

I.7 Reglatoare în sisteme de reglare automată.

Acestea sunt aparatele care prelucreză informația **a**, despre abaterea valorii mărimii interesate (măsurată direct din proces), față de valoarea aceleiași mărimi, stabilită ca valoare de referință (valoare impusă), prin programul de conducere. Regulatorul stabilește, în baza algoritmului propriu de reglare a procesului, strategia de acțiune a elementului de execuție, prin comanda aplicată acestuia. Strategia de acțiune este în funcție de abaterea **a**, ce apare în sistem, între valoarea impusă **i** și cea reală **e**, măsurată direct la ieșirea din proces. Această strategie constă în elaborarea, de către regulator, a unui semnal de comandă **c**, emis către elementul de execuție, în vederea anulării abaterii **a**. Algoritmul de reglare, conținut sau elaborat de regulator, este legea de dependență impusă, între **i(t)** și **e(t)**, care sunt variabile în timp.

În practică este necesar a se stabili:

- legile după care trebuie prelucrată abaterea (de tip P, PI, sau PID);
- parametri de reglare (K_R , T_I , T_D).

Clasificarea reglatoarelor se poate face după mai multe criterii, impuse de:

1. tipul și caracteristicile procesului reglat (P):

- reglatoare pentru procese invariante, a căror funcționare este caracterizată de valoarea constantă a parametrilor de reglare;
- reglatoare adaptive, pentru procese variabile în timp, respectiv cu parametri de reglare variabili;

2. caracteristicile de funcționare ale regulatorului:

- reglatoare **liniare și neliniare**, clasificate după dependența între mărimea de comandă **c** și abaterea aplicată la intrare **a**);
- reglatoare cu **acțiune continuă** (semnalul **c** este continuu în timp) și **acțiune discretă** (semnalul **c** este discontinuu, de tip ieșire pe releu sau numeric);
- reglatoare **convenționale** (tip P, PI, PID) și **cu caracteristici speciale** (adaptive, optimale, estimatoare de stare), în clasificare după algoritmul de lucru;
- reglatoare **electronice, pneumatice, hidraulice și mixte**, clasificate după natura semnalelor (ex. la electronice, semnalele de intrare/ieșire sunt numai de natură electrică);
- reglatoare **unificate și specializate**, clasificate după caracterul semnalului de intrare.

Cele mai răspândite regulatoare, în practică, sunt regulatoarele electronice cu acțiune continuă sau discretă, liniare, de tip proporțional (P), proporțional-integral (PI), proporțional-derivativ (PD) și proporțional-integral-derivativ (PID).

I.7.1 Regulatorul proporțional (P).

Acest tip de regulator este caracterizat printr-o ecuație diferențială:

$$c(t) = K_R \cdot a(t) \quad (7.1.)$$

unde, K_R – este un parametru denumit ca factor de amplificare (factorul de proporționalitate), al regulatorului .

Acest factor K_R constituie un *parametru de acordare al regulatorului* și el poate fi modificat în limite largi, în funcție de performanțele impuse SRA. Un regulator de tip P este caracterizat și prin *banda de proporționalitate* (BP), definită sub forma :

$$BP = \frac{100}{K_R}, [\%] \quad (7.2.)$$

Valoarea acestui parametru este cuprinsă între 1 – 400 %;

Răspunsul indicial ideal al regulatorului P este prezentat în Fig. I.7.1.; curba reprezintă răspunsul real, unde ε este eroarea în regim staționar, pentru un semnal de intrare de tip treaptă unitară ($a=1$).

Pentru cazul real, în funcționarea acestui regulator intervine o întârziere de ordinul întâi (reprezentată în figură cu linie punctată) sau de ordinul doi. Regulatorul P introdus într-o buclă de reglare poate conduce la o funcționare stabilă, însă cu o eroare staționară $\varepsilon \neq 0$ (semnalul de comandă c , nu va atinge niciodată valoarea necesară pentru anularea abaterii a), pentru un sistem de reglare a cărui funcție de transfer, nu conține poli în origine, la o variație în treaptă a mărimii de intrare.

Creșterea factorului de amplificare K_R , determină o reducere a erorii staționare ε (deci o creștere a preciziei) și o reducere a constantei de timp T (timpul necesar intrării în regim staționar) a sistemului.

