

## Metode de conducere automată a instalațiilor din clădiri și locuințe

Prof. dr. ing. Sorin Larionescu - UTCB

Sistemele moderne de conducere automată înglobează adeseori în aceeași unitate fizică atât regulatoare cât și automate, componente studiate în mod tradițional separat folosind instrumente teoretice diferite. În această lucrare se încearcă o abordare care să pună în evidență conlucrarea acestor componente în cadrul metodelor de conducere automată a serviciilor oferite de clădiri și locuințe. Deși se consideră în mod curent că se automatizează instalații, de fapt, în practică, se conduc automat diverse procese din instalație care sunt *decuplate* tehnologic sau în *timp*. Aceste procese, care interacționează, pentru a putea fi conduse sunt modelate *determinist* sau *stochastic*<sup>1</sup> sub forma unui sistem cu elemente având o singură intrare și o singură ieșire<sup>2</sup>.

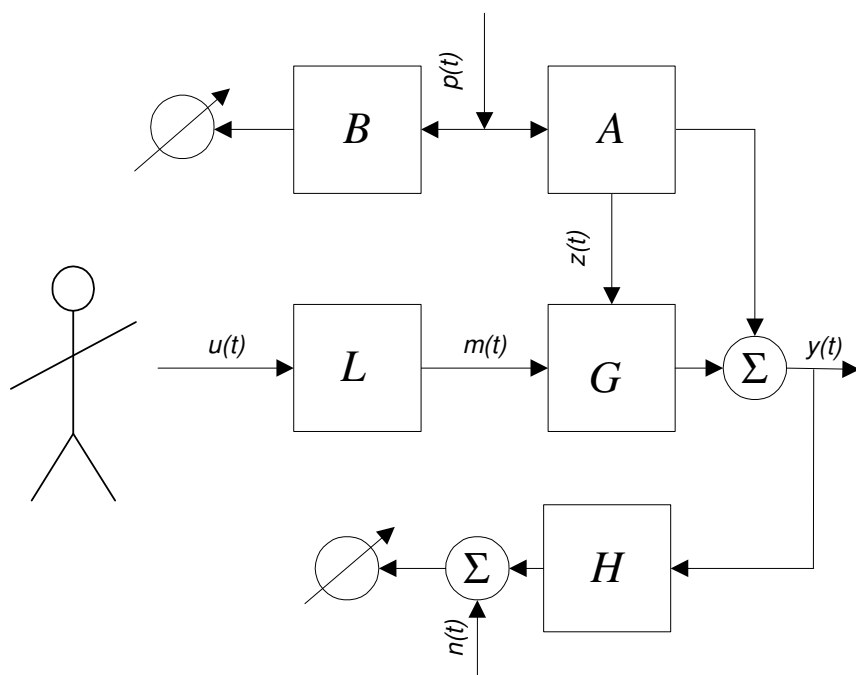


Fig. 1 Schema bloc a unui sistem cu conducere manuală a instalației.

Un bun punct de plecare pentru prezentarea conducerii automate o prezintă conducerea manuală<sup>3</sup>. O schemă bloc tipică pentru conducerea manuală este prezentată în Fig. 1. Semnalele semnificative pentru conducerea procesului din instalația  $G$  sunt: comanda  $u(t)$ , execuția  $m(t)$ , ieșirea  $y(t)$ , perturbația  $p(t)$ , zgomotul  $n(t)$  și variația parametrilor instalației  $z(t)$ . Blocul  $L$  reprezintă

<sup>1</sup> Perturbațiile sunt modelate, în general, sub forma unor procese stochastice.

<sup>2</sup> Exemplele clasice de sisteme tehnice cu mai multe intrări și mai multe ieșiri sunt schimbătorul de căldură și instalația de climatizare, adică echipamente din domeniul instalațiilor pentru construcții. Totuși, în practică, tehnologia este astfel proiectată încât procesele să fie decuplate și instalațiile să poată fi modelate cu ajutorul elementelor care au o singură intrare și o singură ieșire.

