

Adaptivno i robusno upravljanje

[*http://www.fer.hr/predmet/aru_a*](http://www.fer.hr/predmet/aru_a)

Prof. dr. sc. Željko Ban

e-mail: [*zeljko.ban@fer.hr*](mailto:zeljko.ban@fer.hr)



Izvođači nastave

☐ Nositelji predmeta

- prof. dr. sc. Zoran Vukić
- prof. dr. sc. Željko Ban
 - C-09-08
 - e-mail: zeljko.ban@fer.hr
 - konzultacije: *iza predavanja*

☐ Stranica predmeta

- http://www.fer.hr/predmet/aru_a



Osnovni podaci o predmetu

- ☐ ECTS bodovi: 4
- ☐ Oblici izvođenja nastave
 - Predavanja:
 - ☐ 2 školska sata tjedno tijekom 13 tjedana
 - Domaće zadaće (*seminarski zadaci*)
 - ☐ 3 domaće zadaće
 - (u svakom nastavnom ciklusu po jedan)



Provjera znanja

kontinuirano praćenje nastave



Aktivnost	Najveći broj bodova
Domaće zadaće (DZ)	30 bodova
Međuispit (MI)	25 bodova
Završni ispit – pismeni (ZIP)	25 bodova
Završni ispit – usmeni (ZIU)	20 bodova

☐ Uvjeti izlaska na završni ispit

- Odrađene sve DZ
 - ☐ skupljeno najmanje 15 bodova
- Na MI skupljeno najmanje 50% bodova

☐ Uvjeti za prolaz na ispitu

- Ukupno skupljeno najmanje 50 bodova
- Na MI ostvariti 50% bodova
- Na ZIP ostvariti 50% bodova
- Pozitivno ocijenjen završni usmeni ispit

☐ Ocjenjivanje – fiksni pragovi

- Dovoljan (2) 50
- Dobar (3) 62,5
- Vrlo dobar (4) 75
- Izvrstan (5) 87,5



Provjera znanja

ispitni rok



Aktivnost	Najveći broj bodova
Domaće zadaće (DZi)	10%
Pismeni ispit	40%
Usmeni ispit	50%

DZi = DZ/3 – (DZ bodovi ostvareni tijekom semestra od domaćih zadaća)

- ☐ Uvjeti izlaska na završni ispit
 - Odrađene sve DZ i skupljeno 50% bodova
- ☐ Uvjeti za prolaz na ispitu
 - Skupljeno barem 50% bodova iz DZ
 - Na pismenom ispitu ostvareno 50% bodova
 - Pozitivno ocijenjen usmeni ispit

☐ Ocjenjivanje – fiksni pragovi

- Dovoljan (2) 50
- Dobar (3) 62,5
- Vrlo dobar (4) 75
- Izvrstan (5) 87,5



Provođenje provjere znanja

☐ Domaće zadaće

■ Zadaju se

- u terminima predavanja (materijali za DZ bit će prisutni na web stranici predmeta)

■ Predaju se

- do termina definiranog kod zadavanja zadatka
- format DZ bit će definiran uputama
- Blic provjera znanja iz područja domaće zadaće

☐ Međuispiti i završni ispiti

■ Međuispit se organizira kao pismeni ispit

- Za studente koji iz medicinski opravdanih razloga nisu mogli pristupiti međuispitu (odlukom nositelja predmeta) može se organizirati dodatni ispit koji će biti u usmenom obliku

■ Završni ispit organizira se kao pismeni i usmeni

- ☐ Za studente koji iz medicinski opravdanih razloga nisu mogli pristupiti završnom ispitu (odlukom nositelja predmeta) može se organizirati dodatni ispit
- ☐ Molba za nadoknadu predaje se tajnici zajedno s ispričnicom liječnika



Svrha predmeta

- ☐ Definiranje adaptivnog upravljanja
- ☐ Definiranje potrebe za adaptivnim ili robusnim upravljanjem
- ☐ Određivanje sustava pogodnih za adaptivno i robusno upravljanje
- ☐ Prikaz metoda adaptivnog i robusnog upravljanja