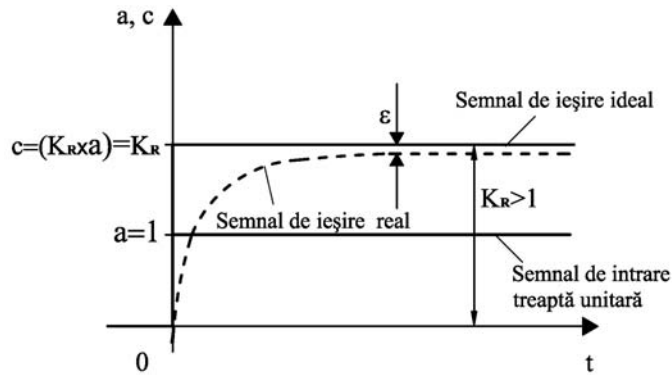


Fig. I.7.1. Graficul de funcționare al regulatorului de tip P

În general, datorită faptului că, pentru procese care nu conțin elemente integratoare (în funcția de transfer nu există poli în origine) prezența regulatorului de tip proporțional, atrage o funcționare a sistemului de reglare, cu o abatere staționară $a_{st} \neq 0$, pentru o variație treaptă a mărimii de referință. Nu se recomandă utilizarea acestui tip de regulator singur, decât în cazurile în care precizia se încadrează în limitele admise.

I.7.2 Regulatorul proporțional – integral (PI).

Acest regulator combină efectul proporțional, cu un efect integral (integrează abaterea $a(t)$ în timp și este descris de următoarea relație:

$$c(t) = K_R \left[a(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t a(t) \cdot dt \right] \quad (7.3).$$

Acești factori K_R , T_I , constituie *parametrii de acordare ai regulatorului de tip PI* și ei pot fi modificați în limite largi, în funcție de performanțele impuse sistemului de reglare automată. Un regulator de tip PI este o combinație între un regulator P, completat cu un regulator I, efectul integrator este cel care determină panta de unghi α , pentru răspunsul $c(t)$ al regulatorului de tip PI.

Efectul, în funcție de valoarea parametrului K_R este același și este reflectat tot de banda de proporționalitate BP, care rămâne cuprinsă tot între valorile de 1 - 400%;

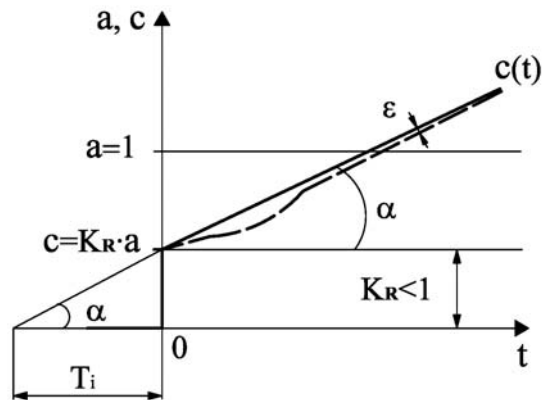


Fig. I.7.2. Graficul de funcționare al regulatorului de tip PI

Răspunsul indicial ideal al regulatorului PI este prezentat în Fig. I.7.2; curba continuă reprezintă răspunsul indicial ideal, iar curba punctată reprezintă răspunsul indicial, real, pentru un semnal de intrare de tip treaptă unitară ($a=1$).

Eroarea staționară este $\epsilon=0$, iar anularea acesteia, în timp, este determinată de efectul integral. La alegerea unui regulator PI, pentru un proces dat, se vor avea în vedere frecvența perturbațiilor asupra desfășurării procesului, precum și modul de variație al mărimii de intrare în regulator (de obicei a), unde T_I , și K_R se vor alege, ținând seama de necesitatea realizării unui răspuns dorit. Pentru procese rapide, cu schimbări rapide ale intrării și frecvențe mari ale perturbațiilor, nu se recomandă regulator PI.

I.7.3 Regulatorul proporțional – derivativ (PD).

Regulatorul PD combină efectul proporțional, cu un efect diferențial (derivativ), deci derivează abaterea $a(t)$, în timp. Efectul introducerii componentei derivative este de reducere a suprareglajului σ (depășirea valorii prescrise, pentru semnalul de ieșire), atunci când apar perturbații bruște sau, în perioada de pornire a procesului (v. Fig. I.7.3).