<sup>3</sup> Unele procese nu pot fi conduse manual din cauza constantelor de timp foarte mici sau foarte mari. Algoritmii de conducere automată nu urmăresc, în majoritatea cazurilor, metodele de conducere manuală. De exemplu, componentele integrală și derivativă a algoritmului PID nu sunt deloc intuitive.

elementul de execuție, blocurile B și H reprezintă traductoarele iar blocul A reprezintă procesul prin care perturbația  $p(t)$  influențează ieșirea  $y(t)$ .

În practică, la elaborarea metodelor de conducere, se consideră în majoritatea cazurilor că sistemul condus este *liniar* cu parametrii *invariabili* în timp. Aceasta înseamnă că semnalul  $z$  din Fig. 1 nu depinde de timp, iar întregul sistem poate fi condus aplicând principiul superpoziției care permite considerarea separată a efectelor celor trei intrări  $u(t)$ ,  $p(t)$  și  $n(t)$ . Efectul total este egal cu suma efectelor parțiale. Chiar din această frază rezultă că semnalul de comandă  $u(t)$  trebuie să fie elaborat de operator în așa fel încât să compenseze efectele perturbației  $p(t)$  și zgomotului  $n(t)$ . De fapt sarcinile operatorului sunt mult mai complexe. Să enumerăm câteva dintre ele:

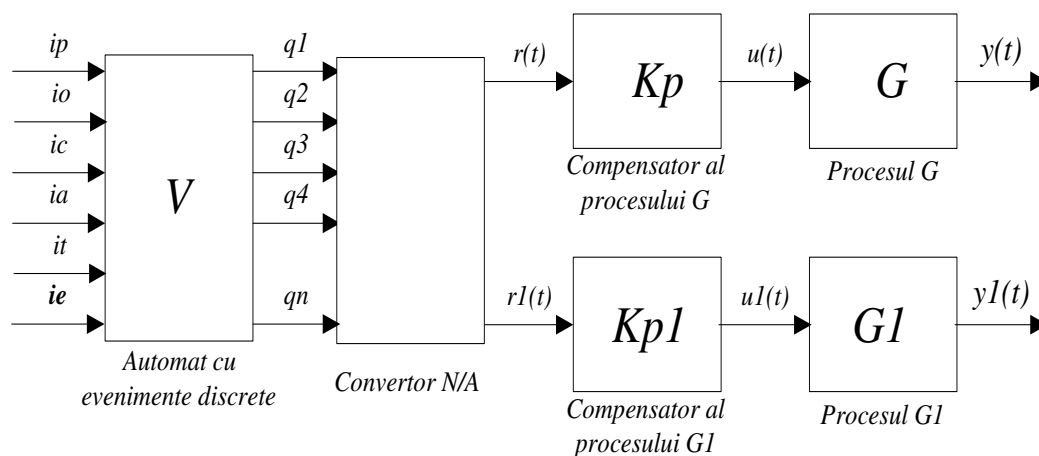


Fig. 2 Sistem cu conducerea automată a instalației în regim de urmărire folosind un automat și compensatoare ale proceselor din instalație

- Conducerea de urmărire. Comanda  $u(t)$  trebuie să fie astfel elaborată încât ieșirea  $y(t)$  să fie identică cu un program de funcționare în timp determinat de referința  $r(t)$ .
- Conducerea de reglare. Comanda  $u(t)$  trebuie să elimine într-o cât mai mare măsură efectul perturbației  $p(t)$ .
- Conducerea de filtrare. Comanda  $u(t)$  trebuie să nu fie influențată de zgomotul  $n(t)$  care apare la ieșirea traductorului H.
- Conducerea de configurarea echipamentului. Operatorul trebuie, de exemplu, să stabilească care sunt pompele de rezervă și de lucru.
- Conducerea pentru protecția oamenilor și a echipamentului. În caz de avarie operatorul trebuie să execute comenzi specifice.
- Conducerea se bazează pe măsurări. Din această cauză operatorul trebuie să aibă grijă să măsoare și, eventual, să înregistreze variabilele necesare din proces.
- Conducerea în funcție de apariția unor evenimente discrete, de exemplu conducerea instalației în zilele de sărbătoare.

