

LABORATOR NR. 11: SINTEZA SISTEMELOR DE REGLARE AUTOMATA. REGLAREA SERIE.

Obiectivele lucrării

- a) studiul metodelor de reglare prin avans și cu întârziere de fază;
- b) acordarea unor structuri de reglare prin avans și cu întârziere de fază.

11.1 Reglarea serie

Acest tip de regulator este inserat pe cale directă în serie cu procesul (vezi figura 11.16) și elaborează un semnal de comandă:

$$v(t) = f[\varepsilon(t)]$$

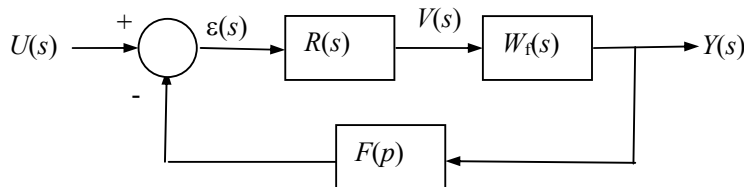


Fig. 11.1 SRA cu regulator serie

Distingem trei tipuri principale de acțiuni pe semnalul de ecart ε :

- acțiunea proporțională, notată P

$$v(t) = k\varepsilon(t) \Rightarrow V(p) = k\varepsilon(p)$$

- acțiunea integrală, notată I

$$v(t) = \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(\theta) d\theta \Rightarrow V(s) = \frac{1}{T_i p} \varepsilon(s)$$

- acțiunea derivativă, notată D

$$v(t) = T_d \frac{d}{dt} [\varepsilon(t)] \Rightarrow V(p) = T_d p \cdot \varepsilon(p)$$

Un regulator serie realizează, mai mult sau mai puțin precis, combinații lineare ale acestor trei acțiuni.

11.1.1 Reglarea prin avans de fază

În acest caz, regulatorul realizează o acțiune proporțională și derivată (P.D.). Scopul său este de a ameliora performanțele dinamice ale sistemului în buclă închisă (lărgirea benzii de trecere, stabilizare) fără a modifica sensibil performanțele statice.

Un regulator cu acțiune proporțională și derivativă are funcția de transfer teoretică:

$$R(s) = K(1 + T_d \cdot s).$$

Deoarece acțiunea derivativă nu este fizică realizabilă, o aproximăm cu o funcție de forma următoare, care a fost deja prezentată:

$$\frac{T_d s}{1 + T_d s} \text{ cu } T_d \ll T_d \quad (11.1)$$

Noul regulator are deci ca funcție de transfer:

$$R(s) = K \left(1 + \frac{T_d s}{1 + T_d s} \right) \cong K \left(\frac{1 + T_d s}{1 + T_d s} \right)$$

În general, numim *regulator cu avans de fază* un regulator cu funcția de transfer:

$$R(s) = K \frac{1 + Ts}{1 + aTs} \text{ cu } a < 1 \quad (11.2)$$

Caracteristicile Bode asociate acestui regulator sunt prezentate în figura 11.2.