Ecuția de funcționare a unui regulator PD este :

$$c(t) = K_R \cdot \left(a + T_D \frac{da}{dt} \right) \quad (7.4.)$$

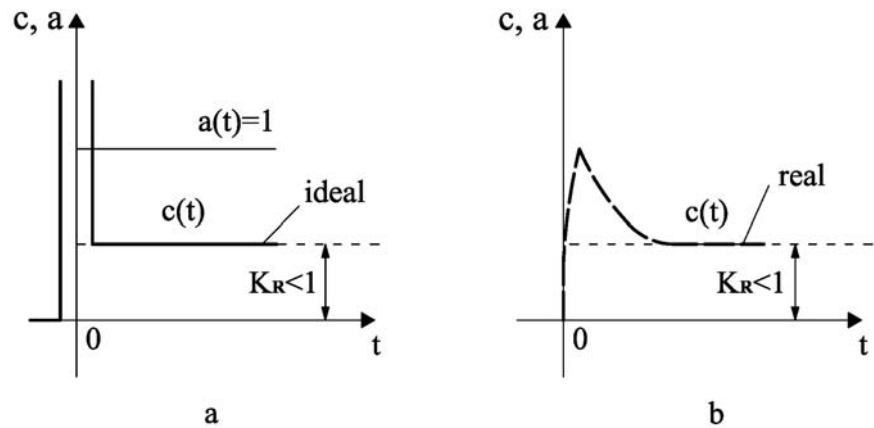


Fig. I.7.3. Graficele de funcționare ale regulatorului PD;
a – răspunsul ideal; b – răspunsul real.

T_D – constanta acțiunii derivate, care este tot un parametru de acordare a regulatorului, care împreună cu factorul de amplificare K_R (are aceeași semnificație), determină legea de reglare a regulatorului PD. În concluzie, comanda $c(t)$ devine proporțională, nu numai cu abaterea $a(t)$, dar intervine și derivata acesteia, cu un efect de anticipație, care atrage o îmbunătățire a stabilității sistemului.

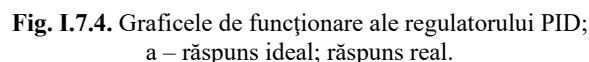
Adăugarea efectului derivativ mărește timpul tranzitoriu al perioadei de pornire, dar reduce depășirea valorii prescrise a mărimii de intrare (suprareglajul).

Nu se recomandă la procese cu timp mort și/sau caracterizate de perturbații cu frecvență mare.

I.7.4 Regulatorul proporțional – integral – derivativ (PID).

Acest tip de regulator are în componența lui, toate cele trei efecte – P, I, D; funcționarea lui este conform algoritmului descris de relația (7.5.); răspunsul indicial al regulatorului PID ideal este reprezentat în Fig. I.7.4.a, iar răspunsul real , în Fig. I.7.4.b:

$$c(t) = K_R \left[a(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t a(t) \cdot dt + T_D \cdot \frac{da}{dt} \right] \quad (7.5.)$$



I.7.5 Regulatorul neliniar.

Caracteristica regulatorului tripозиțional este prezentată în Fig. I.7.6. Acest regulator are trei poziții distincte, putând comanda elementele de execuție integrale.

Relatiile matematice ce descriu functionarea reguletoarelor sunt:

- pentru regulatorul bipozițional:



- pentru regulatorul tripозиțional:

