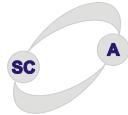
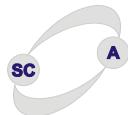


# PID regulatori



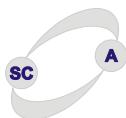
## UVOD

- **PID regulatori** su našli široku primenu u procesnoj industriji zahvaljujući **jednostavnoj konstrukciji i implementaciji u praksi**. Zato u praktičnoj upotrebi imaju prednost u odnosu na savremena rešenja regulatora, sem u slučajevima kada rezultati pokažu da nisu u stanju da zadovolje postavljene zahteve.
- Teorija dobro poznatog PID zakona upravljanja biće izložena na opštem nivou pokrivajući kako zahteve regulacije u procesnoj industriji tako i regulaciju elektromotornih pogona.



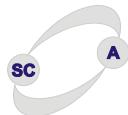
## Osnovni zahtevi regulacije

- Bez obzira na tip regulatora i način njegove realizacije, **osnovni zahtevi** koji se postavljaju pred svaki regulisani sistem su:
  - ✖ **Stabilnost**
  - ✖ **Tačnost**
  - ✖ **Brzina odziva**
- **Tri navedena zahteva su i osnovni problemi regulacije, pa teorija automatskog upravljanja prvenstveno treba da odgovori na ta pitanja**



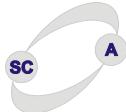
## Zakon upravljanja

- **Zakon upravljanja** predstavlja matematičku zavisnost na osnovu koje **upravljački uređaj** obrađuje relevantne signale (informacije) i generiše odgovarajuća **upravljačka dejstva**
- Najčešća forma ovakvih upravljačkih uređaja se naziva **regulator**
- Kod **PID zakona upravljanja** njihovo dejstvo linearno zavisi od **greške, njenog integrala i prvog izvoda greške po vremenu**



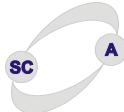
## Zakon upravljanja

- Na bazi ove činjenice sledi podela regulatora na:
  - \* proporcionalni (**P**) regulator
  - \* integralni (**I**) regulator
  - \* izvodni (diferencijalni) (**D**) regulator
  - \* proporcionalni–integralni–diferencijalni regulator (**PID**)

