

3. TEHNICI DE ACORDARE MANUALĂ A REGULATOARELOR DIN CLASA PID PE BAZA RĂSPUNSULUI ÎN TIMP

Proiectarea sistemelor de reglare automată (SRA) începe prin formularea problemei proiectării unui sistem de conducere. Fiind dat un model al procesului, se cere a se determina structura și algoritmul de reglare astfel încât să fie satisfăcute cerințele de performanță impuse. Din primele etape ale proiectării, se cunosc atât modelul procesului, cât și performanțele locale (în domeniul timp și/sau frecvență). Astfel, principalele probleme care trebuie rezolvate sunt:

- determinarea configurației SRA (i.e., alegerea unei structuri de reglare);
- determinarea structurii regulatorului;
- determinarea parametrilor de acord ai regulatorului.

Scopul lucrării Determinarea regulilor de acordare manuală a parametrilor de acord ai legilor de reglare P, PI și PID (pentru procese liniare de ordinul I și de ordinul II), în buclă închisă, din punctul de vedere al următorilor parametri care caracterizează răspunsul la referință treaptă al SRA obținut: timp tranzitoriu, suprareglaj și eroare staționară.

3.1 Breviar teoretic

Se consideră o structură de reglare automată cu un grad de libertate ca în figura 3.1.

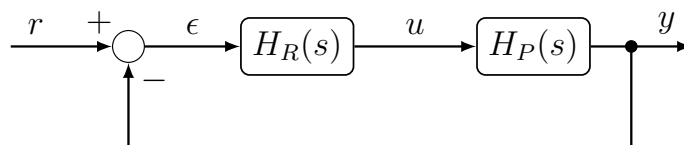


Figura 3.1: SRA cu un grad de libertate

În cadrul proiectării SRA, o importanță deosebită o prezintă alegerea și impunerea indicatorilor de performanță. În general, un SRA (stabil) trebuie să îndeplinească

două cerințe principale, i.e., *urmărirea referinței și rejecția perturbațiilor*, indiferent de obiectul condus și de metoda de proiectare.

O metodă empirică de proiectare constă în aproximarea parametrilor de acord ai unui regulator a cărui structură a fost aleasă în prealabil și ajustarea acestora până când criteriile de performanță impuse sunt respectate. Această metodă de ajustare poartă numele de proiectare prin încercări. Ea nu se aplică decât în cazul în care nu se poate obține un model corespunzător și viabil al procesului considerat din cauze de natură obiectivă, precum uzura elementelor componente, sau imposibilitatea scoaterii acestuia din funcțiune.

Pașii metodei sunt prezentați în cele ce urmează.

1. Se evaluează indicatorii și cerințele de performanță ale sistemului în buclă închisă (eroare staționară, timp tranzitoriu, suprareglaj etc.).
2. Se alege un regulator din clasa PID cu parametri de acord K_R, T_i, T_d într-o configurație SRA corespunzătoare particularităților obiectului condus.
3. Se ajustează parametrii regulatorului astfel încât sistemul în buclă închisă să respecte condițiile de performanță impuse (care se reevaluează la fiecare ajustare).

Utilizând schema din figura 3.1, se determină funcțiile de transfer pe calea directă $H_d(s)$ ca în (1.18) și, respectiv, în buclă închisă $H_0(s)$ ca în (1.19).

Pentru procesele liniare și invariante în timp de ordinul I și de ordinul II, cu regulatoare din clasa PID, răspunsul funcției de transfer în buclă închisă poate fi aproximat, în mod uzual, cu răspunsul unor sisteme de ordin I sau II. În practică, se dorește obținerea unor astfel de răspunsuri deoarece ele permit analiza facilă a cerințelor și a indicatorilor de performanță în buclă închisă.

Stabilitatea Din punct de vedere al stabilității buclei, aceasta se poate determina din simulaări, în regimul staționar al răspunsului funcției de transfer $H_0(s)$ a SRA la o referință treaptă. Valoarea de regim staționar este finită dacă și numai dacă bucla închisă este stabilă și, prin urmare, funcția de transfer H_0 este stabilă BIBO. Stabilitatea BIBO a sistemului $H_0(s)$ poate fi determinată cu criteriul Hurwitz prezentat în lucrarea 1.

Cerințe de performanță Presupunem că cerința de stabilitate a buclei este îndeplinită. În ceea ce privește cerințele de regim tranzitoriu și de regim staționar pentru referință treaptă, acestea se pot impune, respectiv analiza, utilizând indicatorii de performanță în domeniul timp definiți în lucrarea 1.

Legile de reglare de tip PID fac parte din clasa legilor de reglare convenționale, utilizând una componentele de tip proporțional, de tip integral și/sau de tip derivativ.

Legea de reglare de tip P (ideală) are forma

$$H_{RP}(s) = K_R \Rightarrow u(t) = K_R \epsilon(t), \quad (3.1)$$

unde $K_R \in \mathbb{R}$ se numește constantă de proporționalitate.