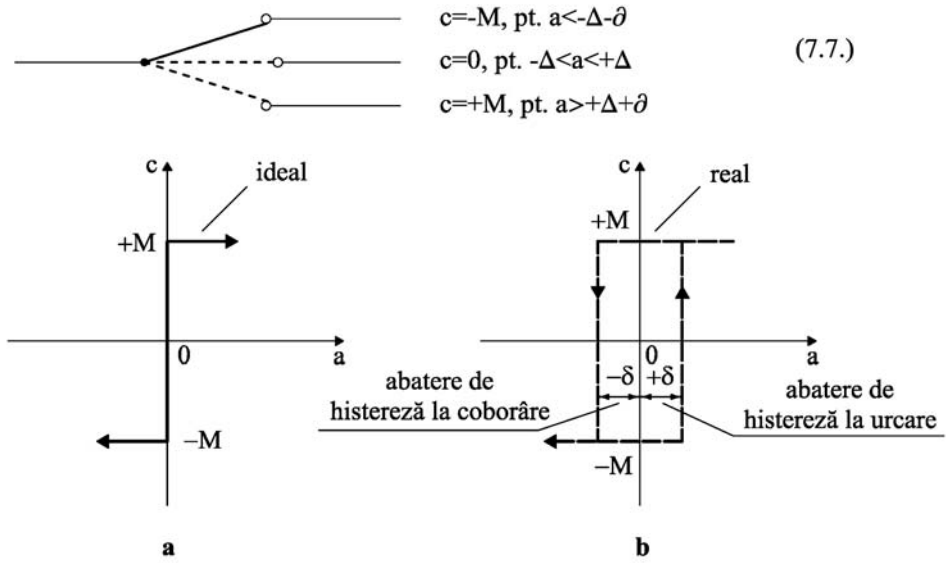


Fig. I.7.5. Graficul de funcționare al regulatorului bipozițional;

În Fig. I.7.6.a și Fig. I.7.6.b, sunt prezentate caracteristicile regulatorului neliniar tripozițional, curba răspunsului ideal, respectiv răspunsul real. Se evidențiază caracteristica cu zona de insensibilitate cuprinsă între $-\Delta$ și $+\Delta$, cu histereza de valoare δ , care apare în jurul fiecărui capăt de zonă de insensibilitate.

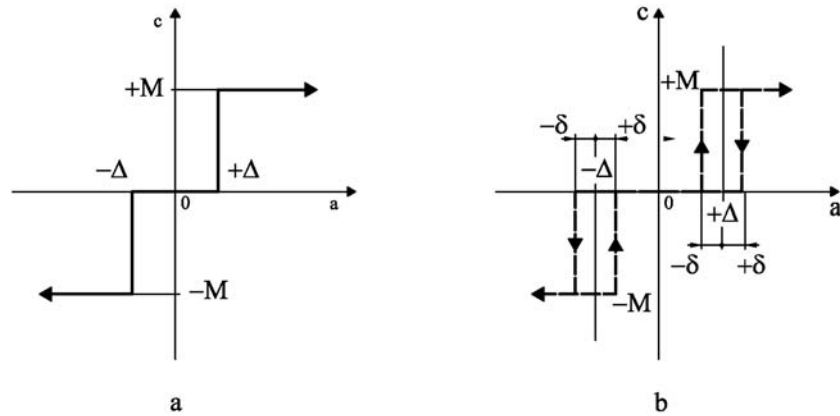


Fig. I.7.6. Graficul de funcționare al regulatorului tripozițional;
a – răspunsul ideal; b – răspunsul real.

I.7.6 Alegerea reglatoarelor.

Alegerea tipului de regulator pentru un proces dat este determinată în primul rând de caracteristicile procesului tehnologic și de performanțele impuse sistemului de reglare.

Pentru procese lente, tipice proceselor desfășurate în instalațiile din construcții, se impune utilizarea reglatoarelor continue, liniare sau a reglatoarelor bipoziționale și tripoziționale.

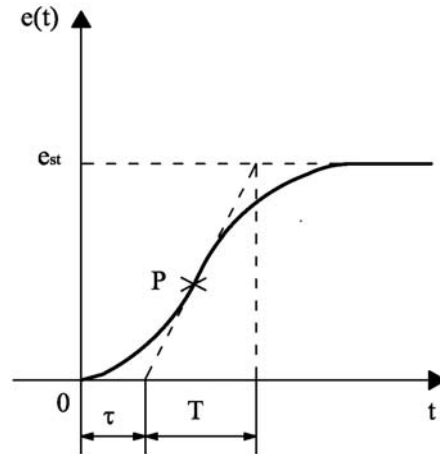


Fig. I.7.7. Curba răspunsului indicial pentru un proces cu timpul mort τ și constanta de timp T

Prezența timpului mort „ τ ”, în funcționarea în funcționarea unui proces tehnologic, impune o serie de precauții la alegerea tipului de regulator. Componenta derivativă, în general se recomandă pentru asemenea procese lente, numai dacă procesul conține mai multe constante de timp, predominante, care pot fi reduce prin intermediul unui algoritm PID. Pentru un proces caracterizat printr-o constantă de timp T și un timp mort τ , se recomandă un algoritm PI sau un algoritm P. Pentru un raport $\tau/T \leq 0,2$ se recomandă un regulator bipozițional, dacă performanțele impuse nu sunt prea severe. Pentru valori mai mari ale raportului „ τ / T ” se recomandă algoritmi P sau PI. Regulatorul P se recomandă, în acest caz, numai dacă eroarea staționară ε este de o valoare acceptabilă. În Fig. I.7.7. este reprezentată curba răspunsului indicial (trasată experimental) al unui proces cu timpul mort „ τ ” și constanta de timp „ T ” (trasate și obținute cu metode grafice, folosind punctul de inflexiune P al curbei). S-a notat cu e_{st} valoarea

staționară (stabilizată) a mărimii de ieșire după aplicarea semnalului treaptă i la intrarea sistemului.

