Sisteme Incorporate

Curs 6

Sisteme de Control

Modelarea Sistemelor Incorporate

- Un sistem incorporat este un sistem dinamic
  - Sistemul actioneaza in functie de stimulii primiti
  - Atunci cand una sau mai multe iesiri ale sistemului trebuie sa se conformeze anumitor reguli, un controller manipuleaza intrarea sistemului pentru a aduce iesirile la valorile dorite.
  - Sistemul poate fi afectat de perturbatii exterioare
  - Parametrii de intrare trebuie calculati in functie de erori si de parametrii de iesire.

Sisteme Dinamice

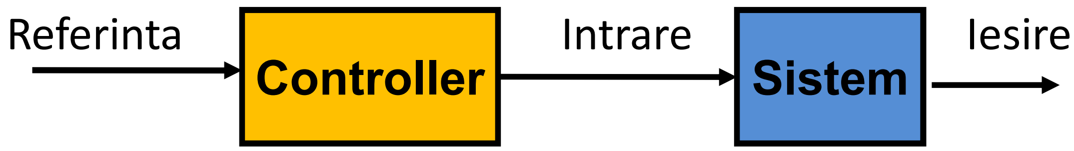
- Exemple:
  - Termostatarea unei incinte
  - Controlul vitezei de rotatie a unui hard-disk
  - Controlul altitudinii de zbor
  - Cruise control/Traction control
  - Surse de alimentare
  - Controlul miscarii pentru robotii industriali

Controlul Sistemelor

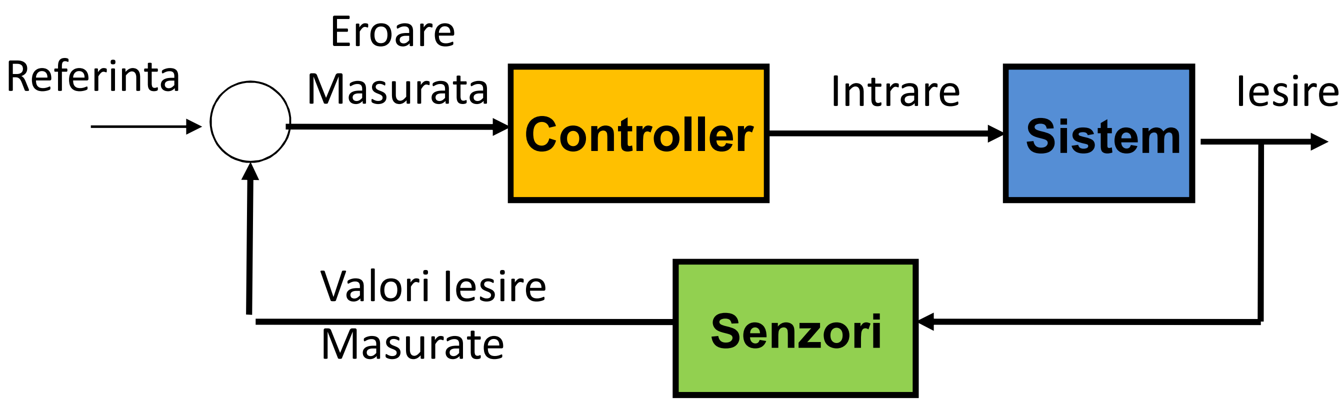
- Aplicarea unor valori la intrarea sistemului pentru care iesirea acestuia se conformeaza unei valori de referinta.
  - Cruise-control: f_motor(t)=? → viteza=60 km/h
  - Server E-commerce: Alocarea resurselor? → T_raspuns = 5 sec
  - Networking: Rata de transfer? → Intarziere = 1 sec

Tipuri de sisteme de control

- Sisteme in bucla deschisa



- Sisteme cu reactie



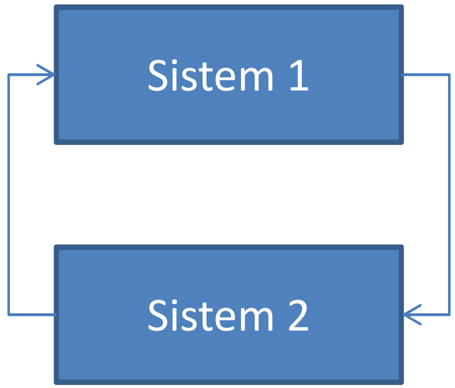
Sisteme in bucla deschisa

- Calculeaza valorile de intrare fara a masura variabilele de sistem
  - Simplu de implementat
  - Trebuie cunoscute exact TOATE VARIABILELE din sistem ca totul sa mearga cum trebuie
    - Cruise-control: frecare(t), unghi_plan(t)
    - Server E-commerce: Incarcarea(rata de sosire a cererilor? Consumul de resurse?); sistem (timp de service? defectiuni?)

- Sistemele in bucla deschisa dau gres atunci cand
  - Nu stim totul
  - Facem erori de modelare
  - Lucrurile se schimba

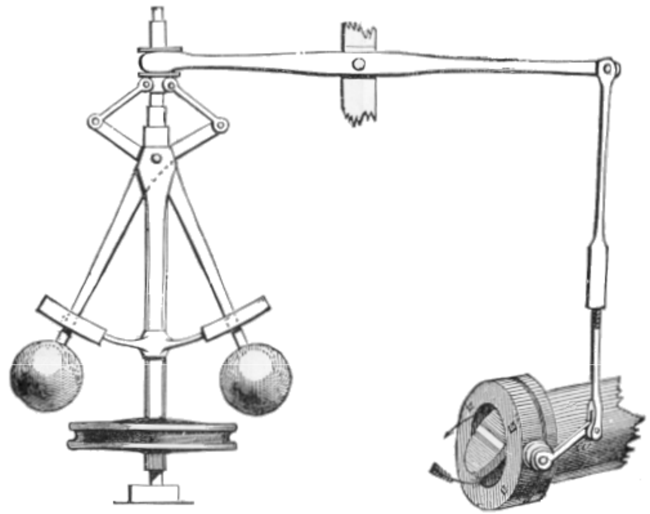
Sistemele cu reactie

- Ce este reactia?
  - Intoarcerea unei parti din iesirea unui sistem la intrarea acestuia in scopul auto-corectarii.
  - Presupune interconectarea mutuala a doua sau mai multe sisteme
  - Relatia cauza – efect e dificil de stabilit. Sisteme interdependente
  - Feedback-ul este prezent oriunde in sistemele naturale si artificiale



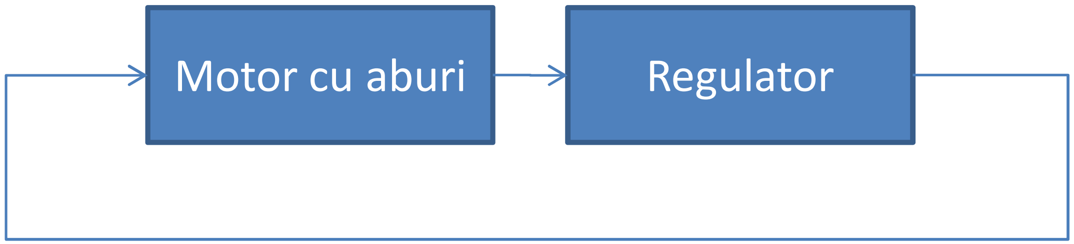
Exemplu #1 – Regulator de viteza

- "Flyball governor" (1788)
  - Reguleaza viteza unui motor cu aburi
  - Reduce efectele variatiei de sarcina (rejectia perturbatiilor)
  - Produce accelerarea revolutiei industriale

