).$$

Obiectivele aplicației:

1. Acordarea celor două regulatoare PI ale sistemului de reglare automată în cascadă;
2. Performanțele sistemului de reglare:
  - urmărirea referinței
  - rejectia perturbațiilor aleatoare.

Aplicația va include posibilitate de comutare a buclei exterioare între cele două regimuri: automat, manual. La trecere pe comandă manuală, bucla internă se va comporta ca o buclă convențională de reglare, care va avea ca referință comanda manuală.

Observație

La trecerea între cele două regimuri de funcționare nu trebuie să apară salturi bruște în valorile comenzii. Se va memora la fiecare pas valoarea comenzii în așa fel încât la comutarea între regimuri aceasta să pornească de la valoarea de la pasul anterior.

## Rezultate

### 1. Acordarea reguletoarelor PI

După construirea sistemului de reglare în cascadă se execută aplicația lasând bucla exterioară pe regimul de manual. Se acordează regulatorul din bucla interioară astfel încât asigure performanțe bune în urmărirea referinței (comanda manuală a regulatorului buclei exterioare).

Există mai multe metode de acordare experimentală a reguletoarelor. Un exemplu este metoda Ziegler-Nichols, care presupune următorii pași :

1. Se execută aplicația cu  $K_R$  foarte mic (aproape 0) și  $T_i$  foarte mare;

2. Se mărește  $K_r$  și se aplică trepte de referință până la apariția oscilațiilor întreținute (se atinge limita de stabilitate);
3. Se reduce  $K_r$  la jumătate și nu se mai modifică valoarea sa;
4. Se micșorează  $T_i$  și se aplică trepte de referință până la atingerea limitei de stabilitate;
5. Se mărește valoarea lui  $T_i$  (cel puțin triplu).

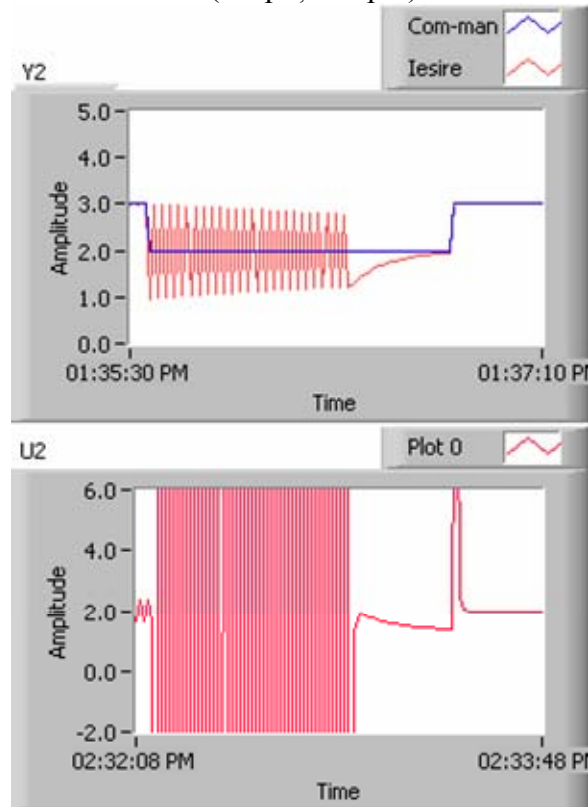


Fig. 1. Acordarea experimentală a regulatorului din bucla internă

După acordarea regulatorului din bucla internă se trece bucla externă pe automat și se acordează și acest regulator. Asupra regulatorului din bucla internă nu se mai intervine.

## 2. Performanțele sistemului de reglare în cascadă.

Se va construi o buclă convențională de reglare alcătuită din procesul de ordinul doi și un regulator PI. Se vor compara evoluțiile celor două sisteme de reglare și se vor trage concluzii asupra avantajelor și, eventual, dezavantajelor pe care le are sistemul de reglare în cascadă.



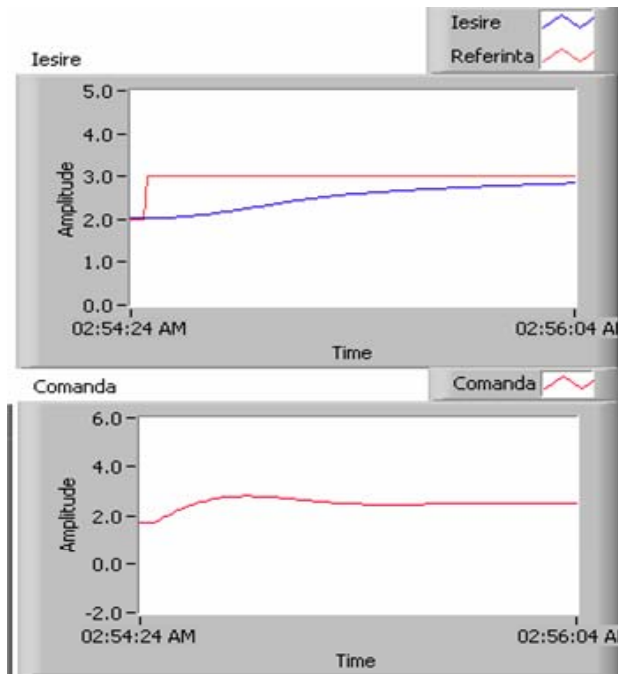


Fig. 2. Buclă convențională cu proces de ord II. Umărirea referinței.