Cilj predmeta

- ☐ Pregled metoda adaptivnog upravljanja
 - Upravljanje s promjenjivim pojačanjem
 - Adaptivno upravljanje s referentnim modelom
 - ☐ Signalna adaptacija
 - ☐ Parametarska adaptacija
 - Adaptivno upravljanje zasnovano na kliznim režimima
 - Adaptivno upravljanje zasnovano na samopodesivim regulatorima
- ☐ Određivanje strukture i parametara adaptivnog upravljanja
 - Određivanje referentnog modela
 - Identifikacija sustava
- ☐ Robusno upravljanje
 - Pregled sustava pogodnih za robusno upravljanje
 - Izvedba robusnog upravljanja



Potrebna znanja

☐ Automatika

- Automatsko upravljanje
- Signali i sustavi
- Modeliranje i simuliranje sustava

☐ Matematika

- linearna algebra
- numerička matematika
- vjerojatnost i statistika

☐ Računalna tehnologija

- Matlab



Sadržaj predmeta

Tj.	Predavanja		Seminar	
	Datum	Cjelina	Datum	Domaća zadaća
1.	08.03.2018 11h-13h A-202	Uvodna razmatranja o predmetu: pregled nastavnih cjelina, organizacija provedbe nastave i ispita		
2.	15.03.2018 11h-13h A-202	Pregled metoda adaptivnog upravljanja Gain scheduling		
3.	22.03.2018 11h-13h A-202	Adaptivno upravljanje s referentnim modelom - parametarskom adaptacijom - signalnom adaptacijom		DZ1
4.	29.03.2018 11h-13h A-202	Klizni režimi		
5.	05.04.2018 11-13h A-202	Metode sa samopodesivim regulatorom - identifikacija modela		
6.	12.04.2018 11h-13h A-202	Identifikacija parametara (dinamika, perzistencija, izvod min square, bias)		
7.	19.04.2018 11h-13h A-202	Upravljanje po minimumu varijance		
08. 09.		Međuispit		
10.	09.05.2018 11h-13h A-201	LQG		DZ2
11.	16.05.2018 11h-13h A-201	Upravljanje na bazi postavljanja polova Kad upotrijebiti adaptivno, a kad robusno upravljanje		



Sadržaj predmeta

Tj.	Predavanja		Lab. vježbe	
	Datum	Cjelina	Datum	Domaća zadaća
14.	23.05.2018 12h-14h A-201	Robusno upravljanje		
15.	30.06.2018 11h-13h A-201	Strukturirane i nestrukturirane neizvjesnosti		
16.	06.06.2018 11h-13h A-201	Problem malog pojačanja		DZ3
17.	13.06.2018 11h-13h A-201	Caritnov teorem		
18. 19.		Završni ispit i Ponovljene provjere		



Literatura

- ❑ Vukić Z., Kuljača Lj.: *Automatsko upravljanje – Analiza linearnih sustava*, Kigen, Zagreb, 2005.
- ❑ Butler H.: *Model reference adaptive control - from theory to practice*, Prentice Hall, New York, 1992.
- ❑ Chalam V. V.: *Adaptive Control Systems - Techniques and Applications*, Marcel Dekker, Inc., New York and Basel, 1987.
- ❑ Levine W.S.: *The Control Handbook*, IEEE Press, CRC Press, 1996.
- ❑ Netushil A.: *Theory of automatic control (English translation)*, MIR Publishers, Moscow, 1978.
- ❑ Utkin V. I.: *Sliding Modes and their Application in Variable Structure Systems (English translation)*, MIR Moscow, 1978.
- ❑ Åström K., Wittenmark B.: *Adaptive Control*, Reading, MA: Addison Wesley, 1989.
- ❑ Ioannou P. A., Sun J.: *Robust Adaptive Control*, Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey, 1996.
- ❑ Narendra K. S., Annaswamy A. M.: *A new adaptive law for robust adaptation without persistent excitation*, IEEE Trans. Automat. Contr., Vol. AC-32, pp. 134-145, February 1987.
- ❑ Matlab, manual (i help u pdf. obliku)



Adaptivno upravljanje

(definicija)