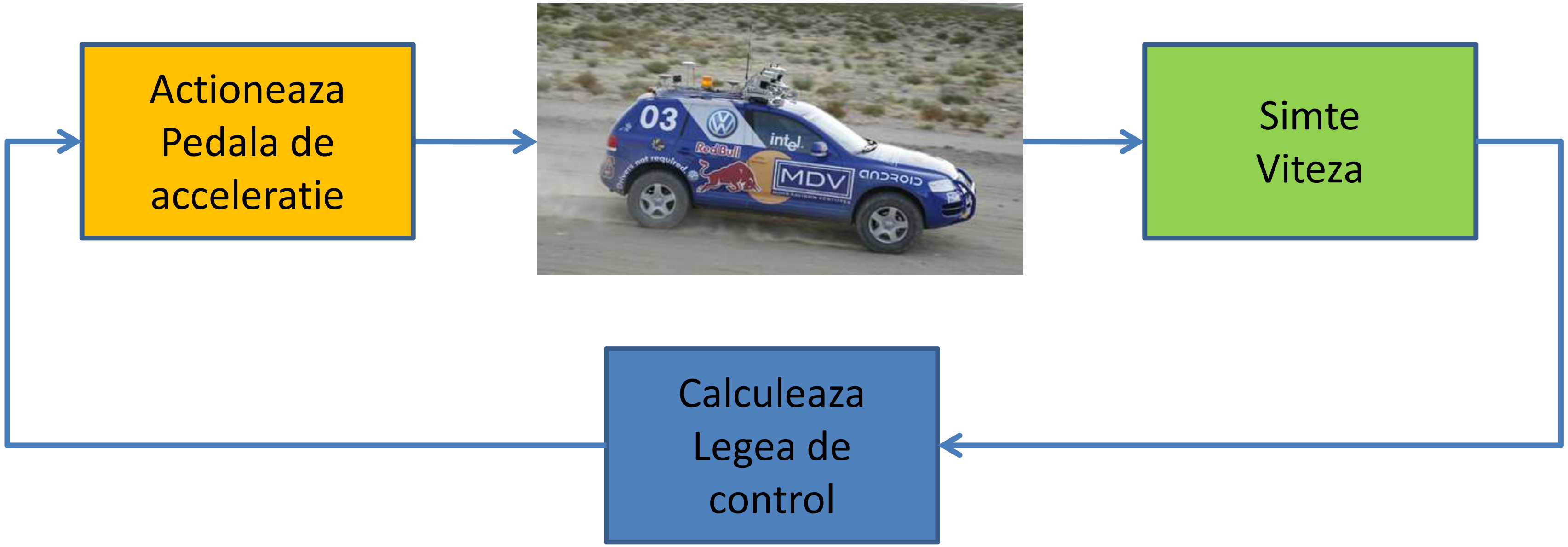


Greutatile se indeparteaza odata cu cresterea vitezei de rotatie

Supapa se inchide, micsorand turatia motorului



Control = Senzori + Calcule + Efectoare

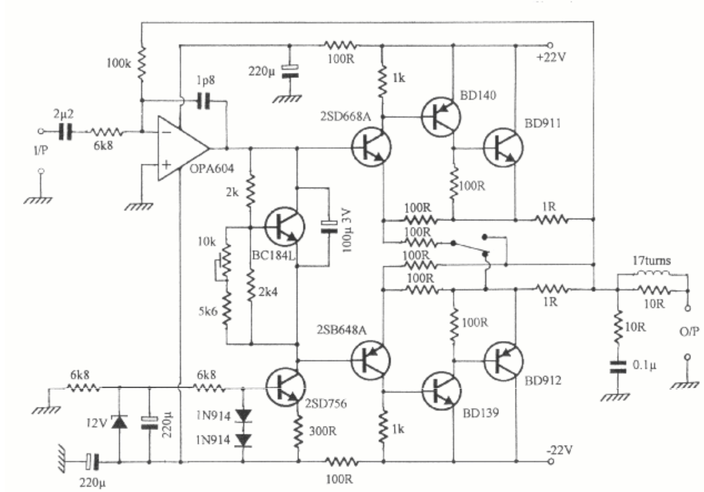


Teluri:

1. Stabilitate: Sistemul isi mentine starea de-a lungul timpului (ruleaza cu viteza constanta)
2. Performanta: Sistemul reactioneaza rapid la schimbari (accelereaza de la 0 la 100 km/h)
3. Robustete: Sistemul tolereaza perturbatiile (masa, frecare, unghiul pantei etc.)

Cele doua principii de control

- Robustete la nesiguranta prin feedback
  - Reactia asigura performante marite chiar si la variatiile neprevizibile ale variabilelor de sistem
  - Amplificatoare care functioneaza corect chiar daca valorile componentelor variaza
  - Ideea de baza: masurarea cu acuratete a diferentei dintre comportamentul obtinut si cel dorit; corectare prin calcul si efectori.
- Designul comportamentului dinamic prin feedback
  - Reactia permite modificarea caracteristicilor dinamice ale unui sistem
  - Exemplu: Imbunatatirea manevrabilitatii pentru avioanele instabile
  - Ideea de baza: Interdependenta modifica comportamentul normal

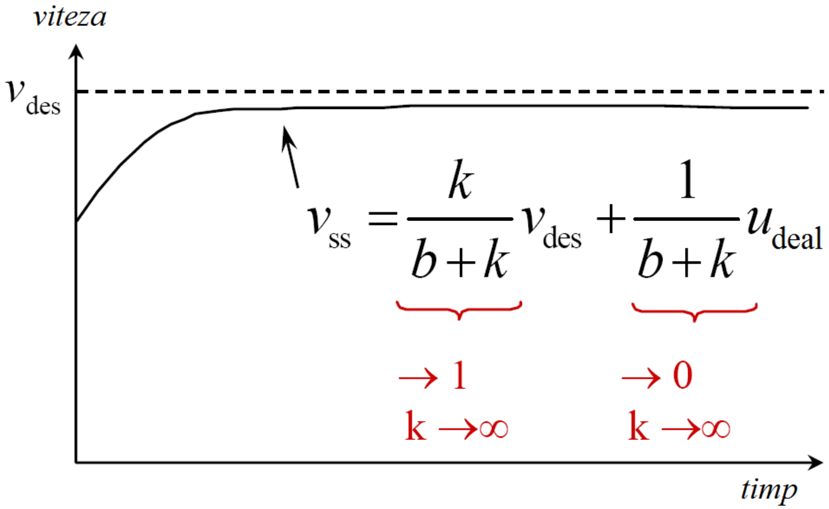



Dryden Flight Research Center EC85 33297-23 Photographed 1985
X-29

Exemplul #2 – Cruise Control

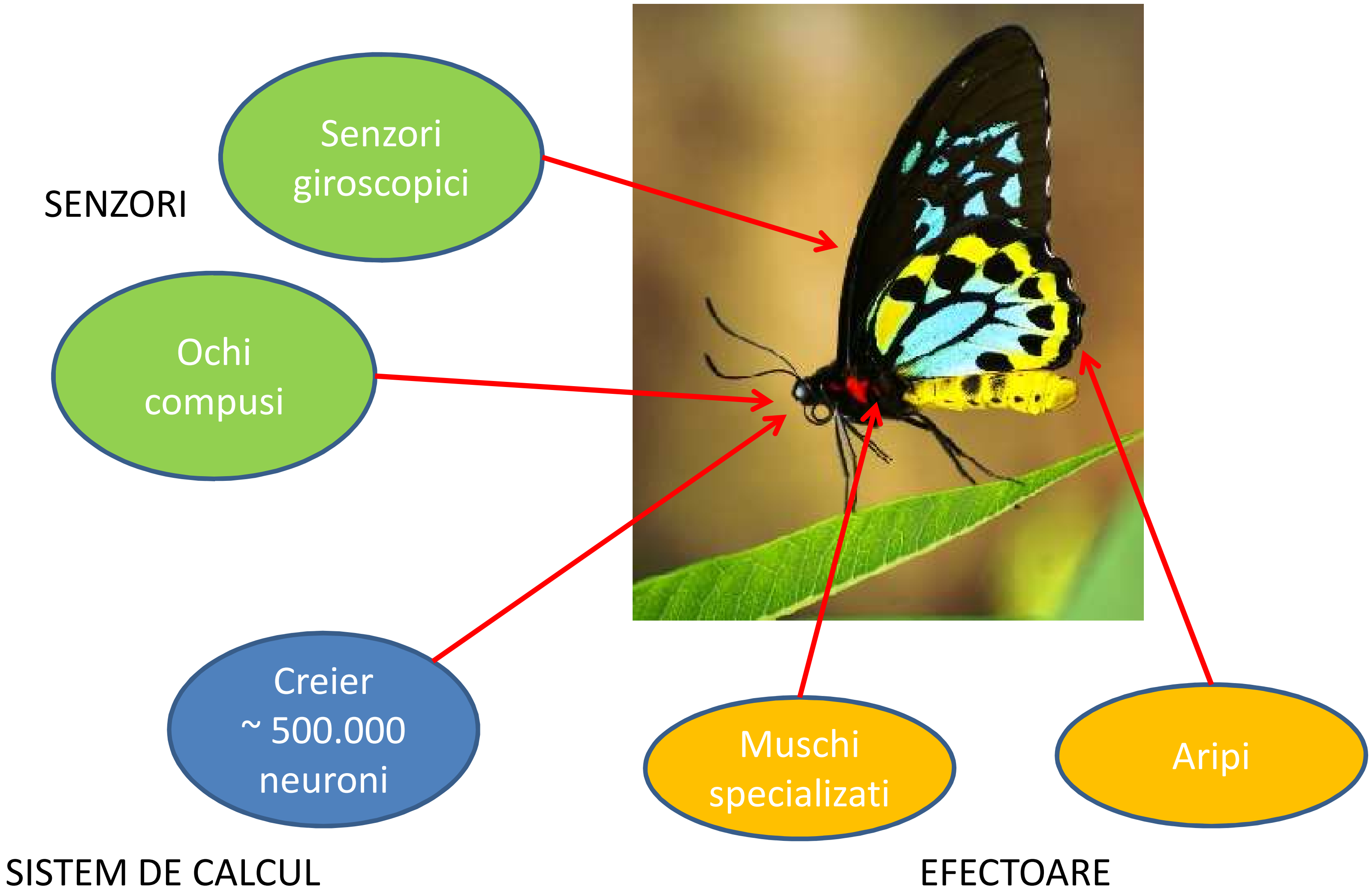
$$m\dot{v} = -bv + u_{motor} + u_{drum}$$

$$u_{motor} = k(v_{des} - v)$$



- Stabilitate/performanta
  - Viteza steady state (Vss) se apropie de viteza dorita pentru k-> ∞
  - Raspuns lin, fara depasire sau oscilatii
- Rejectia perturbatiilor
  - Efectele perturbatiilor (dealurile) sunt eliminate cand k-> ∞
- Robustete
  - Rezultatele nu depind de valorile factorilor m, b, k pentru k suficient de mare.