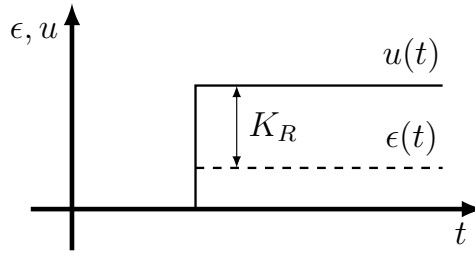


Figura 3.2: Comanda u furnizată de un regulator P

Legea de reglare de tip PI (ideală) are forma

$$H_{PI}(s) = K_R \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \Rightarrow u(t) = K_R \left(\epsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \epsilon(\tau) d\tau \right), \quad (3.2)$$

unde K_R se numește constantă de proporționalitate și T_i se numește constantă de timp de integrare.

În formă restrânsă, legea PI se poate scrie

$$H_{PI}(s) = K_R + K_I \frac{1}{s}, \quad (3.3)$$

unde K_R se numește constantă de proporționalitate și $K_I = K_R/T_i$ se numește constantă de integrare.

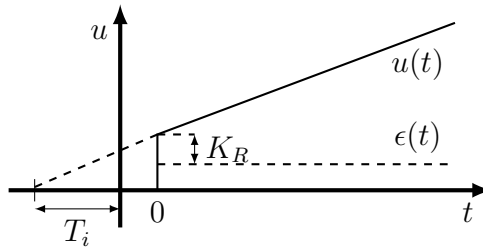


Figura 3.3: Comanda u furnizată de un regulator PI

Legea de reglare de tip PD (ideală) are forma

$$H_{PI}(s) = K_R (1 + T_d s) \Rightarrow u(t) = K_R \left(\epsilon(t) + T_d \frac{d\epsilon(t)}{dt} \right), \quad (3.4)$$

unde K_R se numește constantă de proporționalitate și T_d constantă de timp de derivare.

În formă restrânsă, legea PD se poate scrie

$$H_{PI}(s) = K_R + K_D s, \quad (3.5)$$

unde K_R se numește constantă de proporționalitate și $K_D = K_R T_d$ se numește constantă de derivare.

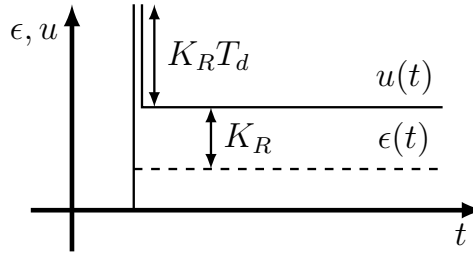


Figura 3.4: Comanda u furnizată de un regulator PD

Legea de reglare de tip PID (ideală)

$$H_{PID}(s) = K_R \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \Rightarrow u(t) = K_R \left(\epsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \epsilon(\tau) d\tau + T_d \frac{d\epsilon(t)}{dt} \right), \quad (3.6)$$

unde K_R se numește constantă de proporționalitate, T_i constantă de timp de integrare și T_d constantă de timp de derivare.

În formă restrânsă, legea PID se poate scrie

$$H_{PI}(s) = K_R + K_I \frac{1}{s} + K_D s, \quad (3.7)$$

unde K_R se numește constantă de proporționalitate, $K_I = K_R / T_i$ se numește constantă de integrare și $K_D = K_R T_d$ se numește constantă de derivare.

Conform condiției de implementabilitate dată în lucrarea 1, se poate observa că legile P și PI sunt realizabile fizic, în timp ce legile PD și PID sunt reprezentate prin funcții de transfer improprii. Astfel, pentru ca regulatoarele PD și PID să fie implementabile, este necesară filtrarea componentei derivate cu un filtru de ordinul I cu dinamică neglijabilă sau răspuns foarte rapid (polul stabil introdus trebuie să fie îndeajuns de departe de origine).

Legea de reglare de tip PD_F (PD cu filtrare) este dată de

$$H_{PDF}(s) = K_R \left(1 + \frac{T_d s}{\alpha T_d s + 1} \right), \quad (3.8)$$

unde $0 < \alpha \ll 1$.

De asemenea, legea de reglare PID poate fi scrisă în două variante de implementare, prezentate în continuare.

Legea PID_F (PID cu filtrare) paralel

$$H_{PIDF}^P(s) = K_R \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{\alpha T_d s + 1} \right), \quad (3.9)$$

unde $0 < \alpha \ll 1$.

Legea PID_F (PID cu filtrare) serie

$$H_{PIDF}^S(s) = K_R \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \frac{T_d s + 1}{\alpha T_d s + 1}, \quad (3.10)$$

unde $0 < \alpha \ll 1$.