- Sustav adaptivnog upravljanja
 - Regulacijski sustav koji se može prilagođavati promjenama unutar upravljanog sustava
 - Regulirani sustav koji se sastoji od
 - osnovne regulacijske petlje povratne veze
 - reguliranje procesa na temelju promjena procesnih signala
 - dodatne regulacijske petlje
 - kompenziranje promjene parametara reguliranog procesa
- Karakteristika adaptivnog upravljanja
 - Upravljanje u zatvorenoj petlji
 - Informacije o karakteristikama sustava se određuju za vrijeme rada sustava (*on-line*)
 - Osnovne funkcije u adaptivnom upravljanju
 - identifikacija nepoznatih parametara ili mjerenje i računanje kriterija kvalitete (*performance index*)
 - Odabir upravljačke strategije
 - Djelovanje na sustav modifikacijom
 - signala
 - parametra
 - strukture



Upotreba adaptivnog upravljanja

- ☐ Razlozi za upotrebu adaptivnog upravljanja
 - promjene u dinamici procesa
 - ☐ promjena reda sustava tijekom rada
 - ☐ promjene parametara procesa
 - ☐ djelomično nepoznata dinamika ili parametri procesa
 - ☐ promjena radne točke nelinearnog sustava
 - promjene karakteristika upravljačkog signala ili smetnji
 - ☐ pojava stohastičkih smetnji
 - povećanje efikasnosti sustava
- ☐ Rješenje
 - Adaptivno upravljanje
 - Robusno upravljanje



Upotreba adaptivnog i robusnog upravljanja



☐ Adaptivno upravljanje

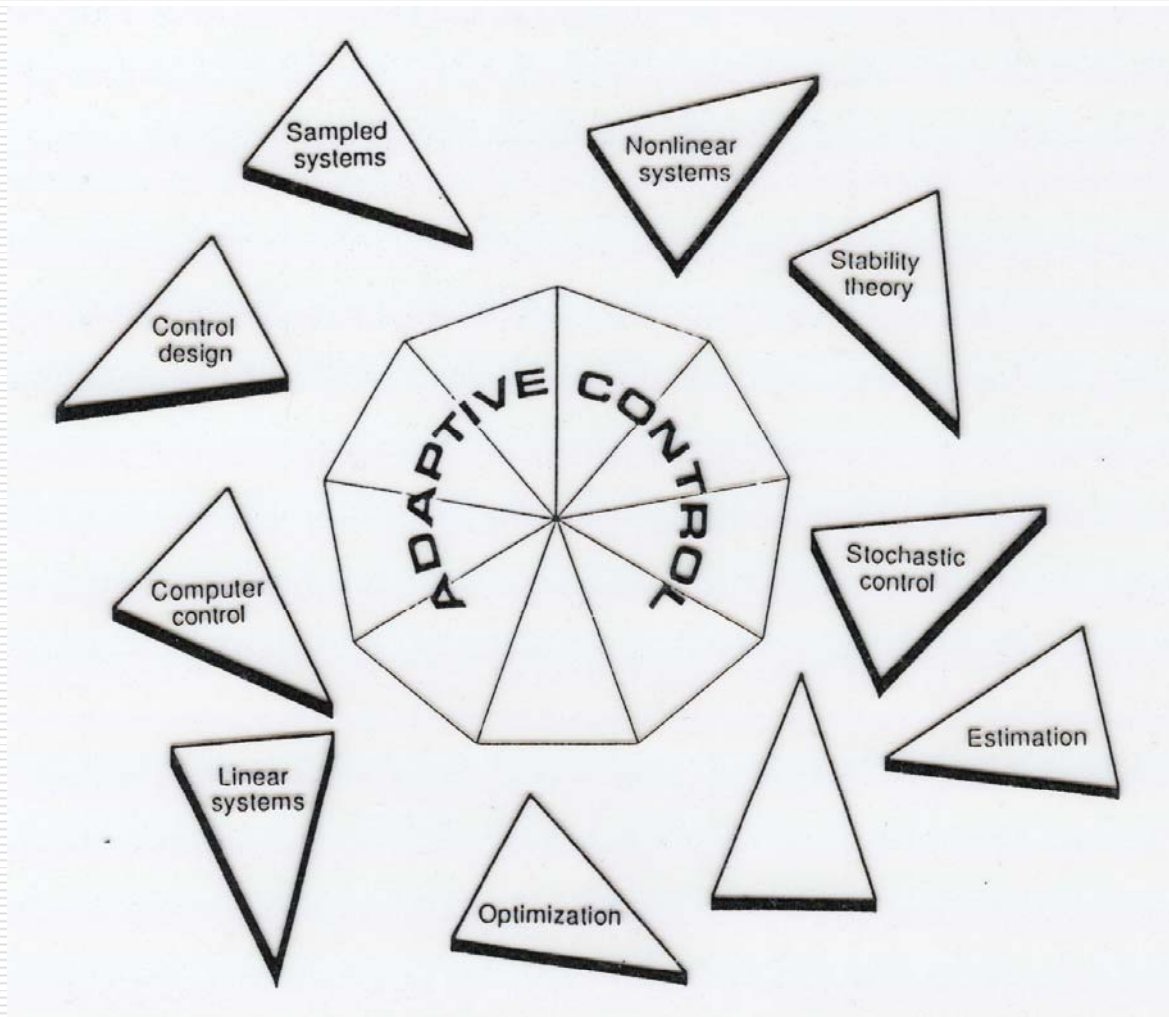
- upotreba kad su unaprijed nepoznate promjene u procesu
- on-line estimacija parametara regulatora i određivanje oblika regulatora