Exemplul #3 – Zborul unei insecte



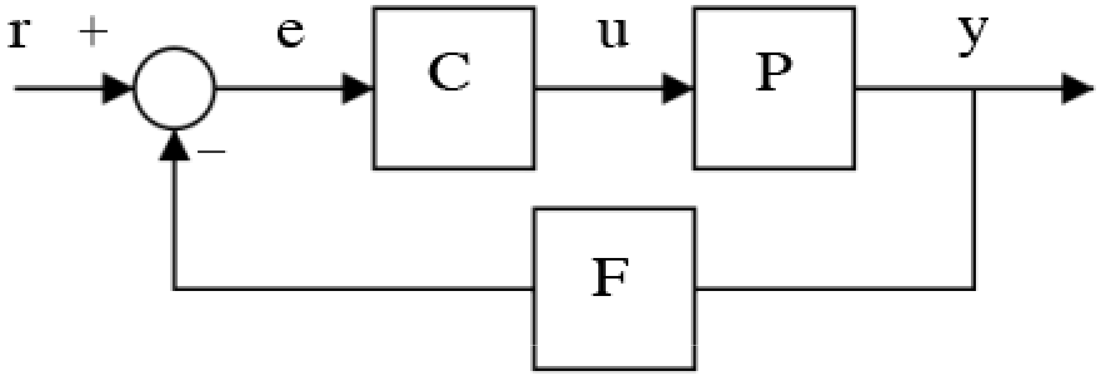
Aplicatiile moderne ale sistemelor cu reactie

- Sisteme de zbor
  - Fly-by-wire
  - UAV
- Robotica
  - Determinarea exacta a pozitiei

    pentru operatii precise
  - Medii greu accesibile: spatiu, mare, operatii non-invazive
- Procese chimice
  - Regularea temperaturii, vitezei de reactie, dozarea reactantilor
- Comunicatii si retelistica
  - Amplificatoare si repetoare de semnal
  - Power management pentru comunicatiile wireless
- Automobile
  - Controlul motorului, tractiunii, climatizarii, stabilitatii etc.

Si multe altele….

Functia de transfer



$$Y(s) = P(s)U(s) \qquad U(s) = C(s)E(s) \qquad E(s) = R(s) - F(s)Y(s).$$

$$Y(s) = \left(\frac{P(s)C(s)}{1 + F(s)P(s)C(s)} \right) R(s) = H(s)R(s).$$

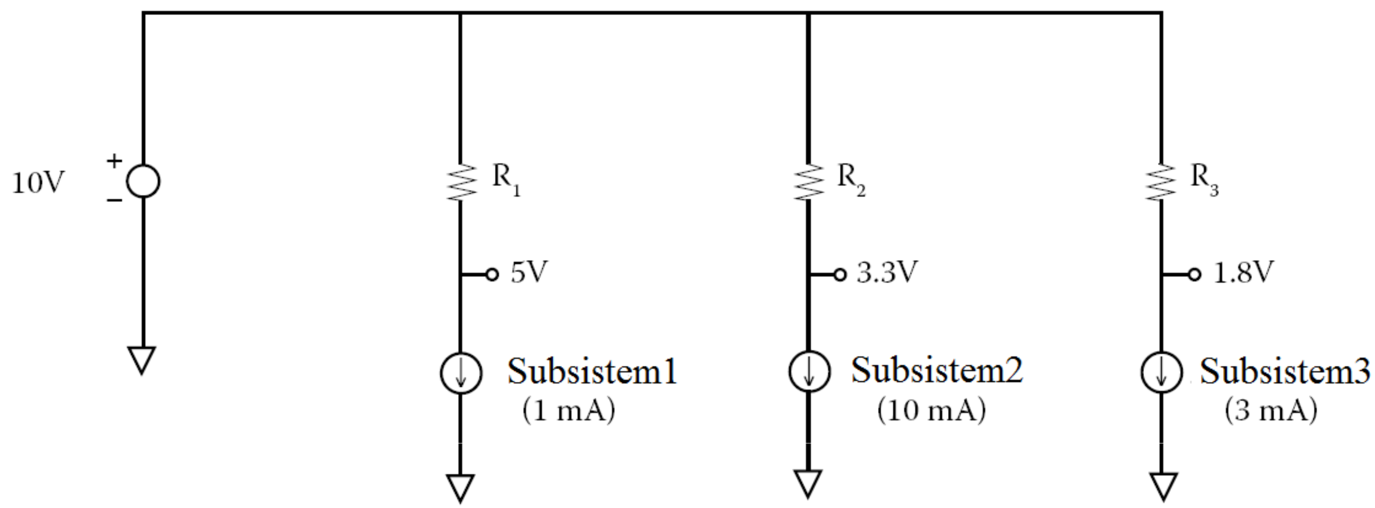
$$H(s) = \frac{P(s)C(s)}{1 + F(s)P(s)C(s)}$$

Functia de transfer a sistemului

Exemplu: Sursa de tensiune

- Cerinte:
- Vreau sa proiectez o sursa de tensiune care
  - sa furnizeze o tensiune fixa indiferent de variatia tensiunii de intrare sau a sarcinii de la iesire
  - sa aiba o eficienta cat mai mare

Solutia 1: Divizor Rezistiv



- Puterea totala: P = 10V * 14mA = 140mW
- Puterea disipata in rezistente:

  P_d = 5*1 + 6.9*10 + 8.2*3 = 96.6mW

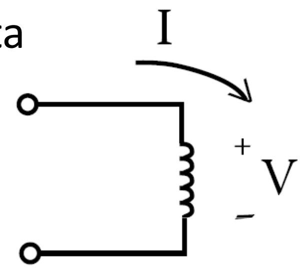
  70% din putere este pierduta in conversia de tensiune

  Este, probabil, cea mai proasta solutie

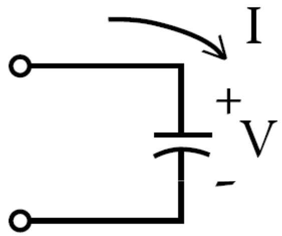
Alte solutii mai bune?

- Ce-ar fi sa folosim componente fara pierderi?

Inductanta



Condensator



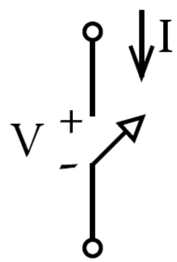
$$U = I_L Z = I_L j\omega L$$

$$U = I_C Z = I_L(-j\frac{1}{C\omega})$$

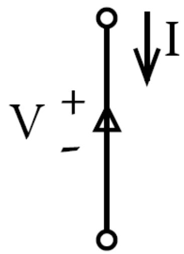
$$P_a = \mathrm{Re}\{S\} = \mathrm{Re}\{UI_L\} = \mathrm{Re}\{I_L^2 j\omega L\} = 0$$

$$P_a = \mathrm{Re}\{S\} = \mathrm{Re}\{UI_C\} = \mathrm{Re}\{I_C^2(-j\frac{1}{C\omega}\} = 0$$