Pentru reglări de nivel se pot utiliza regulatoare P sau PI, alegerea fiind determinată de precizia urmărită și de tipul perturbațiilor. Dacă perturbațiile sunt determinate atât de variația debitului de intrare, cât și de variația debitului de ieșire, iar abaterea staționară ε se cere a fi zero, se recomandă un regulator PI.

Pentru reglări de presiune se recomandă utilizarea unor regulatoare PI, ai căror parametri de acord sunt diferiți pentru gaze și lichide, pentru că la lichide constanta de timp T este mai redusă decât la gaze.

Pentru reglări de debite și amestecuri de fluid, pentru că aceste procese sunt caracterizate de o constantă de timp T , mică și o amplificare mare, se recomandă regulatoare PI. Prezența perturbațiilor determinate de variațiile debitului determină inutilitatea folosirii componentei derivate.

La reglările de temperatură, unde raportul „ τ / T ” este mare se recomandă regulatoarele PI sau PID.

În general, adăugarea componentei integrative **I** la componenta proporțională **P** a unui regulator, deși se asigură o eroare staționară nulă, poate apărea instabilitatea, respectiv necesitatea reducerii factorului de amplificare K_R . Efectul **I** se justifică la modificarea deasă a intrării sau pentru procesele lent variabile și cu perturbații de asemenea lent variabile. Efectul **D**, care are ca scop reducerea suprareglajului (depășirea valorii staționare a ieșirii) care apare în cazul folosirii componentelor **P** și **I**, atunci când intervin perturbații bruște, în perioada de pornire a procesului sau pentru procesele discontinue.

Natura parametrului reglat (K_R , T_I , T_D) amplitudinea și frecvența perturbațiilor, timpul mort „ τ ”, numărul și valoarea constantelor de timp „ T ”, reprezintă factorii esențiali care trebuie luați în considerare la alegerea algoritmului de reglare. Siguranța în medii cu pericol de explozie și incendii constituie un argument forte, în favoarea alegerii regulatoarelor pneumatice.

Pentru procese rapide, care sunt caracterizate de constante de timp mici și un timp mort neglijabil, alegerea tipului de regulator, precum și stabilirea valorii parametrilor de acord (K_R , T_I , T_D), presupune satisfacerea unor performanțe impuse mai deosebite specifice sistemelor de reglare automată a proceselor de acest tip.

În final trebuie amintită și problema prețului de cost, care trebuie să aibă o pondere importantă în alegerea și justificarea economică a componentelor sistemului de reglare ales.

I.7.7 Reglatoare continue.

La reglatoarele continue, mărimile de intrare (abaterea **a**) și de ieșire (comanda **c**) sunt variabile continue în timp (mărimi analogice) și dependența dintre acestea este de asemenea variabilă și continuă în timp. După agentul purtător de energie, reglatoarele continue pot să fie:

- electronice – la care mărimile de intrare **a** și de ieșire **c** sunt de natură electrică;
- pneumatice – la care **a** și **c** sunt presiuni de aer;
- hidraulice – la care intrarea **a** este o deplasare, iar ieșirea **c** este presiunea unui lichid;

a. Reglatoare continue electronice – aceste reglatoare au mărimile de intrare și ieșire numai de natură electrică. Ele se mai găsesc în practică ca reglatoare unificate, adică semnalele **a** și **c** sunt semnale unificate:

- curent unificat: $2 \div 10 \text{ mA c.c.}$, $4 \div 20 \text{ mA c.c.}$ sau $0 \div 10 \text{ mA c.c.}$;
- tensiune unificată: $0,4 \div 2 \text{ V c.c.}$, $-10 \div +10 \text{ V c.c.}$, $0 \div 10 \text{ V c.c.}$;

Avantajele semnalelor unificate este că au aceeași natură fizică și aceeași gamă de variație, iar reglatoarelor unificate au o mare elasticitate în combinarea diverselor elemente componente, care pot fi interschimbabile și sunt tipizate, ele fiind executate în producție de serie, împreună cu alte elemente, componente ale sistemelor de reglare automate, care utilizează tot semnale unificate. De obicei pentru procese rapide se utilizează semnale în tensiune, iar pentru cele lente, semnale în curent.