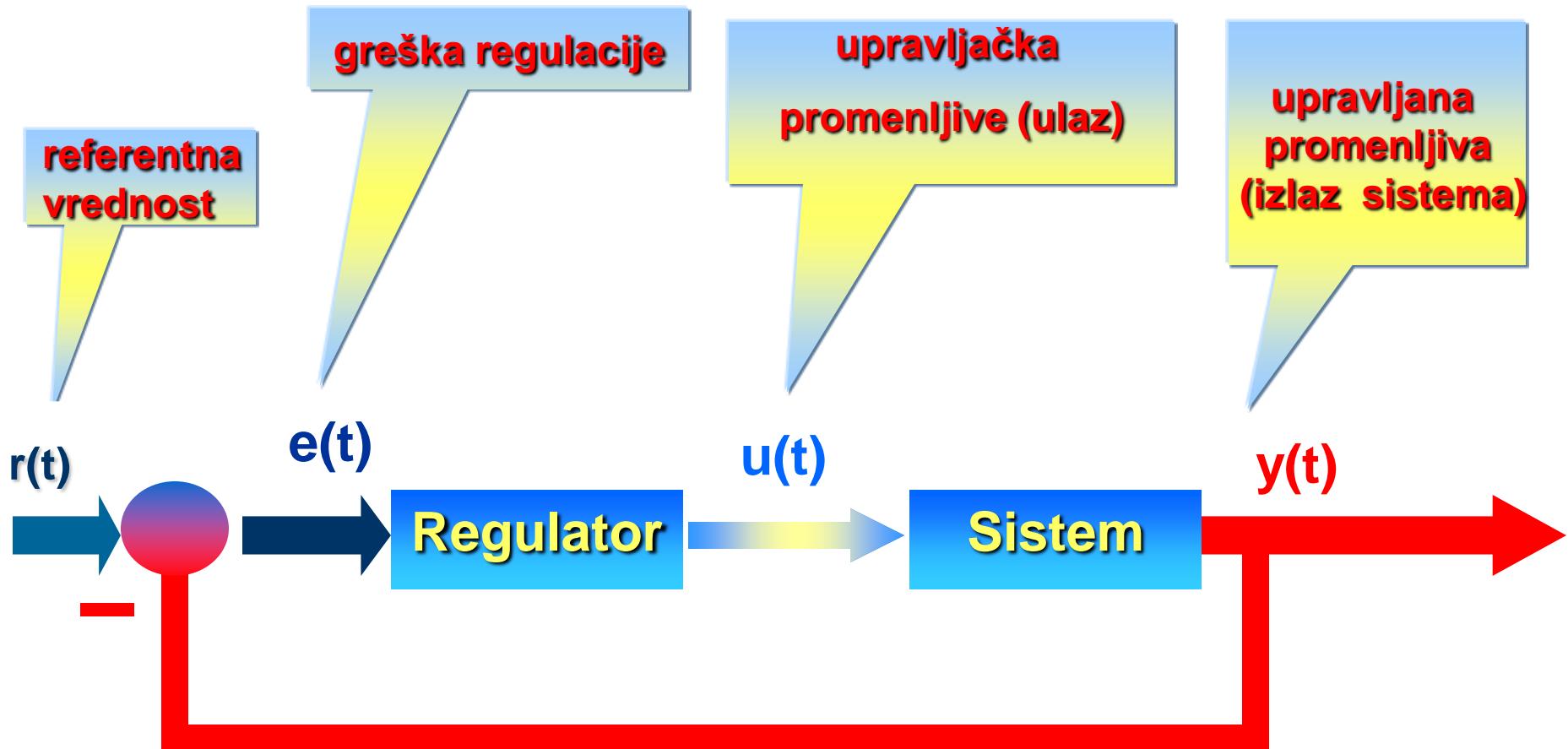


- Da bi se moglo uspešno upravljati nekim sistemom potrebno je **poznavati prirodu procesa** koji se u njemu odvijaju i imati na raspolaganju odgovarajući **upravljački algoritam** kojim je moguće postići **zahtevane ciljeve, tj. performanse sistema**
- Pored ovoga, neke upravljačke strategije zahtevaju i treći skup informacija koji se odnosi na poznavanje tekućeg stanja upravljanog procesa
- Ako se ovo ima u vidu, onda se **upravljački sistemi** mogu podeliti na:

- \* **sisteme bez povratne sprege**
- \* **sisteme sa povratnom spregom**

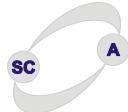


# Upravljanje sistemima sa zatvorenom povratnom spregom



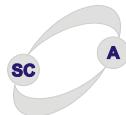
## Upravljanje u sistemima sa *otvorenom povratnom spregom*

- **Upravljanje sistemima sa *otvorenom povratnom spregom*** zasniva se na zadatom algoritmu baziranom na **poznavanju funkcionisanja upravljanog sistema** i na njega **ne utiču** promene izlaznih promenljivih ili smetnje
- algoritam takvog funkcionalnog upravljanja se obično definiše pri projektovanju sistema, a zatim se realizuje odgovarajući uređaj, programator
- **osnovni nedostatak** se pokazuje u slučajevima **kada sistem promeni režim i uslove rada**, tada može doći do nedozvoljenog odstupanja između željenog i stvarnog ponašanja sistema