Comutator



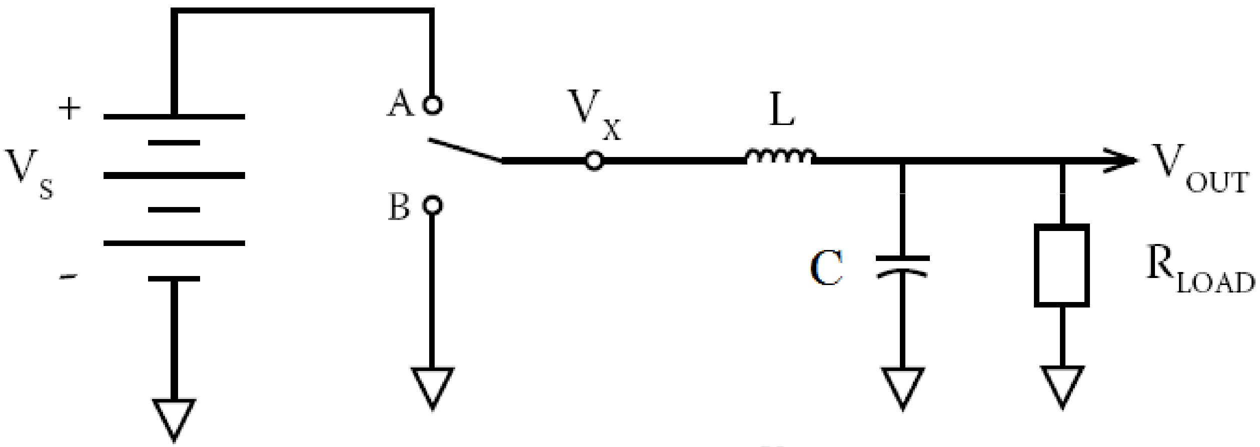
$$P = I \cdot U = 0 \cdot U = 0$$

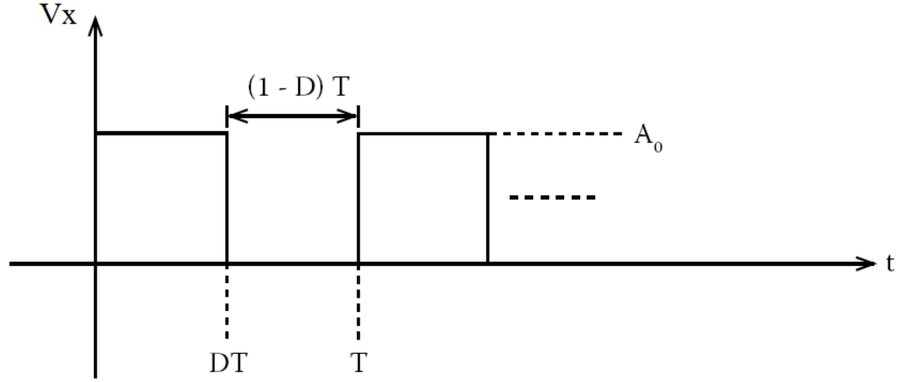


$$P = I \cdot U = I \cdot 0 = 0$$

Solutia 2: Sursa in comutatie

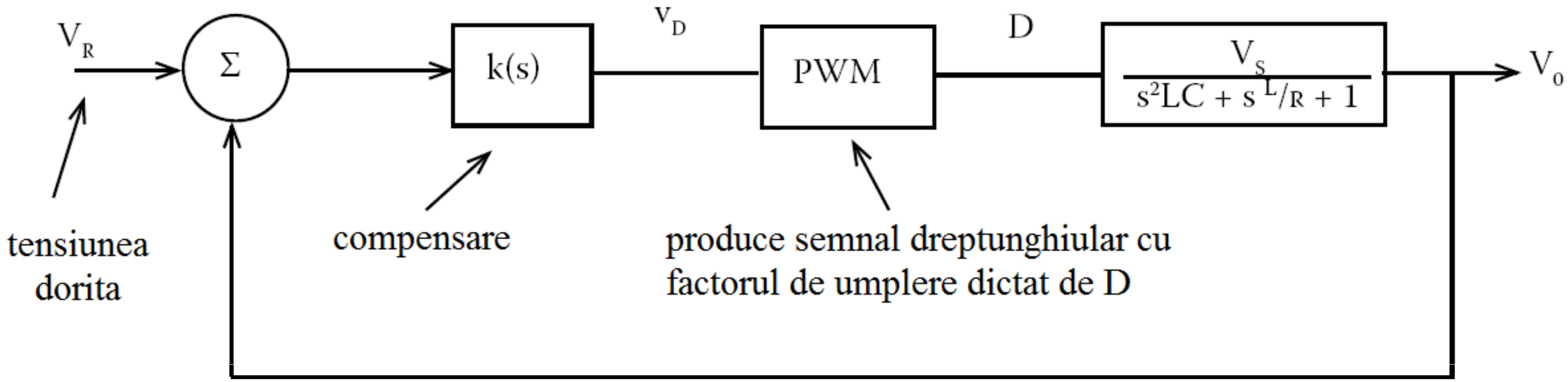
- Folosind condensatoare, bobine si comutatoare se poate face eficient conversia





$0 \leq D \leq 1$

Functia de transfer

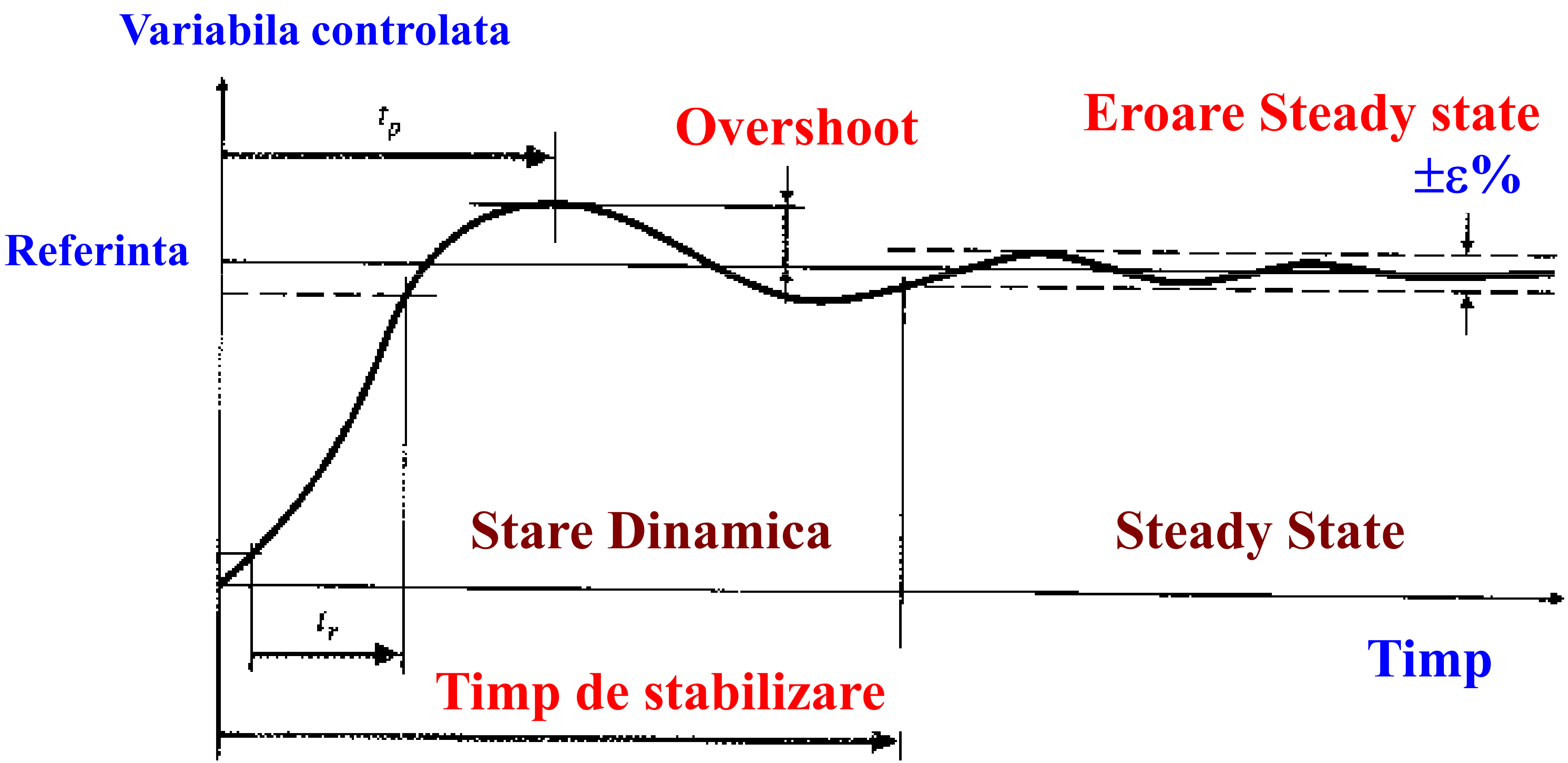


$$V_X = D \cdot V_S$$

$$V_O = \frac{1}{s^2 LC + s\frac{L}{R} + 1} V_X$$

$$V_O = \frac{D}{s^2 LC + s\frac{L}{R} + 1} V_S$$

Indicatori de Performanta



Proprietatile Controllerelor

- Stabilitate
- Iesirea "urmareste" intrarea pentru orice tip de semnal de intrare
- In controlul proportional, stabilitatea este estimata prin stabilirea daca polii functiei de transfer au modulul mai mic decat 1

Proprietatile Controllerelor

- Acuratete
- Acurateea este data de marimea erorii de steady-state.
- In controlul proportional, acuratetea este calculata in raport cu castigul functiei de tranfer pentru o valoare de referinta a intrarii. Eroarea este zero daca si numai daca acest castig este 1.

Proprietatile Controllerelor

- Depasirea superioara (Overshoot)
- Este o proprietate a raspunsului la o excitatie de tip treapta a intrarii.
- Depasirea superioara este caracteristica pentru un comportament oscilant al sistemului. O valoare mare pentru overshoot va fi urmata de obicei de o depasire inferioara (undershoot).

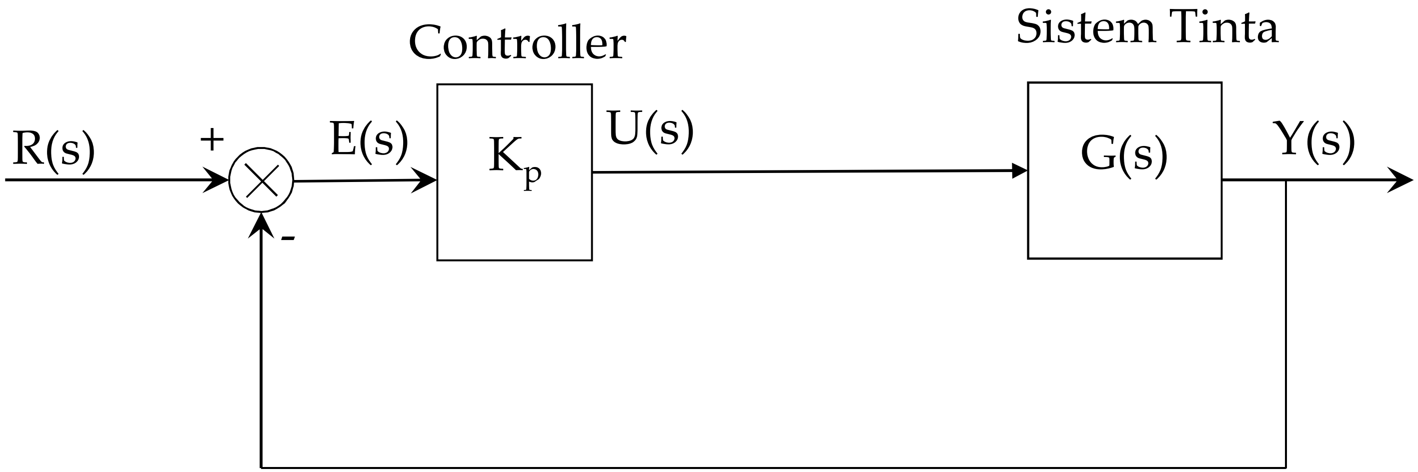
Tipuri de control

- Control Proportional (P)
- Control Proportional Integral (PI)
- Control Proportional Diferential (PD)
- Control PID