☐ Robusno upravljanje

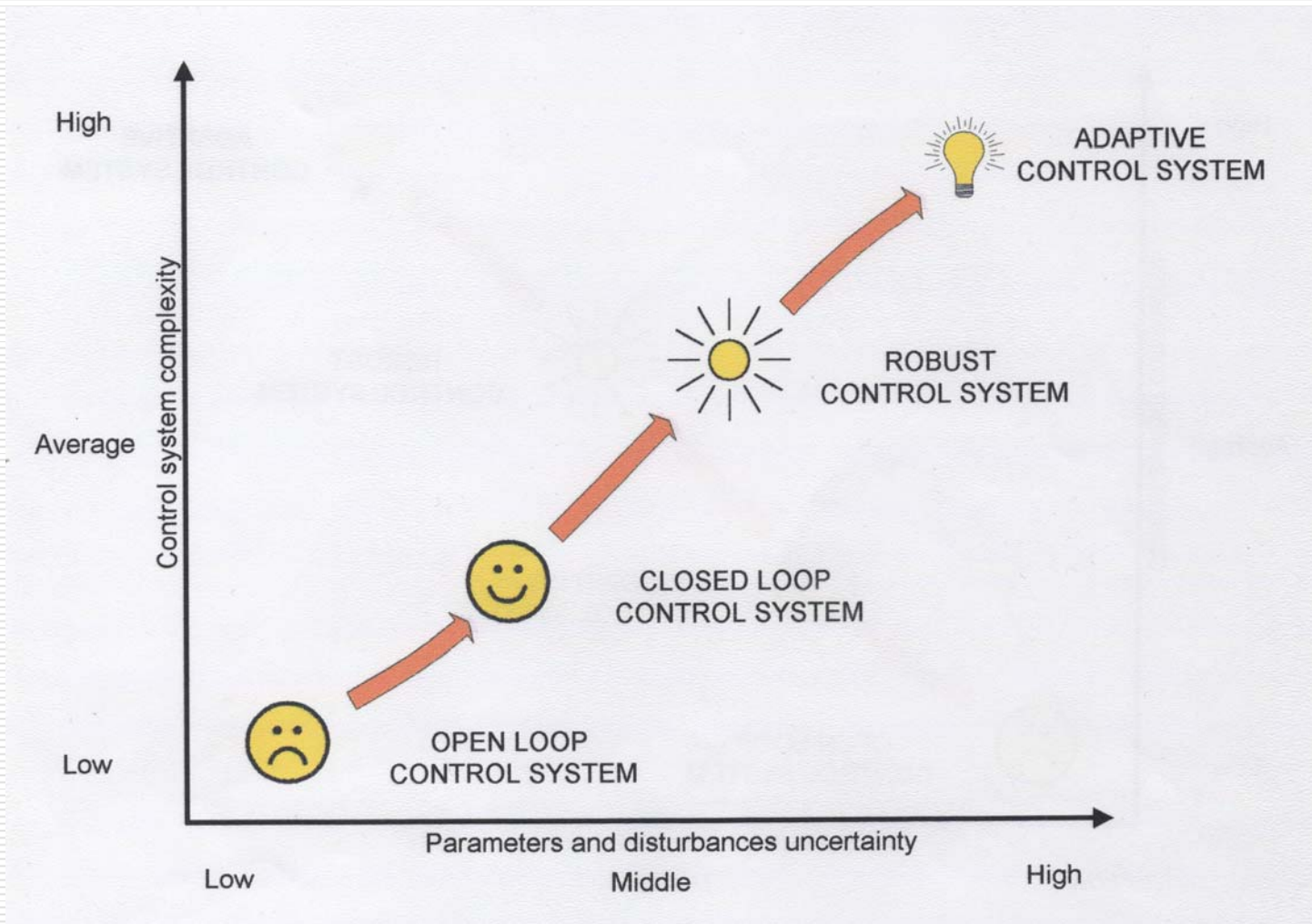
- poznata struktura procesa
- poznate granice promjene parametara