Dacă instalația poate fi considerată liniară, sau liniarizabilă pe porțiuni, fiecareia dintre sarcinile de conducere manuală menționate îi corespunde un sistem specific de automatizare a instalațiilor. Să considerăm câteva cazuri.

Conducerea automată în regim de urmărire a proceselor din instalație este prezentată în Fig. 2. Din punct de vedere al automatizării instalației se remarcă compensatoarele proceselor  $K_p(s)$ ,  $K_{p1}(s)$  și automatul cu evenimente discrete  $V$ .

Compensatoarele și automatul funcționează cu semnale de conducere diferite. Automatul folosește semnale discrete logice iar compensatoarele folosesc semnale continue. Din această cauză legătura dintre ele se realizează printr-un convertor numeric-analogic de semnale. Datorită semnalelor diferite cele două echipamente sunt analizate și proiectate cu ajutorul unor instrumente teoretice diferite, deși în practică sistemul de conducere nu se poate dispensa de nici unul.

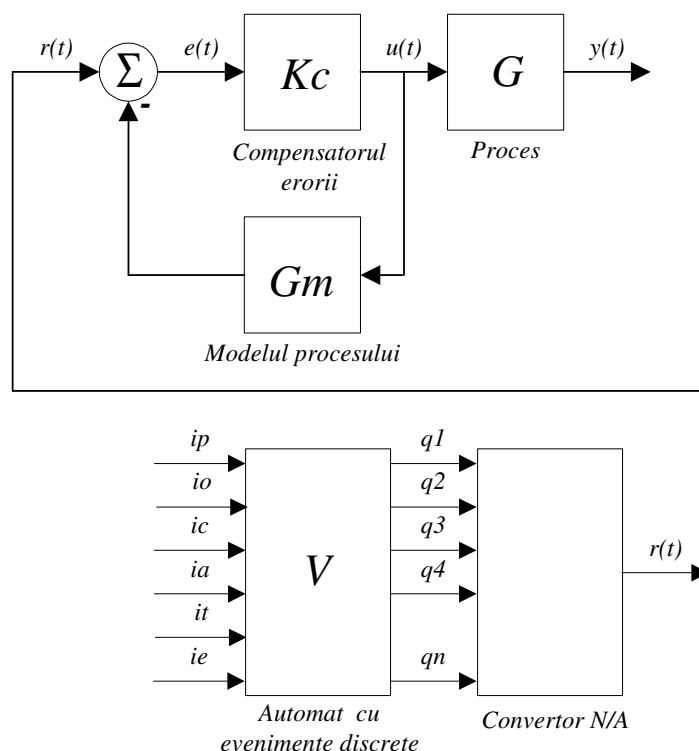


Fig. 3 Sistem cu conducere automată a instalației în regim de urmărire folosind un compensator al procesului realizat cu ajutorul reacției negative.

Automatul  $V$  cu evenimente discrete are la intrare, în cazurile mai simple, următoarele semnale logice exogene:

- $ip$  evenimente de pornire sau / și inițializare. Orice instalație de automatizare trebuie să conțină cel puțin un buton de pornire. Conducerea cu automate programabile necesită și un buton de inițializare<sup>1</sup>

<sup>1</sup>La automatele cu contacte și relee inițializarea se face în mod implicit prin oprire care decuplează alimentarea cu energie electrică.