Control Proportional

- Una dintre cele mai des intalnite bucle de control
- Iesirea controllerului este direct proportionala cu eroarea
- Produce rezultate bune pentru majoritatea aplicatiilor unde parametrii de functionare nu sunt critici (overshoot, stabilitate, eroare steady-state)

Control Proportional

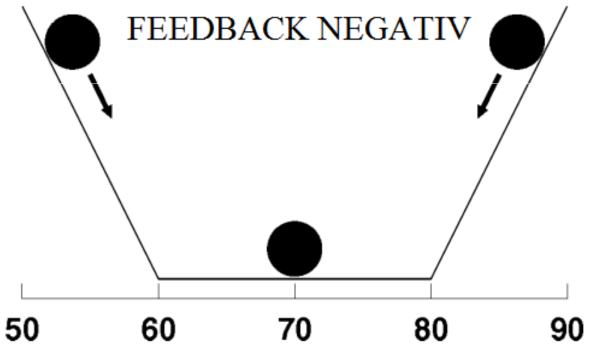


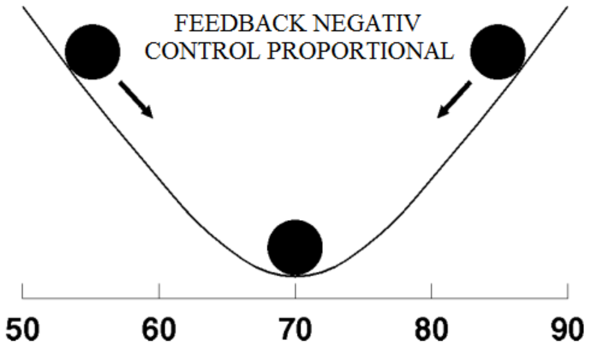
$$E(s) = R(s) - Y(s) \qquad U(s) = K_P E(s) \qquad Y(s) = G(s)U(s)$$

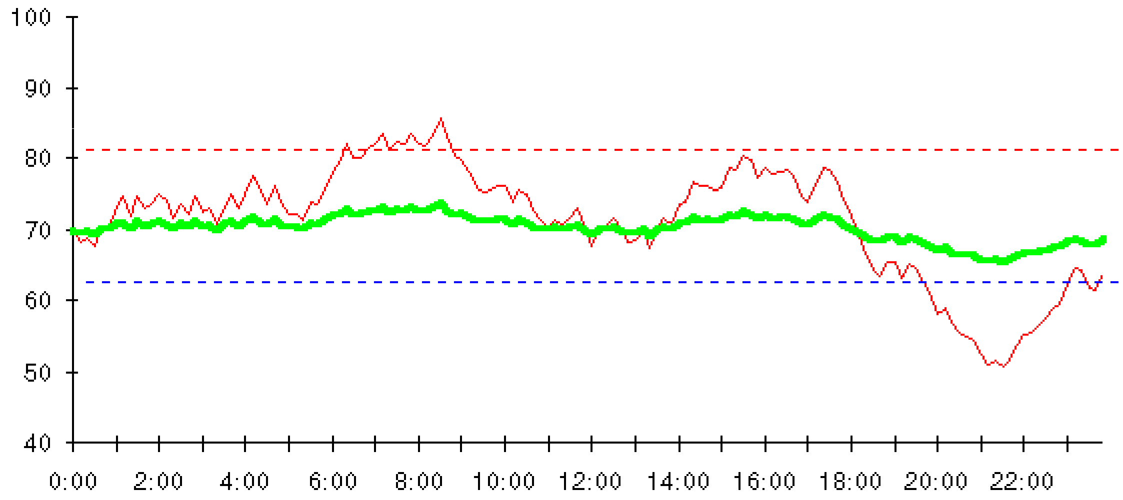
$$H(s) = \frac{K_P \cdot G(s)}{1 + K_P \cdot G(s)}$$

Exemplu

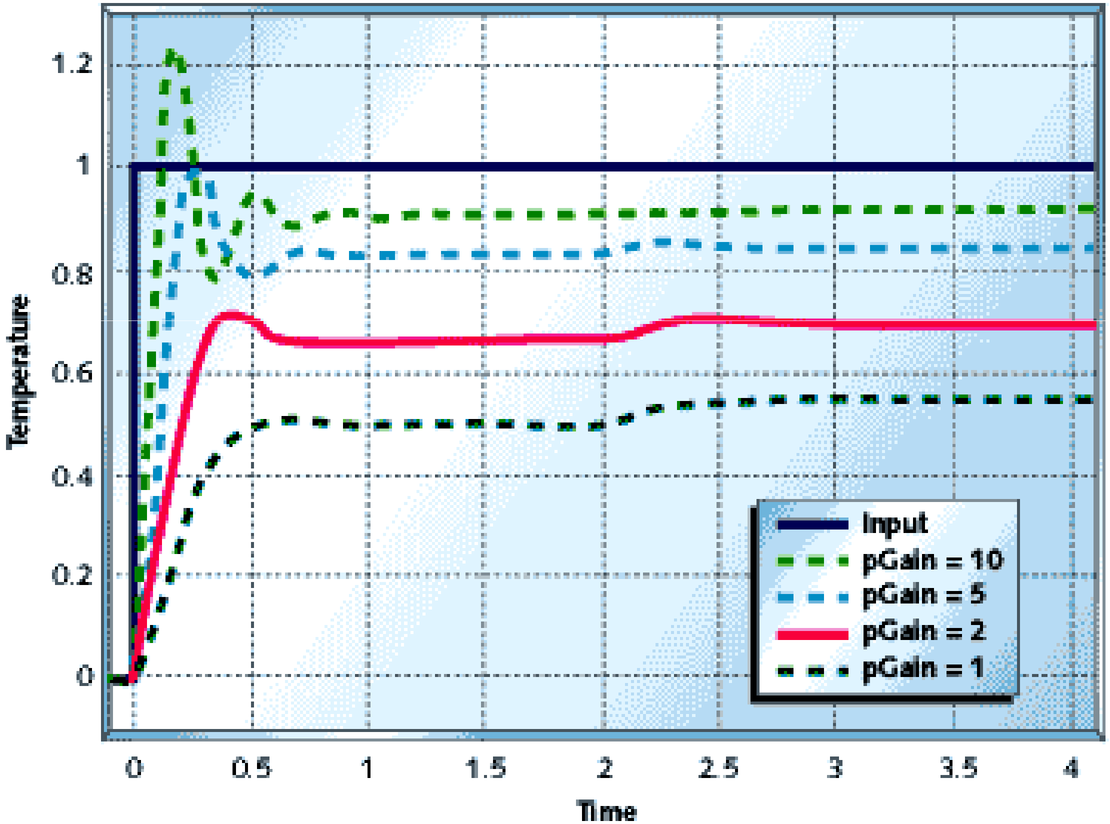
- Controlul temperaturii unei incinte
  - Termostat cu 2 praguri: 80 si 60 grade C (bang-bang)
  - Control proportional







Raspunsul la semnal de tip treapta



www.embedded.com

Caracterizarea Controlului P

- Ecuatia caracteristica a sistemului:

$$1 + K_P \cdot G(s) = 0$$

- Cand Kp -> 0, solutiile urmatoarei ecuatii sunt polii lui G(s):

$$\frac{1}{G(s)} + K_p = 0$$

- Cand Kp->infinit, solutiile urmatoarei ecuatii sunt zerourile lui G(s):

$$\frac{1}{K_p} + G(s) = 0$$

Stabilitate

- Sistemul cu control proportional este stabil daca pentru o anumita valoare a lui Kp, toti polii sunt in interiorul cercului unitate (modul < 1).
- Orice sistem care are cel putin un zero la infinit va deveni intotdeauna instabil pentru o valoare suficient de mare a lui Kp.

