3.2. Structuri şi algoritmi de reglare

Se consideră o structură convenţională de sistem de reglare automată (figura 3.3), unde prin $H_R(s)$ s-a notat funcţia de transfer a regulatorului, iar prin $H_{PF}(s)$ – funcţia de transfer a părţii fixate. Dependenţa mărimii de ieşire a regulatorului faţă de mărimea de eroare a sistemului $u = f(\varepsilon)$ se numeşte lege sau algoritm de reglare.

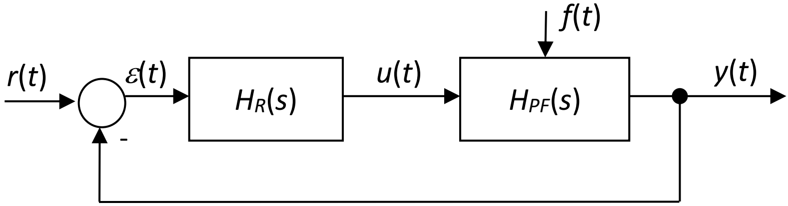

Fig. 3.3. Schema bloc structurală a unui sistem automat.

Structura regulatorului se sintetizează sau se alege în dependenţă de modelul obiectului, obectivele reglării şi cerinţele de calitate impuse. După structură, regulatoarele pot fi de două tipuri:

- cu structură variabilă, când funcţia de transfer a regulatorului se determină separat pentru fiecare problemă de automatizare;
- cu structură fixă, când funcţia de transfer a regulatorului este cunoscută.

Practica de automatizare a proceselor tehnologice ne demonstrează că o utilizare largă au găsit regulatoarele cu structură fixă de ordin redus, care funcţionează în baza algoritmului de tip PID şi variaţiile lui. Algoritmul regulatorului PID implică trei componente separate: componenta proportională P, componenta integrativă I şi componenta derivativă D. Valoarea proporţională determină reacţia la eroarea actuală, valoarea integrală determină răspunsul pe baza sumei erorilor recente şi valoarea derivativă determină răspunsul în funcţie de nivelul de variaţie a erorii. Media ponderată a acestor acţiuni este folosită pentru a regla procesul printr-un element de execuţie.

Algoritmul proporţional P. Este determinat de următoarea lege de reglare

$$u(t) = u_P(t) = k_p \varepsilon(t),$$

iar funcţia de transfer corespunzătoare se reprezentată sub forma

$$H_P(s) = k_p, \tag{3.1}$$

unde k_p este parametrul de acord al algoritmului proporţional.

Este un element ideal şi mărimrea de reglare $u(t)$ este proporţională cu eroarea sistemului $\varepsilon(t)$. Sistemul cu regulator P este un sistem static şi eroarea staţionară va fi diferită de zero. Odată cu majorarea lui k_p abaterea staţionară a sistemului se va micşora, însă performanţele în regim tranzitoriu vor scădea.

Algoritmul proporţional-derivativ PD. Funcţionarea regulatorului PD ideal (cu anticipaţie) în regim dinamic poate fi prezentată prin intermediul următoarei ecuaţii diferenţiale

$$u(t) = k_p \varepsilon(t) + T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} = k_p \varepsilon(t) + k_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} = u_P(t) + u_D(t),$$

unde $T_d = k_d$ este constanta de timp de derivare, k_p - parametrul componentei proporţionale.

Mărimea-efect a acestui algoritm este alcătuită din două componente: componenta proporţională cu eroarea $u_P(t)$ şi componenta proporţională derivatei erorii $u_D(t)$.

Se descrie cu următoarea funcţie de transfer

$$H_{PD}(s) = k_p + k_d s, \tag{3.2}$$

unde k_p, k_d sunt parametrii de acord ai algoritmului proporţional-derivativ.

Introducerea în circuitul sistemului a unui regulator de tip PD aduce la modificarea domeniului de stabilitate şi a vitezei de răspuns a procesului tranzitoriu. Acţiunea derivativă, proporţională vitezei de variaţie a erorii, majorează semnalul când el creşte, şi invers – îl micşorează suplimentar când el începe a descreşte. Prin urmare o astfel de acţiune forţează decurgerea procesului tranzitoriu. Însă, în regim staţionar componenta derivativă este eliminată şi sistemul se reduce la un sistem cu regulator de tip P, unde abaterea este diferită de zero.