Încă se pot întâlni în practică, sistemul electronic unificat UNIDIN, destinat reglării proceselor rapide, iar pentru reglarea proceselor lente se mai pot întâlni reglatoare continue, liniare de tip ELC 113 sau neliniare de tip ELX 75.

b. Reglatoare continue pneumatice – mărimile de intrare și ieșire sunt presiuni de aer, adică semnale unificate de tipul $0,2 \div 1,0 \text{ bar}$ și se caracterizează prin o mare siguranță în funcționare ; se utilizează mai ales în medii cu pericol de incendiu sau explozie, dar cu rază de acțiune redusă (max. 200 m). Regulatorul se compune din 10 camere delimitate prin 6 membrane de cauciuc, care prin deformare, sub acțiunea unei presiuni de aer proporționale cu semnalul de intrare, determină o deplasare a ventilului unui robinet de reglare, cu efect de reglare a presiunii aerului de ieșire din regulator. Acest efect de reglare asupra mărimii de ieșire se poate realiza după un algoritm de reglare tipic reglatoarelor continue (P,PI,PID). Se

poate regla banda de proporționalitate și constantele de integrare sau derivare. Regulatorul folosește o sursă de energie exterioară, concretizată într-o alimentare cu aer instrumental, la presiunea $p_0=1,4$ bar.

c. Reglatoare continue hidraulice – are ca mărime de intrare o deplasare, deci o mărime geometrică, iar la ieșire o presiune de lichid (de obicei ulei hidraulic).

Regulatorul hidraulic, spre deosebire de reglatoarele prezentate până acum, prin construcția lui se compune din: elementul de referință (un șurub de reglare), elementul de comparație (un traductor de presiune cu membrană din cauciuc), regulatorul propriu zis (un amplificator cu distribuitor), care folosește ca sursă de energie exterioară un lichid cu presiunea „ p_0 ”. De obicei se întâlnesc în practică reglatoare hidraulice de tip PI, componenta integrală, fiind obținută cu ajutorul elementelor de execuție (servomotoare hidraulice cu piston). Au avantajul unei durate mari de viață și dezavantajul unui volum mare și a unei greutate mari.

I.7.8 Reglatoare discrete electronice.

Aceste reglatoare sunt numai electronice, lucrează numai cu mărimi de natură electrică și se caracterizează prin aceea că mărimea lor de ieșire „c” este formată dintr-o succesiune de impulsuri, iar mărimea de intrare, abaterea „a” este o mărime continuă. Impulsurile de la ieșirea regulatorului pot fi modulate în amplitudine sau durată, regulatorul fiind astfel un regulator în impulsuri sau codificate, în acest caz regulatorul fiind un regulator numeric.

I.7.8.1 Reglatoare electronice în impulsuri

Un regulator electronic în impulsuri (fig.I.7.8.) primește abaterea „a(t)” în mod discret, la anumite intervale de timp, sub formă de eșantioane.

Prin eșantionare, se preiau valorile instantanee ale mărimii continue „a(t)”, la intervale de timp fixe „T”, pe o durată foarte scurtă „ ΔT ”, obținându-se astfel semnalul discret „a*(t)”. Acest semnal constituie intrarea în regulator, care după prelucrarea abaterii discretizate, conform algoritmului propriu de reglare, produce la ieșire o mărime de comandă „c*(t)”, tot sub formă de impulsuri, de aceeași frecvență „ $f=1/T$ ”, ca și cel de la intrare.

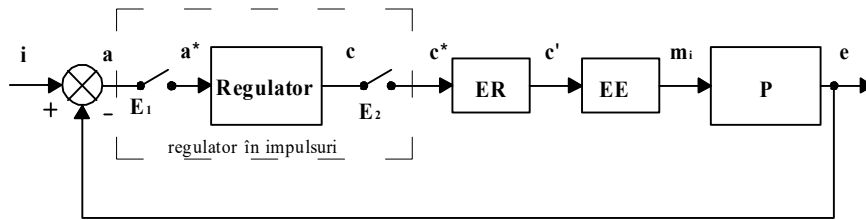


Fig.I.7.8.