Adaptivno upravljanje

poveznica s drugim granama automatike



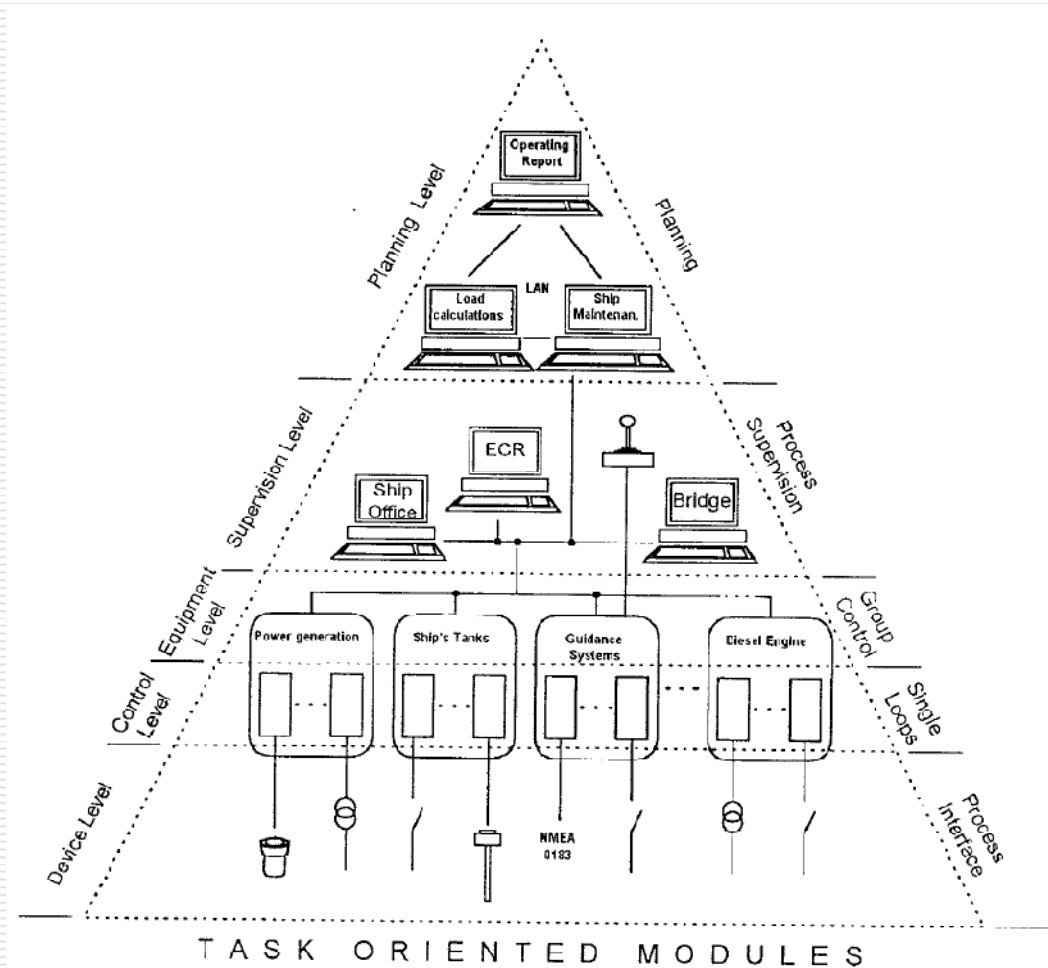
Složenost upravljanja



Podjela sustava



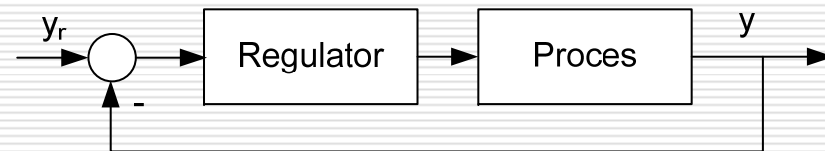
Hijerarhijsko distribuirano upravljanje



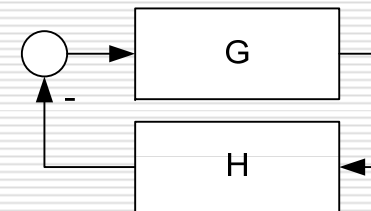
Problem osjetljivosti i stabilnosti

- Većina klasičnih regulatora
 - regulatori s negativnom povratnom vezom i fiksnim parametrima
 - Smanjenje osjetljivosti na promjene parametara povećanjem pojačanja petlje povratne veze

$$\text{Osjetljivost} = \frac{1}{1 + GH}$$



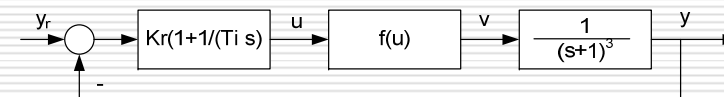