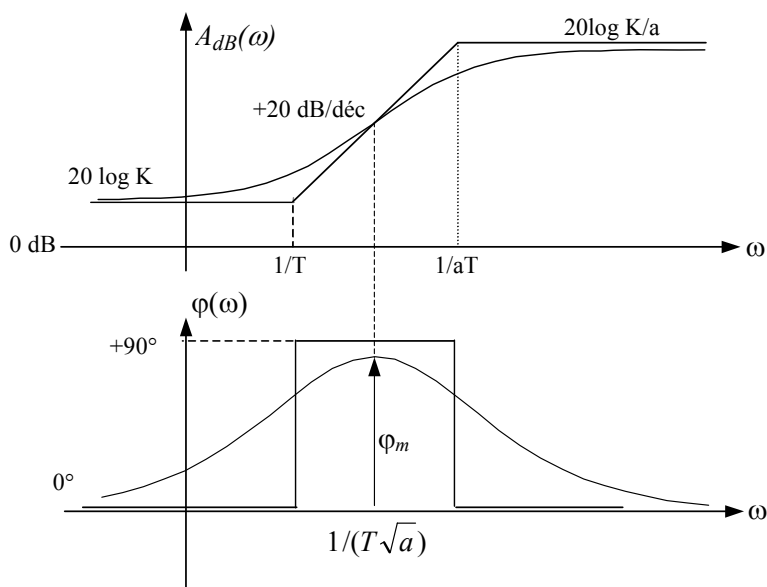


Fig. 11.2 Caracteristicile Bode ale regulatorului cu avans de fază

Cititorul poate cu ușurință să verifice că se obține un defazaj pozitiv maxim φ_m la pulsația:

$$\omega = \frac{1}{T\sqrt{a}}$$

de valoare definită prin:

$$\sin \varphi_m = \frac{1 - a}{1 + a} \quad (11.3)$$

Valorile lui φ_m pentru diferite valori ale parametrului a sunt date în tabelul 11.1.

Table 11.1 Defazajul maxim al unui regulator cu avans de fază

a	1/4	1/6	1/8	1/10	1/12
φ_m	37°	45°	51°	55°	58°

Nu există o metodă generală de proiectare a unui astfel de regulator. Pentru a concluziona asupra utilizării lui, vom analiza un caz particular frecvent utilizat, ilustrat în figura 11.3.

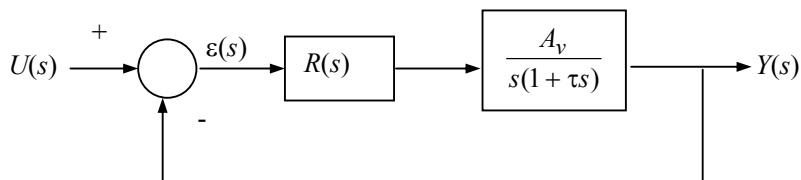


Fig 11.3 SRA cu regulator cu avans de fază

Amplificarea părții fixate, notată A_v , este o amplificare în viteză deoarece acesta posedă o integrare. Oricare ar fi legea de comandă a regulatorului, sistemul în buclă închisă are o eroare permanentă nulă la treaptă. Precizia statică este, în general, satisfăcută și acțiunea integrală a regulatorului nu mai prezintă interes.

Să presupunem că dorim un timp de răspuns t_r minim pentru sistemul în buclă închisă. Aceasta conduce la introducerea unei amplificări K (acțiune proporțională) pe calea directă, care permite creșterea pulsației de tăiere a sistemului în buclă deschisă și, în virtutea relației lui PARSEVAL, diminuarea timpului de răspuns în buclă închisă

Caracteristicile Bode ale sistemului în buclă deschisă cu regulator P, de amplificare K , sunt prezentate în continuare:

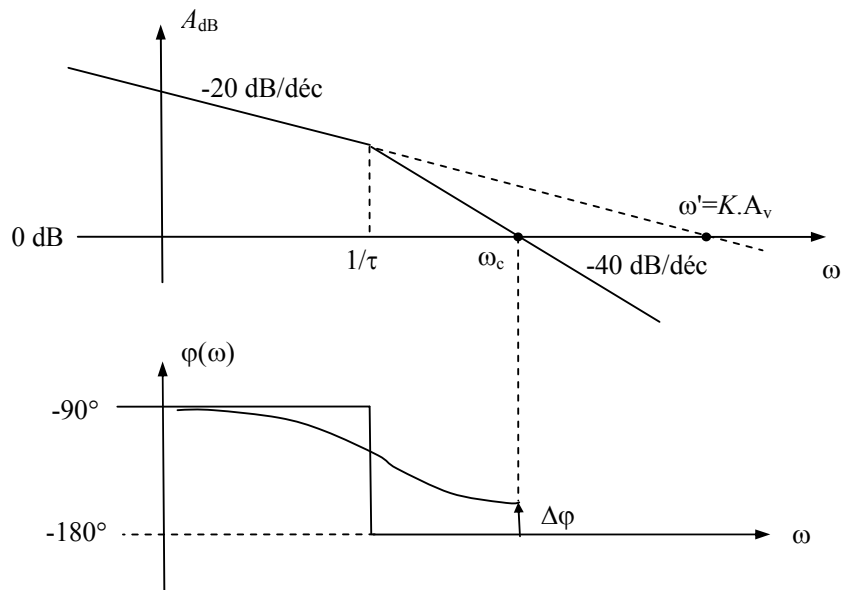


Fig. 11.4 Caracteristicile Bode pentru acțiune proporțională

Desigur, pentru această alegere a amplificării K , marginea de fază este insuficientă și, în consecință, sistemul în buclă închisă va fi slab amortizat.

Dacă introducem un regulator cu avans de fază în amonte, caracteristicile Bode a sistemului în buclă închisă sunt prezentate în figura 11.5.

Observăm că regulatorul a permis creșterea marginii de fază și a ameliorat gradul de stabilitate a sistemului și amortizarea sa, conservând un timp de răspuns corect.

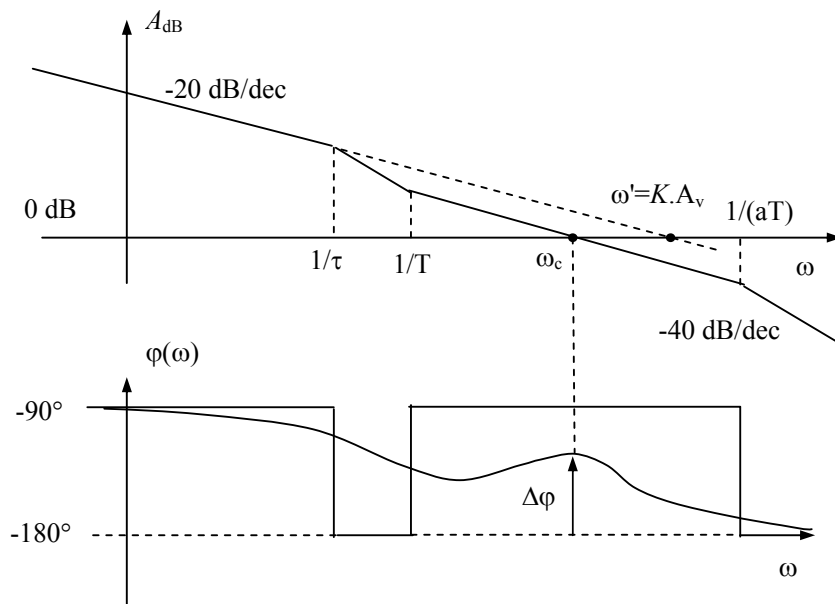


Fig. 11.5 Caracteristicile Bode cu regulator cu avans de fază

În concluzie

- regulatorul cu avans de fază crește banda de trecere a sistemului în buclă deschisă și astfel diminuează timpul de răspuns al sistemului în buclă închisă, dacă amortizarea este convenabilă.
- alegând T și a astfel încât:

$$\omega_c = \frac{1}{T\sqrt{a}}$$

(ω_c fiind pulsația de tăiere a sistemului în buclă închisă fără regulator cu avans de fază) și

$$\frac{1}{T} > \frac{1}{\tau},$$

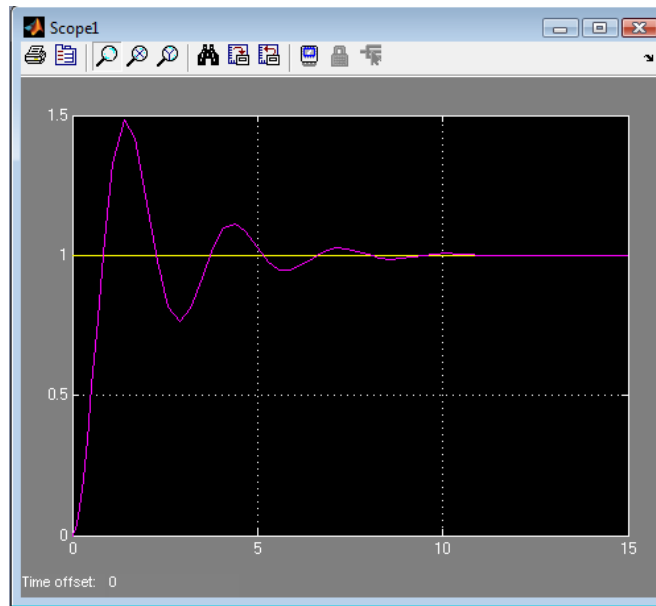
obținem un avans de fază maxim vecin cu ϕ_m definită de relația (11.3); (această alegere evită construirea completă a caracteristicii de fază pentru determinarea marginii de fază). Se obține și o amortizare convenabilă pentru sistemul în buclă închisă.