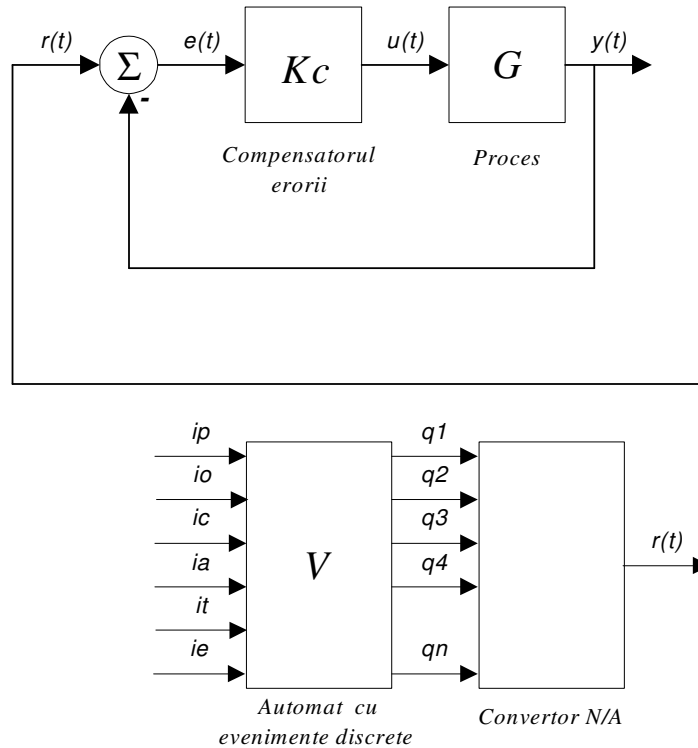


Fig. 4 Sistem cu conducere automată a instalației în regim de urmărire pentru situația în care modelul este identic cu procesul.

- **io** evenimente de oprire. Și aceste evenimente nu pot lipsii dintr-o instalație de automatizare.
- **ic** evenimente de configurare. În foarte multe situații instalația poate avea diferite configurații. Înainte de punerea sa în funcțiune, în regim de conducere manuală sau automată, trebuie să se stabilească structura sistemului. De exemplu, care este pompa de lucru și care pompă funcționează în regim de rezervă tehnologică.
- **ia** evenimente de avarie. Diferite semnale din procesele instalației pot fi indicatori de avarie. La apariția acestor semnale logice instalația de conducere automată trebuie să realizeze acțiunile necesare protecției oamenilor și echipamentelor tehnologice. Datorită importanței deosebite pe care o au aceste acțiuni ele sunt realizate de echipamente specializate care formează instalația de protecție automată.
- **it** evenimente de întârziere, de orar și calendar. Printre altele, aceste evenimente ajută la generarea programului de referință  $r(t)$  pentru mărimea de ieșire a instalației.
- **ie** alte evenimente din proces care ajută la conducerea instalației, de exemplu, prin pornirea și oprirea unor echipamente.

Ieșirile automatului cu evenimente discrete sunt semnalele logice  $q_1, q_2, \dots, q_n$ . Pentru instalația de automatizare în regim de urmărire aceste semnale contribuie la generarea referințelor  $r(t)$  și  $r_1(t)$  dar ele au un rol important și pentru echipamentele de automatizare care asigură pornirea, oprirea, configurarea, protecția și conducerea instalației în funcție de evenimente discrete.

În Fig. 2 sistemul automat este format din două părți, una cu semnale discrete logice la care conducerea se face de către automat și alta cu semnale continue la care conducerea se face de către compensatoare. Sistemele moderne conțin însă și o a treia parte, cu semnale discrete eșantionate la care conducerea se face de către un microcalculator. Din punct de vedere funcțional la aceste sisteme

microcalculatorul îndeplinește același rol ca și automatul sau compensatorul și din această cauză nu vor fi luate în considerare în cele ce urmează.

Proiectarea și analiza sistemului automat se face pe baza relațiilor dintre intrările și ieșirile elementelor sale. Pentru toate cele trei tipuri de sisteme automate, discret logic, continuu sau discret cu eșantionare, relațiile de intrare – ieșire pot fi exprimate atât grafic cât și analitic. În prezent sunt folosite mai mult grafurile<sup>1</sup> pentru sistemele discrete logice și relațiile analitice<sup>2</sup> pentru sistemele continue sau discrete cu eșantionare. Evident că pentru proiectarea asistată de calculator și în cazul sistemelor discrete logice trebuie să folosim metode analitice matriciale.