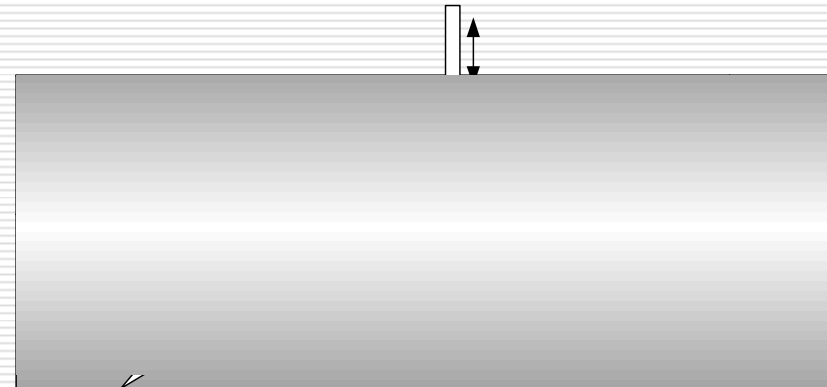
- Regulatori s visokim pojačanjem
 - velik iznos upravljačkog signala
 - smanjenje stabilnosti sustava
- Ograničena nesigurnost parametara procesa
 - Robusni regulatori (regulatori s povećanom kompleksnošću)
 - Potrebno je precizno poznavati
 - strukturu procesa
 - granice promjene parametara procesa



Sustavi nepogodni za klasične regulatore

Prim. 1. Nelinearni ventil

- ❑ Ventil s nelinearnom statičkom karakteristikom kao dio procesa
- ❑ Linearizacija sustava oko radne točke
 - pojačanje petlje povratne veze proporcionalno $f'(u)$
- ❑ Sustav radi dobro u jednoj radnoj točki