Exemplu:

Fie un proces descris prin funcția de transfer:

$$H(s) = \frac{5}{s(s+1)}$$

Răspunsul procesului în bucla de reacție fără regulator este prezentat în figura următoare:



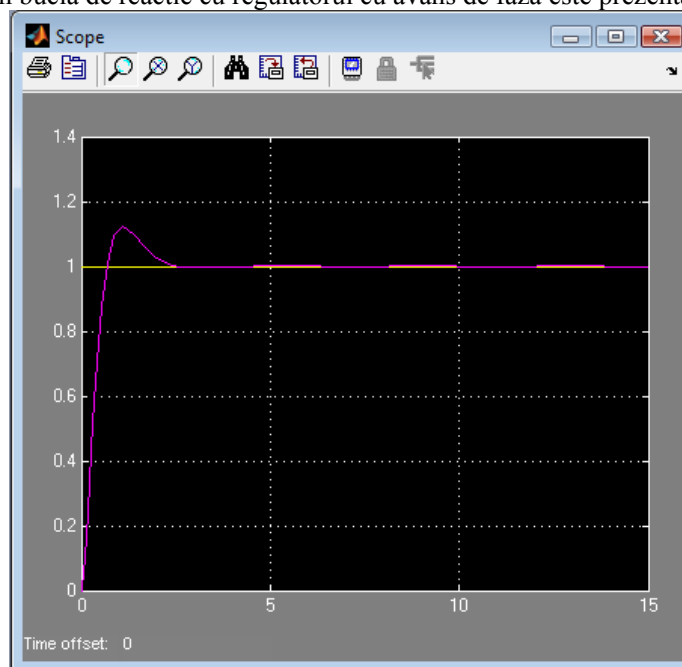
Din figura se observa ca in bucla inchisa, chiar si in absenta regulatorului, se obtine eroare stationara nula la intrare de tip treapta. Acest lucru se datoreaza faptului ca procesul contine un integrator. Din figura se observa ca regimul dinamic este nesatisfacator (suprareglare de aproximativ 50% si un timp de raspuns de aproximativ 6 sec).

Pentru imbunatatirea regimului dinamic se adopta un regulator cu avans de faza de tipul celui prezentat in formula (11.73):

$$H(s) = \frac{0.5s + 1}{\frac{0.5}{6}s + 1}$$

unde $K=1$, $T=0.5$ si $a=1/6$.

Raspunsul procesului in bucla de reactie cu regulatorul cu avans de faza este prezentat in figura urmatoare:



Din figura se observa o imbunatatire evidenta a regimului dinamic: suprareglare de aproximativ 12% si timp de raspuns de sub 2 sec, fara a afecta eroarea stationara ce ramane in continuare nula.

11.1.2. Reglarea cu întârziere de fază

Scopul acestei reglări este creșterea amplificării la frecvențe mici și ameliorarea, în consecință, a regimului staționar, fără a modifica sensibil caracteristicile dinamice ale sistemului în buclă închisă.

Un regulator cu acțiune proporțională și integrală are ca funcție de transfer:

$$R(s) = K \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) = K \left(\frac{1 + T_i s}{T_i s} \right).$$

Deoarece integrarea nu este pură, acest regulator admite o aproximare:

$$R(s) = K \left(1 + \frac{1}{T_i s + \frac{1}{a}} \right) \cong Ka \frac{(1 + T_i s) + \frac{1}{a}}{1 + a T_i s}$$

cu $a > 1$. Termenul $1/a$ de la numărător poate fi neglijat.