Acuratete

$$e_{ss} = \lim_{k->\infty} (r(k) - y(k)) = r_{ss} - y_{ss}$$

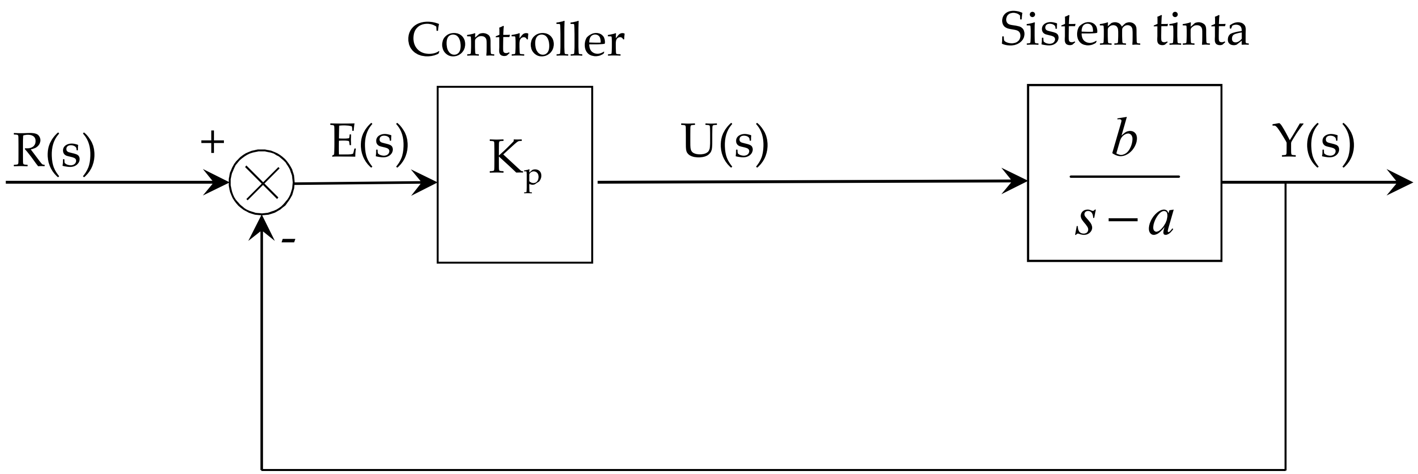
$$K_p = \frac{H(s)}{G(s)(1 - H(s))}$$

$$e_{ss} = \lim_{k->\infty} e(k) = \lim_{s->0} \frac{1}{1 + K_P G(s)}$$

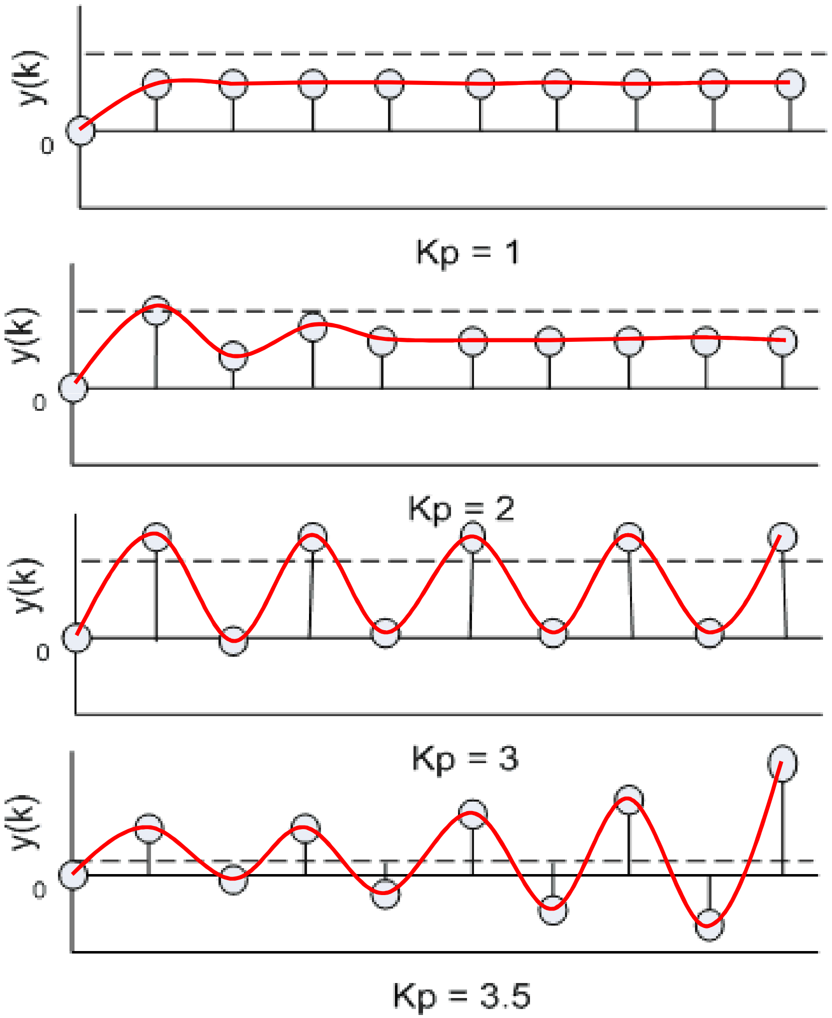
- Eroarea de stare stabila este cu atat mai mica cu cat Kp este mai mare.

Estimarea K_p

- Ce valoare a lui K_p aleg pentru ca sistemul meu sa fie cat mai performant?
- Exemplu: controllerul de temperatura



Efecte pentru diferite valori ale K_p



$$G(s) = \frac{0.43}{s - 0.47}$$

- Evolutia sistemului in timp in functie de K_p
- K_p = 1, polul functiei de transfer este aproape 0, $|e_{ss}|$ este mare.
- K_p = 2, pol in -0.51, overshoot si oscilatie.
- K_p = 3, pol la -1, oscilatie.
- K_p = 3.5, pol la -1.25, sistemul este instabil.

Concluzii Control P

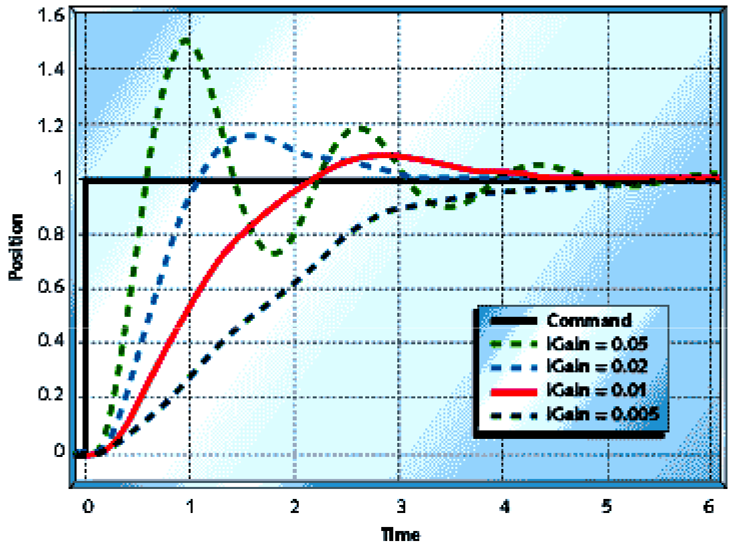
+ Este foarte usor de implementat
+ Stabilitate buna daca alegem K_p potrivit

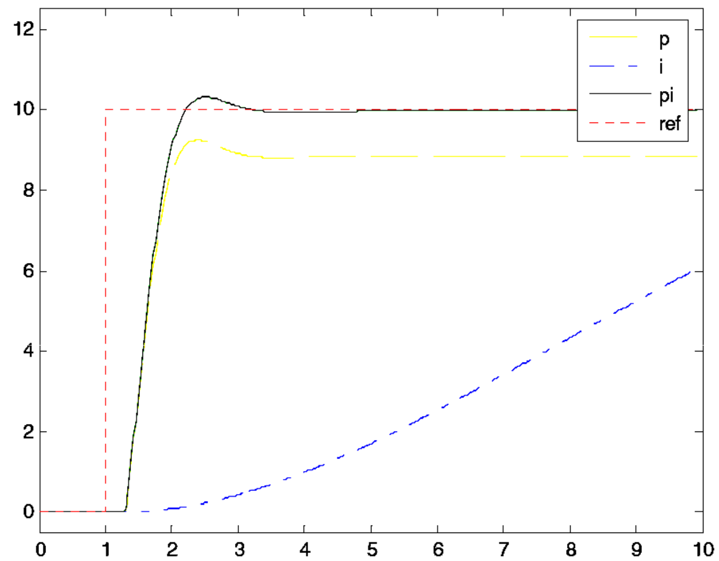
- Timp destul de indelungat pentru stabilizare
- Poate intra foarte usor in oscilatie
- Pentru valori din ce in ce mai mari ale K_p sistemul devine instabil
- In general, una sau mai multe cerinte (eroare de stare stabila, depasire, oscilatie) sunt imposibil de satisfacut pentru orice valoare a K_p

Control Integral

- Folosit pentru a adauga precizie pe termen lung sistemului
- Aproape intotdeauna este folosit in conjunctie cu controlul proportional (PI)
- Controllerul insumeaza erorile trecute pana cand iesirea ajunge la valoarea de referinta

Control integral pur



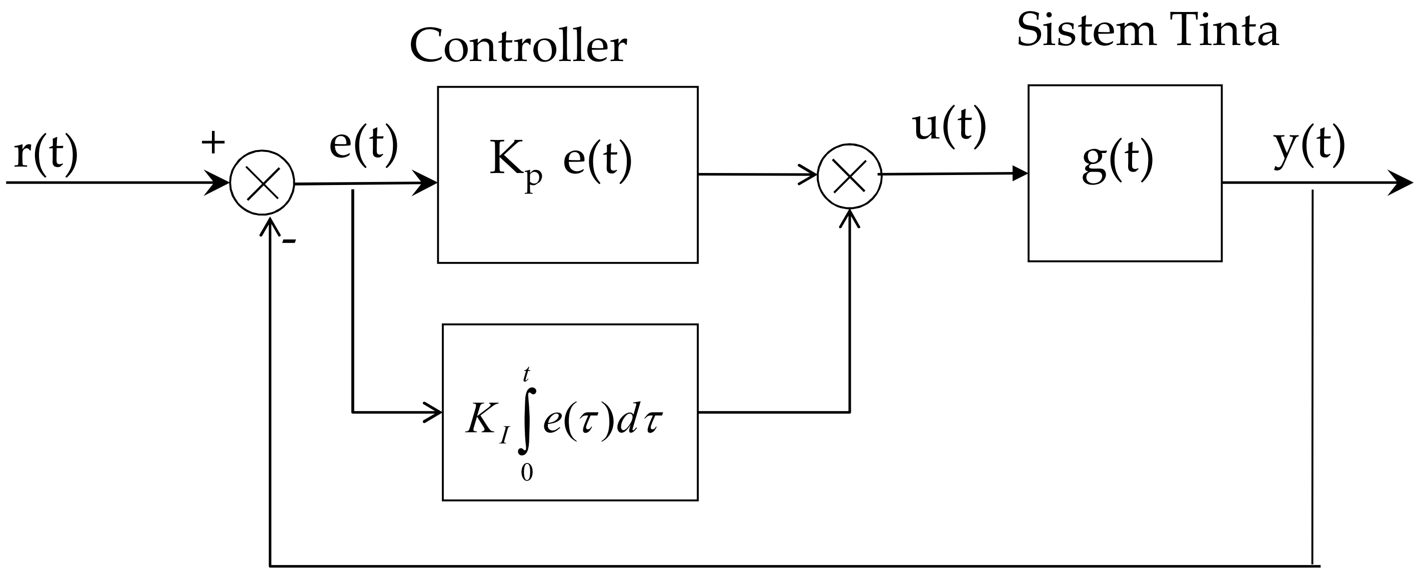


- Raspunsul controlului I este lent si uneori poate produce oscilatia sistemului. De cele mai multe ori este preferat controlul PI.