În algoritmul PD real componenta derivativă ideală se filtrează cu un element de întârziere de ordinul unu şi, în acest caz, funcţia de transfer obţine următoarea formă

$$H_{PD}(s) = k_p + \frac{k_d s}{T_p s + 1}, \tag{3.3}$$

unde $T_p = (0{,}1 \div 0{,}125)T_d$ este constanta de timp parazitară sau de filtrare.

Algoritmul proporţional-integrativ PI. Dinamica funcţionării regulatorului tipizat PI se descrie cu următoarea ecuaţie diferenţială

$$u(t) = k_p \varepsilon(t) + (1/T_i)\int_0^t \varepsilon(t)dt = k_p \varepsilon(t) + k_i \int_0^t \varepsilon(t)dt = u_P(t) + u_I(t),$$

unde T_i este constanta de timp de integrare, iar $k_i = 1/T_i$. Comanda $u(t)$ este alcătuită din două componente: o mărime de comandă proporţională cu eroarea $u_P(t)$ şi o altă mărime de comandă proporţională cu integrala erorii $u_I(t)$. Astfel, se obţine un algoritm de reglare de tip proporţional-integrativ (PI).

Funcţia de transfer a unui astfel de regulator este determinată de următoarea expresie

$$H_{PI}(s) = k_p + \frac{1}{T_i s} = k_p + \frac{k_i}{s} = \frac{k_p s + k_i}{s}, \tag{3.4}$$

unde k_p, k_i sunt parametrii de acord ai algoritmului proporţional-integrator.

Utilizarea unui astfel de regulator majorează gradul de astatism al sistemului şi introduce anticipaţie (un zerou), care compensează inerţia cea mai nefavorabilă (un pol) al procesului condus.

Un sistem de reglare automată cu un astfel de regulator va fi un sistem astatic. Eroarea staţionară ε_{st} este nulă, atât pentru o variaţie la intrare tip treaptă unitară, cât şi pentru o variaţie tip rampă unitară. În regim staţionar acţiunea de tip integrator se compensează şi sistemul se reduce la un sistem cu regulator de tip P. Iar în regim dinamic un SRA cu regulator de tip PI se caracterizează printr-o comportare nesatisfăcătoare, deoarece amortizarea este inferioară celei a unui sistem cu regulator de tip P.

Algoritmul proporţional-integro-derivativ PID. Adăugând în algoritmul de funcţionare a regulatorului PI a unei componente de tip D, proporţională cu viteza de variaţie a erorii, obţinem algoritmul de reglare PID ideal, ecuaţia diferenţială a căruia se prezintă astfel

$$u(t) = k_p \varepsilon(t) + \frac{1}{T_i}\int_0^t \varepsilon(t)dt + T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} = k_p \varepsilon(t) + k_i \int_0^t \varepsilon(t)dt + k_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} =$$

$$= u_P(t) + u_I(t) + u_D(t).$$

Funcţia de transfer a acestui regulator are forma

$$H_{PID}(s) = k_p + \frac{1}{T_i s} + T_d s = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s = \frac{k_i + k_p s + k_d s^2}{s}, \quad (3.5)$$

unde k_p, k_i, k_d sunt parametrii de acord ai algoritmului proporţional-integro-derivativ.

Realizarea fizică a regulatorului PID ideal nu e posibilă, deoarece gradul polinomului de la numărător este mai mare decât gradul polinomului de la numitor. De aceea, în structura regulatoarelor PID reale se utilizează componenta D reală, iar funcţia de transfer este următoarea

$$H_{PID}(s) = k_p + \frac{k_i}{s} + \frac{k_d s}{T_p s + 1}, \quad (3.6)$$

unde $T_p = (0{,}1 \div 0{,}125)T_d$.

Sistemele de reglare automată cu regulator de tip PID se caracterizează prin absenţa erorii staţionare pentru semnale treaptă la intrare şi prin performanţe ridicate în regim dinamic. În particular, se constată că amortizarea SRA cu regulator PID este superioară celei caracteristice sistemelor cu regulatoare de tip PI şi P, în condiţii similare.