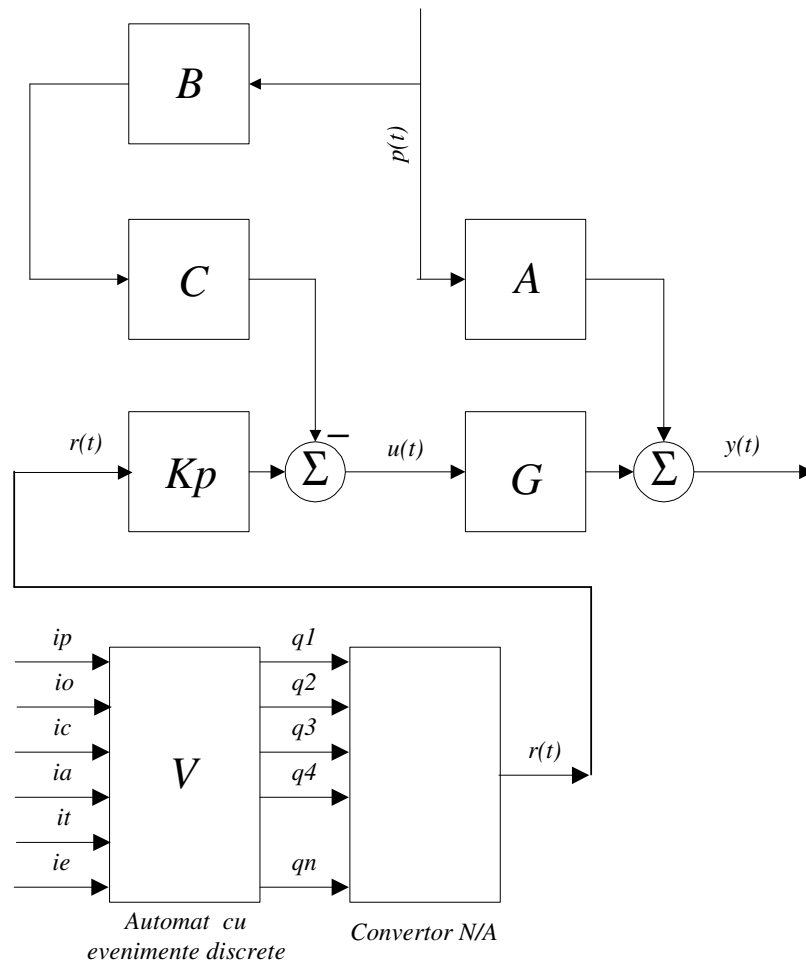


Fig. 5 Sistem cu conducerea automată a instalației în regim de reglare folosind reacția de la perturbație<sup>3</sup>.

Relația intrare – ieșire a părții continue, corespunzătoare procesului  $G(s)$ , a sistemului de conducere automată din Fig. 2 este:

<sup>1</sup> Rețeaua Petri sau grafetul.

<sup>2</sup> Ecuații matriciale diferențiale, algebrice de variabilă complexă sau cu diferențe.

<sup>3</sup> Feedforward.

$$Y(s) = G(s)K_p(s)R(s) \quad (1)$$

în care  $R(s)$  și  $Y(s)$  sunt transformatele Laplace ale semnalelor de referință și de ieșire iar  $K_p(s)$  și  $G(s)$  sunt funcțiile de transfer ale compensatorului și procesului.

În regim de urmărire procesul trebuie să fie astfel condus încât ieșirea procesului se identică cu referința. Punând această condiție în relația (1) rezultă valoarea compensatorului:

$$K_p(s) = \frac{1}{G(s)} \quad (2)$$

Din păcate compensatorul realizat cu ajutorul acestei relații nu este, în general, realizabil fizic deoarece conține derivatoare sau / și elemente anticipatoare. Se fac diferite aproximații, de exemplu se consideră relația (2) numai în regim staționar. O soluție mai bună este prezentată în Fig. 3. Compensatorul procesului  $K_p(s)$  este aproximat cu ajutorul unei bucle cu reacție negativă care cuprinde un model  $G_m(s)$  al procesului și un compensator proporțional al erorii  $K_c$ . Funcția de transfer a compensatorului procesului  $K_p(s)$  va fi:

$$K_p(s) = \frac{K_c}{1 + K_c G_m(s)} \quad (3)$$

Dacă

$$K_c \rightarrow \infty \quad (4)$$

atunci relația (2) este îndeplinită. Din păcate condiția (4) conduce la instabilitatea sistemului automat și atunci se folosesc valori finite pentru constanta de proporționalitate  $K_c$  astfel încât compensarea dinamică a procesului în regim de urmărire este doar aproximativă.