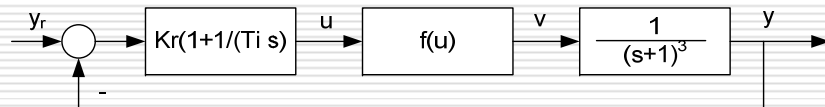


$$v = f(u) = u^4; \quad u \geq 0$$

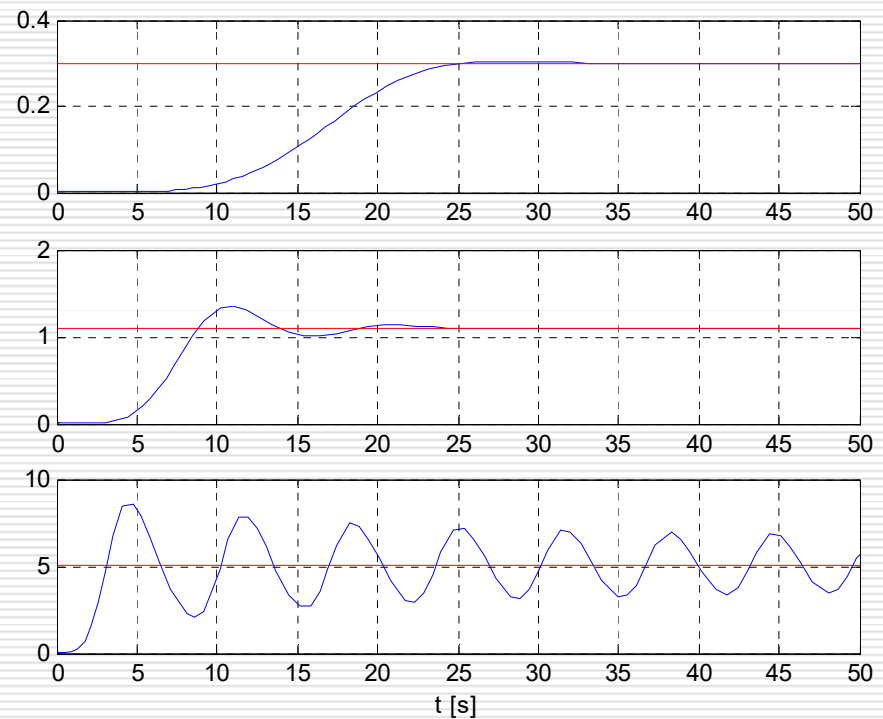
Sustavi nepogodni za klasične regulatore

Prim. 1. Nelinearni ventil

- Odzivi sustava u raznim radnim točkama
 - Različito pojačanje regulacijske petlje
 - Različita oscilatornost i brzina odziva
- Parametri PI regulatora
 - $K_r=0.15$
 - $T_i=1$



$$v = f(u) = u^4; \quad u \geq 0$$



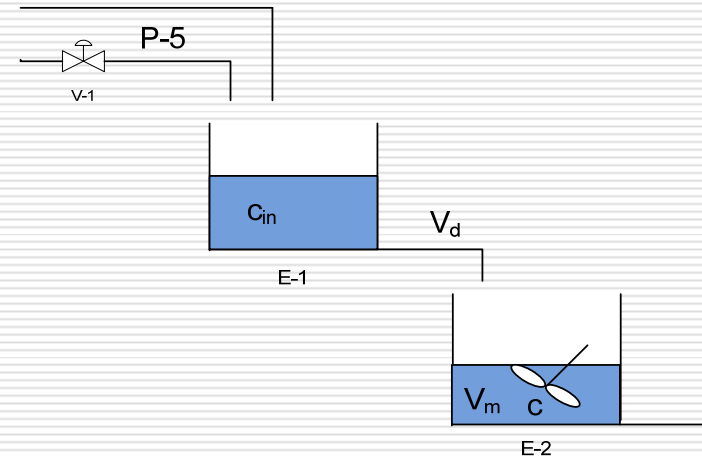
Sustavi nepogodni za klasične regulatore

Prim. 2. Upravljanje koncentracijom

□ Regulacija koncentracije fluida regulacijom protoka kroz cijev

- Prvi rezervoar nema miješanja
- Drugi rezervoar ima idelano miješanje
- varijable

- c_{in} – koncentracija u ulaznom rezervoaru
- V_d – volumen cijevi
- V_m - volumen rezervoara
- c – koncentracija u izlaznom rezervoaru
- q protok