În figura de mai sus este surprinsă comportarea buclei convenționale la aplicarea unei trepte de referință. În figura de mai jos (Fig. 3) prin comparație, se observă că se obțin performanțe mai bune prin introducerea încă unei bucle de reglare. Timpul tranzitoriu este mai mic în cazul cascadei. În plus la bucla convențională se observă o întârziere în reacția mărimii de ieșire la aplicarea trepte de referință.

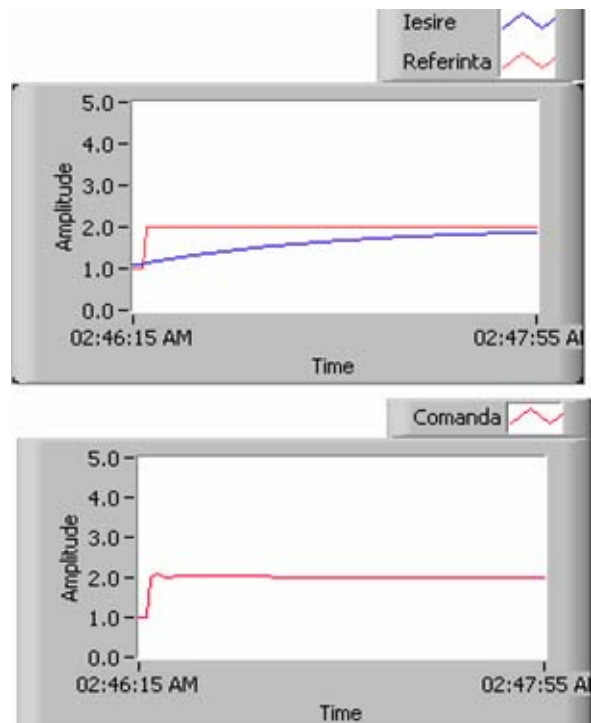


Fig. 3. Cascadă – urmărirea referinței

În ceea ce privește rejecția perturbațiilor, avantajele cascadei sunt evidente. Dacă punctul de aplicare a perturbației este în bucla interioară, rejecția este asigurată de regulatorul acestei bucle, iar influența acestora asupra mărimii de ieșire este minimă.

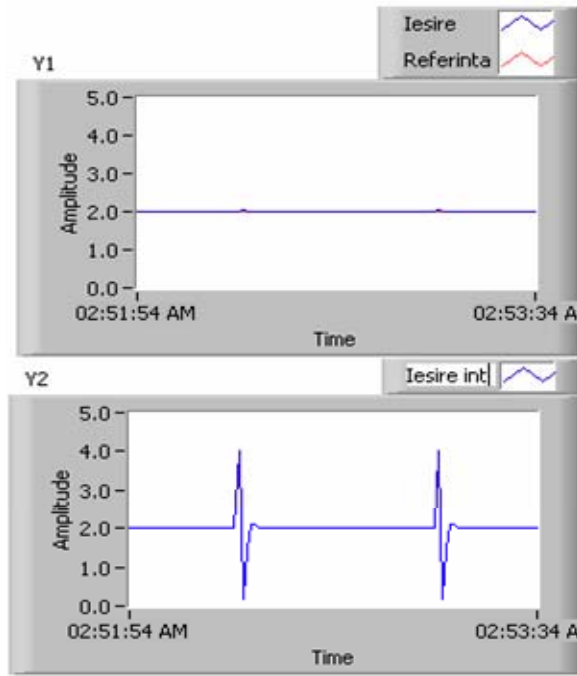


Fig.4. Cascadă – rejecția perturbațiilor

In cazul buclei convenționale de reglare, influența perturbațiilor asupra mărimii reglate este mult mai mare.

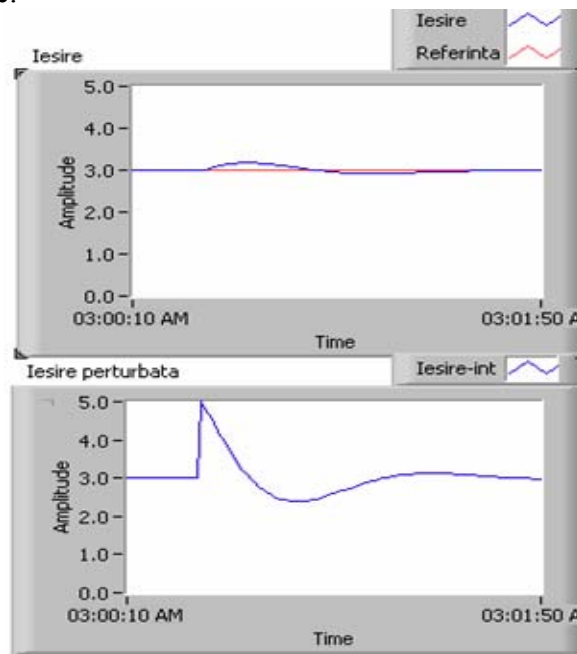


Fig. 5. Bucla convențională. Rejecția perturbațiilor.