Dacă modelul procesului  $G_m(s)$  este identic cu procesul  $G(s)$

$$G_m(s) = G(s) \quad (5)$$

atunci în locul sistemului din Fig. 3 se poate folosi sistemul automat din Fig. 4 și se obține o buclă standard în regim de urmărire cu un generator de referință format dintr-un automat care asigură și alte funcții, dintre cele prezentate, ale conducerii automate.

Relația dintre ieșirea și referința sistemului automat este:

$$Y(s) = \frac{K_c G(s)}{1 + K_c G(s)} = T(s)R(s) \quad (6)$$

în care

$$T(s) = \frac{K_c G(s)}{1 + K_c G(s)} \quad (7)$$

este funcția de sensibilitate complementară a buclei

Un sistem de conducere automată a proceselor termice din instalațiile pentru clădiri și locuințe funcționează atât în regim de urmărire cât și în regim de reglare și este prezentat în Fig. 5. Înlăturarea perturbației se face prin reacție negativă de la perturbație. Aceasta presupune că perturbația poate fi măsurată. Ieșirea sistemului este:

$$Y(s) = G(s)K_p(s)R(s) + [A(s) - G(s)C(s)B(s)]P(s) \quad (8)$$

Pentru înlăturarea efectului perturbație compensatorul  $C(s)$  trebuie să aibă valoarea:

$$C(s) = \frac{A(s)}{B(s)G(s)} \quad (9)$$

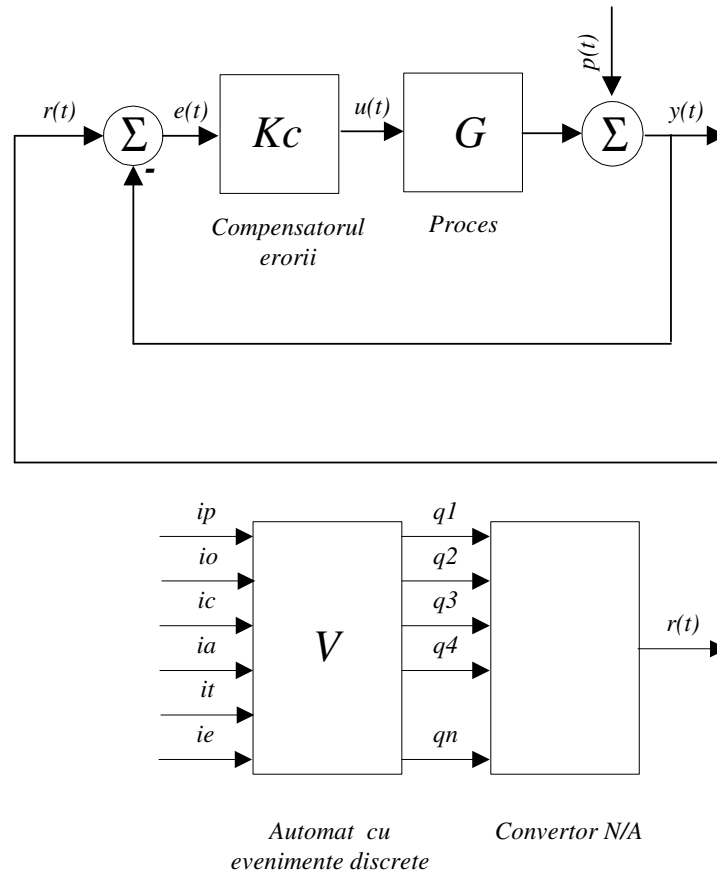


Fig. 6 Sistem cu conducerea automată a instalației în regim de reglare cu reacție<sup>1</sup> negativă.

Din păcate funcția de transfer a perturbației  $A(s)$  nu este cunoscută și atunci efectul compensării este doar parțial. O variantă mai eficientă de conducere automată care înlătură și efectul perturbației este prezentată în Fig. 6. În regim de urmărire  $R(s)=0$  și ieșirea sistemului automat este:

$$Y(s) = \frac{1}{1 + K_c(s)G(s)} P(s) = S(s)P(s) \quad (10)$$

în care

$$S(s) = \frac{1}{1 + K_c G(s)} \quad (11)$$

este funcția de sensibilitate a buclei din Fig. 4.