În general, numim regulator cu întârziere de fază un regulator cu funcția de transfer:

$$R(s) = K \left(\frac{1 + Ts}{1 + aTs} \right) \text{ cu } a > 1 \quad (11.4)$$

Caracteristicile Bode asociate sunt reprezentate în figura 11.6.

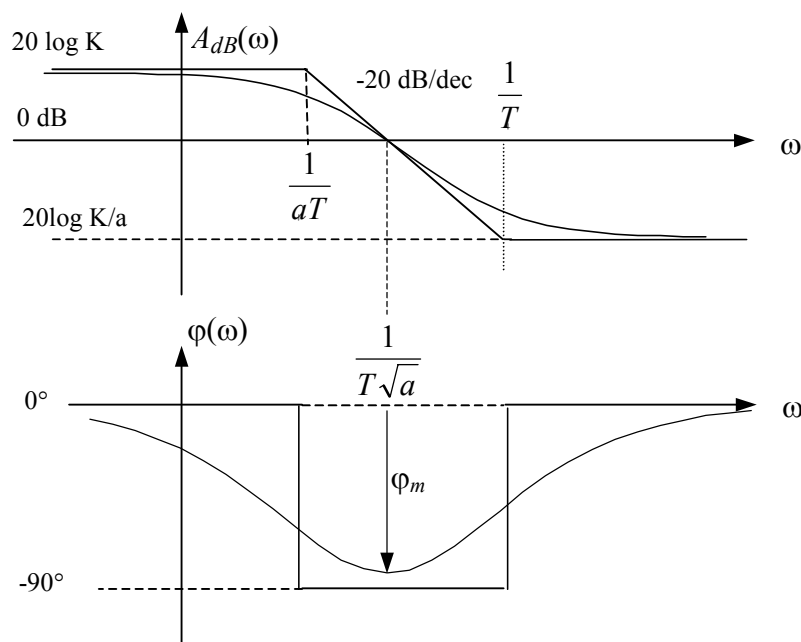


Fig. 11.6 Caracteristicile Bode ale regulatorului cu întârziere de fază

Constatăm că pentru pulsația:

$$\omega = \frac{1}{T\sqrt{a}},$$

regulatorul cu întârziere de fază are un defazaj minim, de valoare definită prin:

$$\sin \varphi_m = \frac{1-a}{1+a} \quad (11.5)$$

cu $a > 1$, deci :

$$\varphi_m < 0 .$$

Valorile lui φ_m pentru diferite valori ale lui a sunt date în tabelul 11.2

Tabelul 11.2 Defazajul maxim al unui regulator
cu întârziere de fază

a	4	6	8	10	12
φ_m	-37°	-45°	-51°	-55°	-58°

Rolul principal al regulatorului cu întârziere de fază este de a crește amplificarea la frecvențe joase, permițând astfel ameliorarea preciziei regimului staționar, fără a modifica sensibil comportamentul sistemului la frecvențe înalte.