Balans masa

$$V_m \frac{dc(t)}{dt} = q(t) [c_{in}(t - \tau) - c(t)]$$

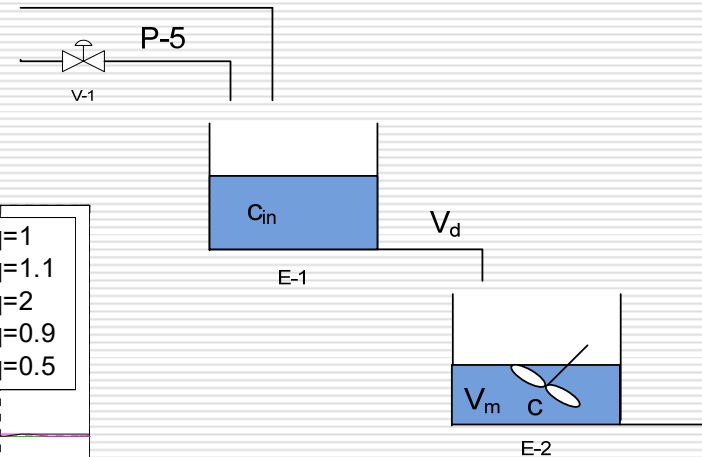
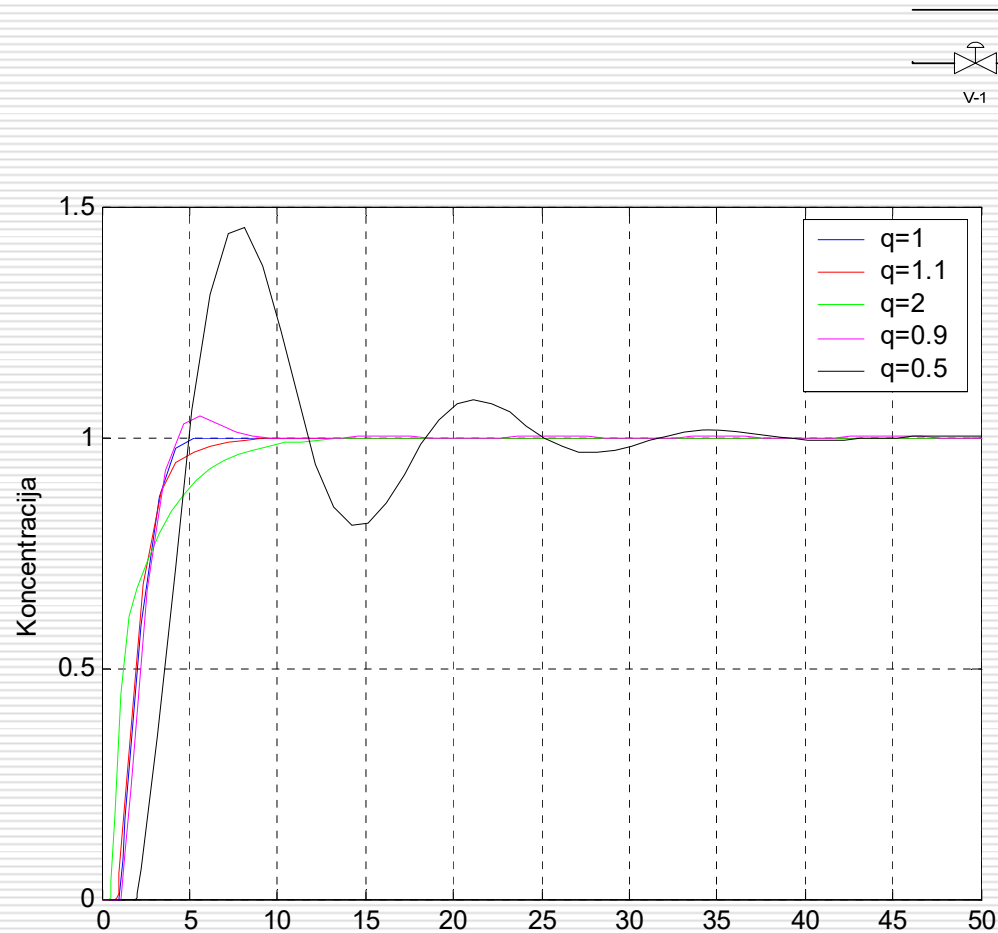
$$\tau = \frac{V_d}{q(t)}; \quad T = \frac{V_m}{q(t)}$$

Prijenosna funkcija uz konstantan protok

$$G_0(s) = \frac{e^{-\tau s}}{1 + Ts}$$

Sustavi nepogodni za klasične regulatore

Prim. 2. Upravljanje koncentracijom



- ☐ PI – regulator
- ☐ $K_r=0.5$
- ☐ $T_i=1.1$
- ☐ $V_d=V_m=1$

Sustavi nepogodni za klasične regulatore

Prim. 3. Sustav sušenja materijala

- Rotacijski sušač
 - Kaskadna regulacija
 - Petlja po temperaturi
 - Petlja po vlažnosti
 - Predupravljanje po vlažnosti
- Teško odrediti potpuni model procesa
- Problem upravljanja konvencionalnim regulatorima
- Dinamika se mijenja sa
 - brzinom materijala kroz sušač
 - vlažnošću ulaznog materijala
 - brzinom proizvodnje (promjena mrtvog vremena)
- Konvencionalni regulator s konstantnim pojačanjem
 - konzervativno podešenje prema najvećem mrtvom vremenu
- Kombinacija unaprijednog upravljanja (feedforward) i upravljanja u povratnoj vezi uz primjenu adaptivnog upravljanja