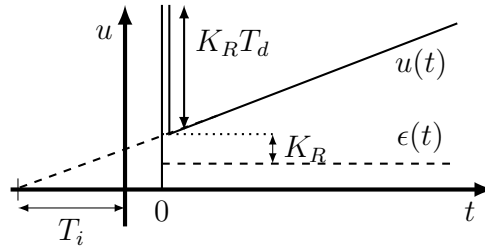


Figura 3.5: Comanda u furnizată de un regulator PID_F

Parametrii K_R , T_i și T_d , respectiv K_I , K_D , se numesc *parametri de acord* ai legilor de reglare.

3.2 Sarcini de lucru

În cele ce urmează, se va studia răspunsul la referință treaptă al unui SRA cu un regulator din clasa PID, în condițiile variației parametrilor de acord ai acestuia. Se dă un proces, caracterizat prin funcția de transfer $H_P(s)$.

1. Se implementează schema de reglare standard, cu un grad de libertate (figura 3.1) în Simulink.

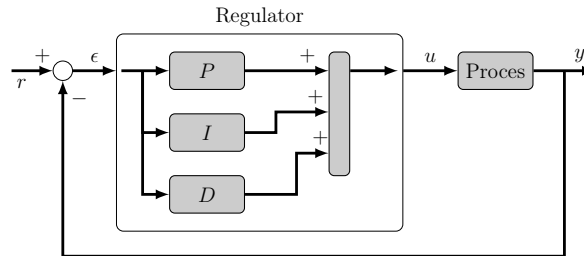


Figura 3.6: Implementare reglator PID în forma paralel

2. În schema construită la punctul 1 se implementează un *regulator din clasa PID* în forma paralel, ca în figura 3.6, unde P, I și D reprezintă componentele proporțională, integrală și, respectiv, derivativă, după prelucrarea corespunzătoare a relației (3.9), și care sunt reprezentate prin blocuri Simulink de tip funcție de transfer (*Transfer Fcn*).

Se completează corespunzător cu funcțiile de transfer în blocurile P, I și D conform relației (3.9).

Observația 3.1. Parametrii K_R , T_i și T_d ai reglatorului se vor introduce ca variabile în funcțiile de transfer, urmând ca ei să fie inițializați cu valori numerice din fereastra de comandă a Matlab (*Command Window*).

Observația 3.2. Se alege constanta de filtrare $\alpha = 0.01$.

3. Utilizând meniul *Simulation > Configuration Parameters (CTRL+E)*, se setează următorii parametri de simulare:

- *max step size* = 0.1 (pasul de simulare);
- *stop time* se variază după nevoie (timpul de simulare).

Se setează parametrul referinței treaptă (unitară), *step time* = 0 (momentul de aplicare a treptei).

4. Se închide bucla de reglare și se completează următorul tabel urmărind pașii 4.1 - 4.4.

			σ	t_t	ϵ_{st}
1.	P	$K_R \uparrow$			
2.	PI	$T_i \uparrow$			
3.		$K_R \uparrow$			
4.	PID	$T_d \uparrow$			

Tabelul 3.1: Tabelul variației performanțelor în funcție de parametrii reglatorului

Pentru punctele 4.1-4.3 se va utiliza un proces cu funcția de transfer

$$H_P(s) = \frac{1}{10s + 1}.$$

4.1. În schema Simulink se va realiza un regulator de tip **P** (se deconectează de la sumator blocurile I și D) și

- se variază parametrul $K_R = \{0.1, 1, 10\}$;
- se calculează pentru fiecare valoare a lui K_R valorile indicatorilor de performanță din tabel ($\sigma, t_t, \epsilon_{st}$) și *se notează separat*;
- se înscriu pe prima linie a tabelului **sensurile de variație** a indicatorilor de performanță, corespunzător valorii crescătoare a lui K_R .

4.2. În schema Simulink se va utiliza un regulator **PI** (se conectează la sumator blocul I; blocul D rămâne deconectat) și

- se setează $K_R = 10$;
- se variază $T_i = \{0.5, 1, 10\}$ și se calculează valorile indicatorilor de performanță, care *se notează separat*;
- se înscriu pe a doua linie a tabelului **sensurile de variație** a indicatorilor de performanță corespunzător variației crescătoare a lui T_i , pentru $K_R = 10$;
- se alege o valoare pentru T_i astfel încât să fie îndeplinite performanțele: $\sigma \leq 10\%, t_t \leq 15\text{sec.}, \epsilon_{st} \leq 0.02$.

Pentru punctul 4.3 se va utiliza un proces cu funcția de transfer

$$H_P(s) = \frac{4}{s^2 + 2s + 4}.$$

4.3. În schema Simulink se va utiliza un regulator **PID** (conectând la sumator toate cele trei blocuri) și

- folosind K_R de la 4.3 și T_i de la 4.2, se variază $T_d = \{0.03, 0.05, 0.1\}$;
- se calculează pentru fiecare valoare a lui T_d valorile indicatorilor de performanță și *se notează separat*;
- se înscriu în tabel **sensurile de variație** a indicatorilor de performanță corespunzătoare variației crescătoare a lui T_d , cu K_R și cu T_i constante.