Semnalul de comandă „ c^* ” este reținut pe durata „ T ”, până la sosirea unui nou impuls, prin intermediul elementului de reținere „ER”; toate celelalte elemente ale sistemului de reglare sunt continue: P procesul de reglat și EE elementul de execuție.

Dispozitivele de eșantionare (E_1 , E_2) pentru abaterea a și pentru comanda c , sunt incluse constructiv în regulator. Pentru a se obține performanțe de reglare bune, trebuie corelată viteza de funcționare a eșantionatoarelor cu frecvența maximă a semnalului continuu preluat, pentru a nu se pierde informații utile din proces.

I.7.8.2 *Reglatoare electronice numerice.*

Regulatorul electronic numeric realizează semnalul de comandă „ c^* ”, prin calcule numerice conform algoritmului de reglare propriu. Acest semnal este convertit în semnal analogic și menținut pe intervalul dintre două momente de eșantionare, de un element de menținere a valorii ER (fig.I.7.9.).

În fig.I.7.9. este prezentată schema bloc a regulatorului numeric în configurația unui sistem automat de reglare numerică. Elementul de prescriere numerică EPN, asigură semnalul de referință i^* , care este comparat cu semnalul de reacție e^* convertit numeric de convertizorul analog/numeric CA/N după măsurarea acestuia la ieșirea din procesul P reglat.

Abaterea, sub formă de semnal numeric, a^* este semnalul de intrare în regulatorul numeric RN, care elaborează semnalul de comandă numeric c^* , în baza algoritmului de reglare. Acest semnal este convertit analogic de CN/A și menținut, pe intervalul dintre două momente de eșantionare, de elementul de reținere ER, asigurând semnalul de comandă pentru elementul de execuție EE.

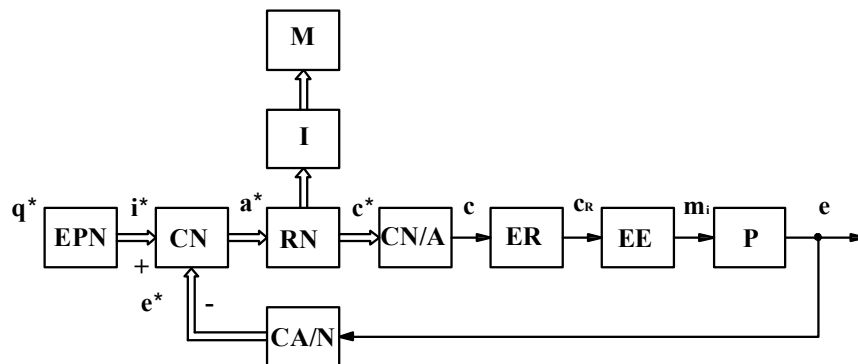


Fig.I.7.9.

Trebuie remarcat faptul că la un sistem de reglare numerică apar în componența lui, o serie de elemente noi, specifice: elementul de prescriere numerică EPN, convertoarele analog/numerice CA/N și convertoare numeric/analogice CN/A, elementul de reținere a valorii ER, elementul de comparație numerică CN și interfața I, împreună cu memoria (inclusiv monitorul) M, pentru urmărirea și monitorizarea valorilor reprezentative pentru procesul de reglare. Regulatorii numerice, treptat, devin cele mai utilizate elemente de calcul în practică, pentru că acestea pot asigura posibilitatea implementării unor algoritmi de reglare evoluți (ex: conducerea după stare), se pot integra într-un sistem ierarhizat condus de calculator, etc.

I.7.9 Reglatoare automate directe.

Aceste reglatoare se caracterizează prin aceea că în funcționarea lor nu utilizează o sursă de energie exterioară, funcționarea bazându-se, în principiu, pe legile fizice de dilatare volumetrică și creșterea presiunii, odată cu temperatura, a fluidelor de umplere a circuitului activ existent în componența regulatorului.

Astfel, sub influența temperaturii existente în procesul tehnologic, variația volumului de lichid sau variațiile volumului și presiunii gazului sau vaporilor saturați, se transmit prin intermediul unui **tub capilar** la elementul de acționare (ventil, clapetă), prin intermediul regulatorului, care în acest caz este ansamblul format de burduf împreună cu un resort. Regulatorul primește ca semnal de intrare variațiile de volum ale lichidului din tubul capilar și elaborează ca semnal de ieșire deplasarea „ δ ” care se transmite elementului de execuție – ansamblul format din robinetul cu ventil și tija