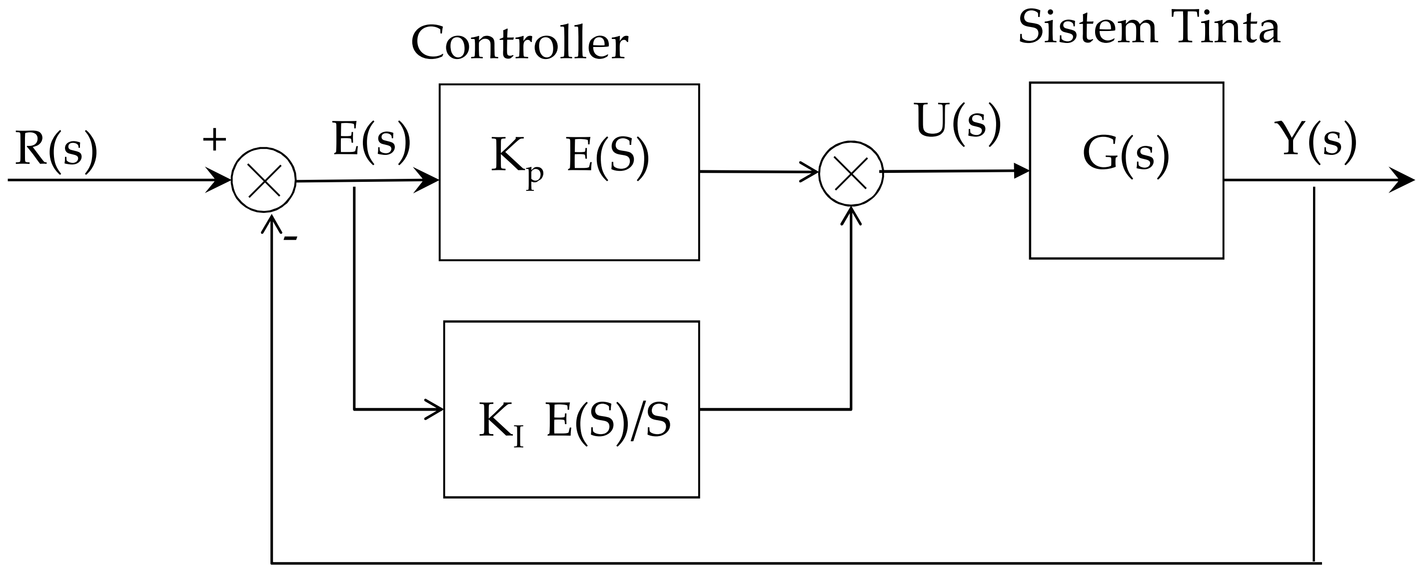
www.embedded.com

Control Proportional-Integral

- Iesirea controllerului este direct proportionala cu integrala tuturor erorilor trecute.



Functia de transfer PI

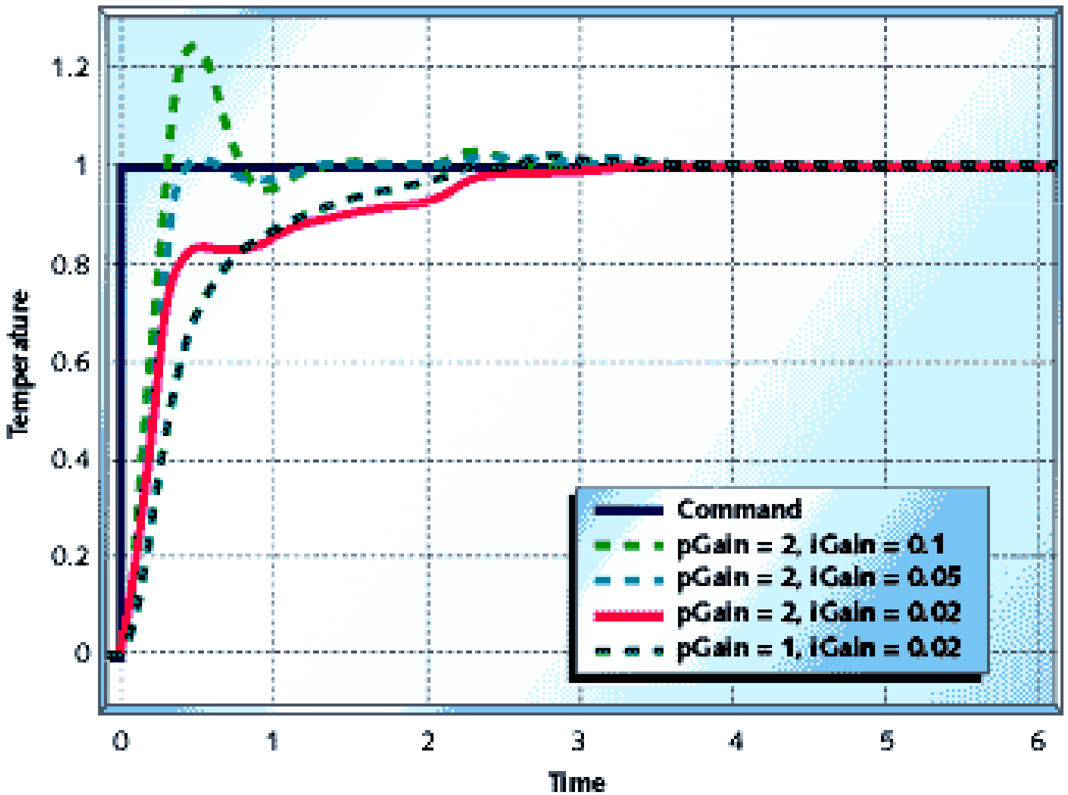


$$E(s) = R(s) - Y(s) \qquad U(s) = K_P E(s) + K_I \frac{E(s)}{s} \qquad Y(s) = G(s)U(s)$$

$$H(s) = \frac{(K_P + \frac{K_I}{s}) \cdot G(s)}{1 + (K_P + \frac{K_I}{s}) \cdot G(s)}$$

Exemplu

- Pentru controllerul de temperatura:



www.embedded.com

Acuratete

Ecuatia caracteristica: $$1+\left(K_P+\frac{K_I}{s}\right)\cdot G(s)=0$$

$$e_{ss} = \lim_{k->\infty} e(k) = \lim_{s->0} \frac{1}{1+\left(K_P+\frac{K_I}{s}\right)G(s)}$$

- Eroarea steady-state este zero cat timp sistemul este stabil.

Implementare Control PI

```
double iTerm;
// calculeaza  termenii PI
// intre doua limite
pid->iState  +=  error;
if (pid->iState  >  pid->iMax)
    pid->iState  =  pid->iMax;
else if (pid->iState  <  pid-> iMin)
    pid->iState  =  pid->iMin;
iTerm  =  pid->iGain * iState; // calculeaza factorul integral
```

Concluzii PI

- Controlul Integral pur are un timp de raspuns lent si poate produce oscilatia sistemului

- Controlul PI are un timp de raspuns mai mic decat I pur.