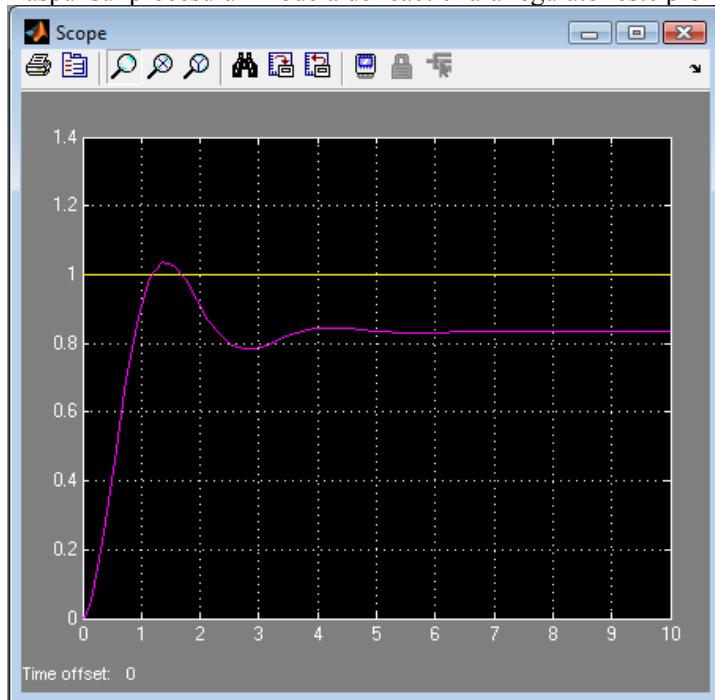
Pentru a putea concluziona asupra utilizării sale, vom analiza în continuare urmatorul exemplu:

Exemplu:

Fie un proces descris prin funcția de transfer:

$$H(s) = \frac{5}{(s+1)^2}$$

Răspunsul procesului în bucla de reacție fără regulator este prezentat în figura următoare:

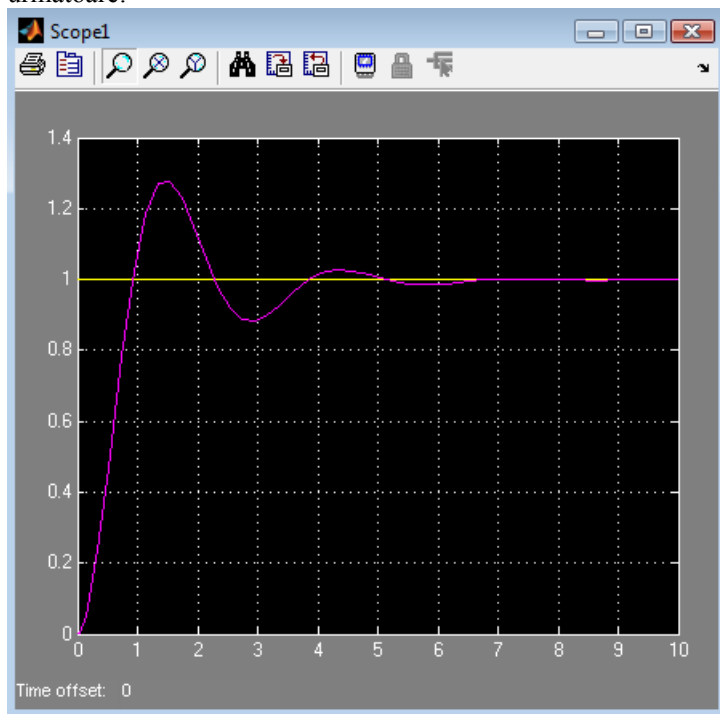


Din figura se observa ca in bucla inchisa, in absenta integratorului pe calea directa, eroarea stationara este nenula la intrare de tip treapta. Din figura se mai observa ca regimul dinamic este satisfactor (in ciuda absentei regulatorului): suprareglare de aproximativ 25% si un timp de raspuns de aproximativ 3 sec.

Pentru eliminarea erorii stationare se adopta un regulator cu intarziere de faza de tip PI:

$$H(s) = \frac{2s + 1}{2s}$$

Raspunsul procesului in bucla de reactie cu regulatorul cu intarziere de faza este prezentat in figura urmatoare:



Din figura se observa ca elementul integrator actioneaza asupra regimului stationar aducand eroare stationara la zero, in timp ce regimul dinamic nu este afectat in mod deosebit: suprareglare de aproximativ 28% si timp de raspuns de aproximativ 3.5 sec, nu cu mult diferit fata de situatia initiala.

Cerinte

Studiul notiunilor teoretice prezentate in lucrare. Calculul reguletoarelor prin avans si cu intarziere de faza pentru procesele considerate in cadrul lucrarii. Simularea sistemelor de reglare automata pentru cele doua structuri de reglare prezentate in lucrare.