Între funcțiile de sensibilitate  $S(s)$  și sensibilitate complementară  $T(s)$  există relația

<sup>1</sup> Feedback, legătură inversă.

$$S(s) + T(s) = 1$$

(12)

Eliminarea efectului perturbației se face dacă este îndeplinită condiția (4) valabilă în regimul de urmărire. Ca și în cazul sistemului automat din Fig. 4 constanta de proporționalitate  $K_c$  nu poate fi prea mare deoarece sistemul automat tinde să devină instabil.

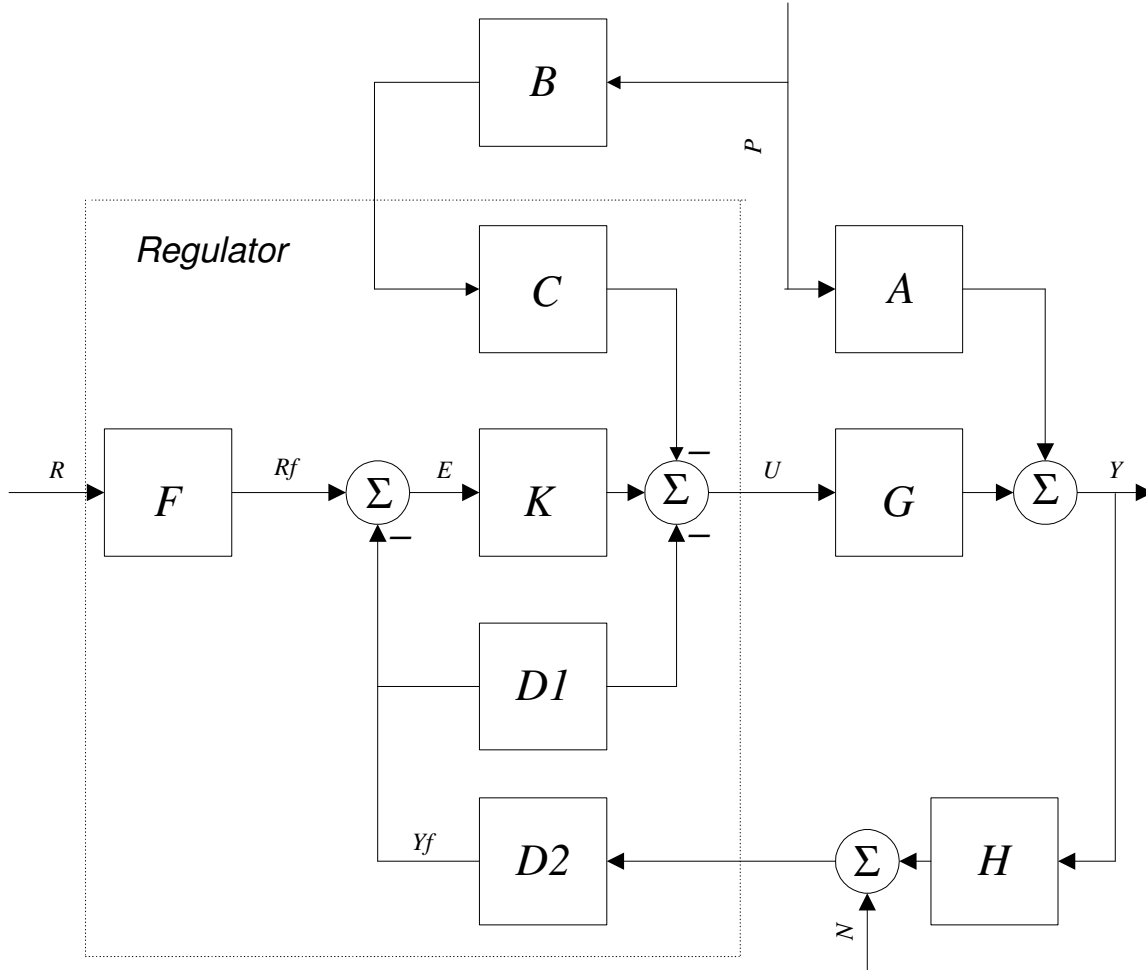


Fig. 7 Sistem cu conducerea automată continuă a instalației folosind un regulator cu două grade de libertate.