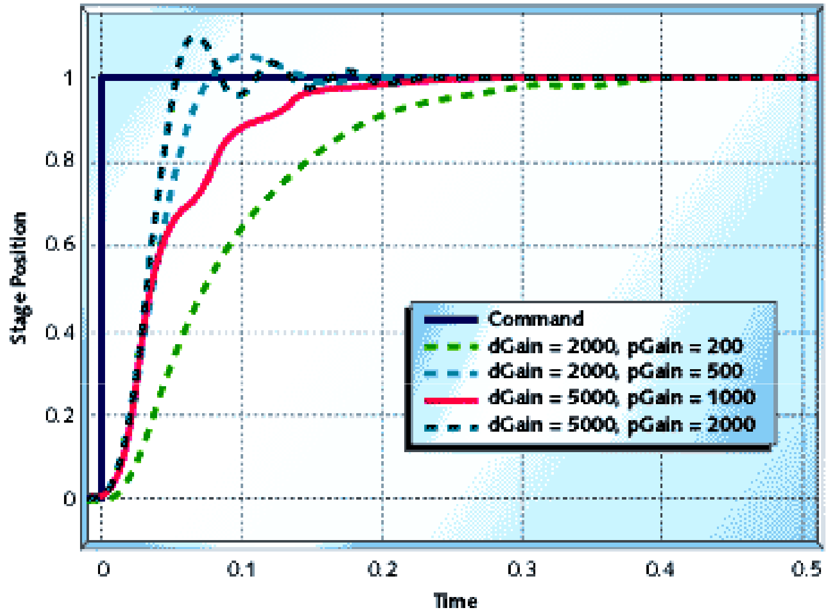
- Cand e stabil, PI ajunge intotdeauna la valoarea de referinta (e_{ss} = 0)

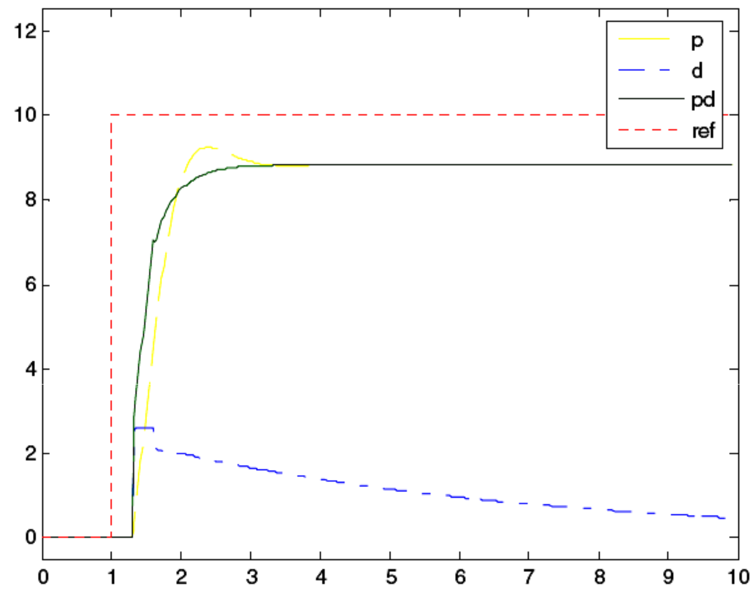
Control Diferential

- Controlul P trateaza comportamentul prezent al sistemului
- Controlul I trateaza comportamentul trecut al sistemului
- Daca nu stim cum o sa se comporte sistemul, nu avem cum sa-l stabilizam.

  Anticiparea comportamentului -> stabilitate marita
- Controlul D monitorizeaza viteza de schimbare a erorii sistemului

Control PD

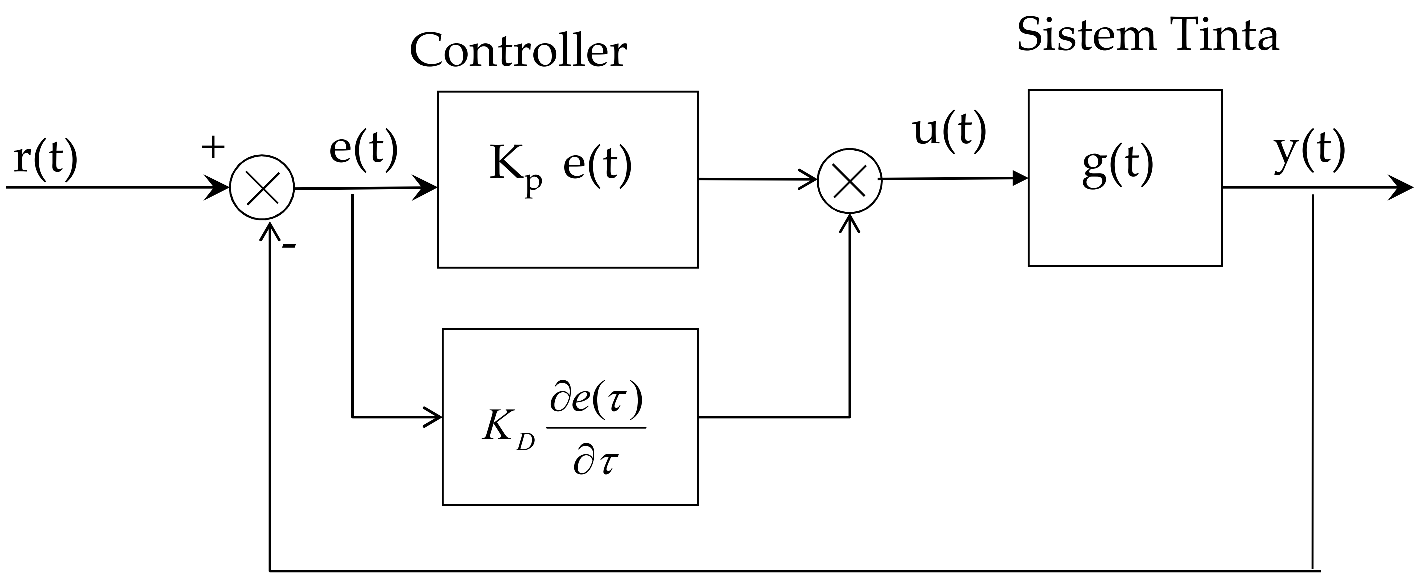




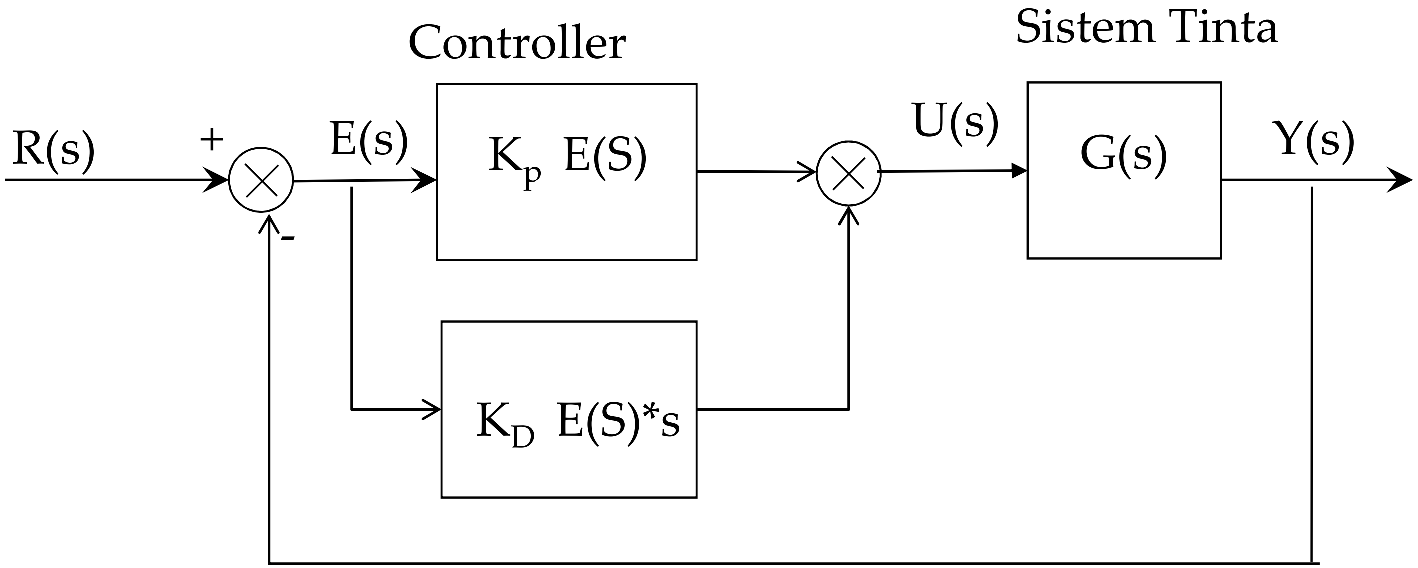
- Controlul diferential este cel mai puternic dar si cel mai problematic. Sistemul devine instabil la zgomot si la neregularitati de esantionare.

Control Proportional-Diferential

- Iesirea controllerului este direct proportionala cu rata de crestere a erorii.



Functia de transfer PD



$$E(s) = R(s) - Y(s) \quad U(s) = K_P \cdot E(s) + K_D \cdot sE(s) \quad Y(s) = G(s)U(s)$$

$$H(s) = \frac{(K_P + sK_D) \cdot G(s)}{1 + \left(K_P + sK_D\right) \cdot G(s)}$$

Acuratete

Ecuatia caracteristica: $1+\left(K_P + sK_D\right)\cdot G(s) = 0$

$$e_{ss} = \lim_{k->\infty} e(k) = \lim_{s->0} \frac{1}{1+\left(K_P + sK_D\right)G(s)}$$

- Pentru e_{ss}, PD se aseamana cu controlul P. Sitemul poate avea probleme in atingerea valorii de referinta.

Implementare Control PD

```
double dTerm;

dTerm = pid->dGain * (position - pid->dState);

pid->dState = position;
```

Concluzii PD

- Controlul PD are un timp de raspuns foarte mic
- Anticipeaza comportamentul viitor al sistemului folosindu-se de variatia erorii masurate
- Este foarte util intr-un sistem de control fin al miscarii/pozitiei datorita vitezei crescute de raspuns
- Sensibilitate crescuta la zgomote si perturbatii datorata factorului de amplificare mare.
- Controlul PD pot fi folosit pentru miscsorarea depasirii superioare (overshoot) in locul sistemelor cu control P.