În mod frecvent se folosesc în practică diferite combinații ale structurilor prezentate până acum. În Fig. 7 se prezintă o situație generală în care se folosește atât feedback-ul cât și feedforward-ul. Sistemul automat continuu funcționează atât în regim de urmărire cât și în regim de reglare și regim de filtrare. Pentru simplificarea figurii automatul cu evenimente discrete nu mai este prezentat, dar este indispensabil pentru pornirea, oprirea, protecția, generarea referinței și alte funcțiuni curente ale instalației de automatizare.

Îmbunătățirea performanțelor sistemului automat în regim de urmărire și în regim de stabilizare se face adoptând pentru compensatorul erorii  $K(s)$  din Fig. 6 funcții de transfer diferite de cea proporțională  $K_c$  folosită până acum. Eroarea indicială staționară devine nulă dacă compensatorul are, în afară de componenta proporțională și o componentă integrală. Eroarea staționară pentru semnale de intrare periodice poate fi micșorată dacă se folosește și o componentă derivativă. În felul acesta se ajunge la regulatorul clasic proporțional – integral – derivativ PID folosit frecvent în practică.

Diferitele performanțe impuse sistemului automat în cele trei regimuri de funcționare, urmărire, reglare și filtrare conduc la cerințe contradictorii pentru funcția de transfer a compensatorului erorii datorită condiției (12). O rezolvare parțială a problemei se realizează prin introducerea unui bloc nou, de prefiltrare F, în schema regulatorului din Fig. 7. Metoda de conducere automată a procesului G(s) din instalație folosește în acest caz un regulator cu două grade de libertate.

Automatele cu evenimente discrete și regulatoarele cu compensatoare a erorii sunt echipamente de bază în cadrul metodelor generale de conducere automată. În cazul conducerii automate a serviciilor oferite de clădiri și locuințe se folosesc însă frecvent și metode de conducere prin compensarea procesului și compensarea perturbației. Câteva posibilități de integrare a tuturor acestor metode au fost prezentate în această lucrare.

### **Bibliografie**

1. Astrom K. J., Control System Design, Lund Institute of Technology, 2001.
2. Astrom K. J., Model Uncertainty and Robust Control Design, COSY Valencia Workshop, Sept., 1999.
3. Dorf R., Bishop R., Modern Control Systems, Addison-Wesley, New York, 1998.
4. Dumitrache I., Automatizări electronice, Ed. didactică și pedagogică, București, 1993.
5. Dutton K., Thompson S., Barraclough., The art of control engineering, Addison-Wesley, New York, 1997.
6. Goodwin G. C., Graebe S. F., Salgado M. E., Control System Design, Prentice Hall, N.Y., 2000.
7. Ionescu C., Vlădeanu V., Larionescu S., Ionescu D., Automatizări, Ed. didactică și pedagogică, București, 1982.
8. Ionescu G., Ionescu V., Automatica de la A la Z, Ed. științifică și enciclopedică, București, 1987.
9. Jack H., Automating Manufacturing Systems with PLC, 2001.
10. Kwakernaak H., Meinsma G., Design Methods for Control Systems, Dutch Institute of Systems and Control, 2001.
11. Landau I., D., Identificarea și comanda sistemelor, Ed. tehnică, București, 1997.
12. Larionescu S., Accente noi în analiza și proiectarea sistemelor automate, A XXXVI-a Conferință națională de instalații, Sinaia, 2-5 oct.2001, Vol. 2,p.57-65
13. Larionescu S., Aprecierea robusteții sistemelor automate, Măsurări și Automatizări, Nr. 2, 2001, p.55-56.
14. Larionescu S., Aspecte moderne în proiectarea inginerescă a sistemelor automate, A XXXVII-a Conferință națională de instalații, Sinaia, 1-4 oct., 2002, p.5-18.
15. Larionescu S., Schema bloc a unui sistem automat modern, A XXXV-a Conferința de instalații, Sinaia, 3-6 oct. 2000, Vol. 2, p. 78-83.