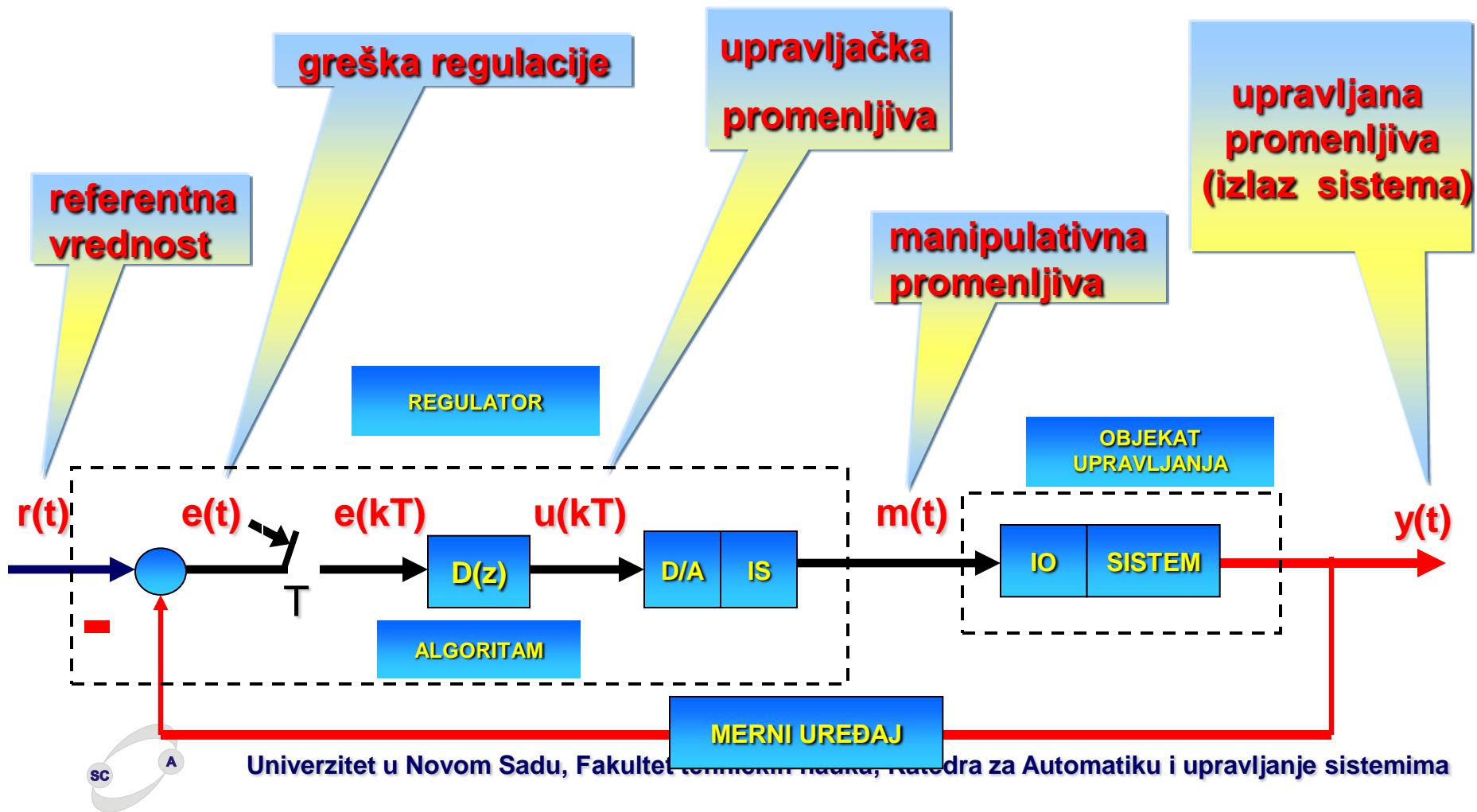


## Upravljanje u sistemima sa zatvorenom povratnom spregom

- **Zadatak povratne sprege** je da vraća na ulaz u sistem izmerene izlazne veličine sistema upoređujući ih sa referentnim, željenim vrednostima izlaza
- na taj način se formira **greška** ili **odstupanje stvarnog od željenog ponašanja** i ona prestavlja veličinu koju upravljački sistem treba da minimizira



# Digitalni sistemi automatskog upravljanja

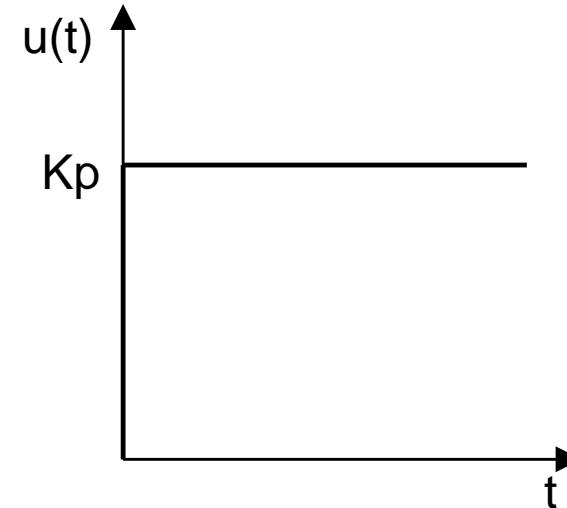
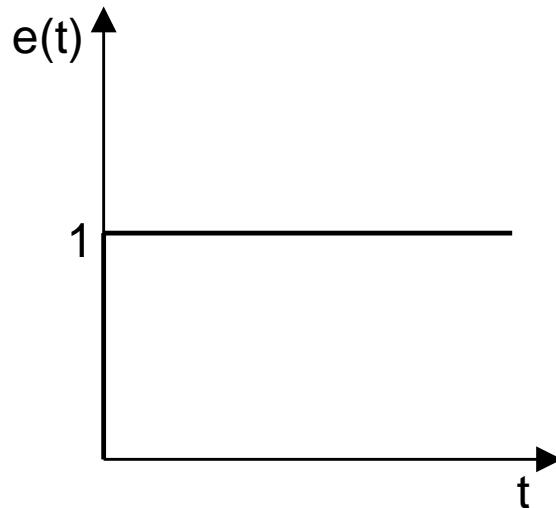


# Regulatori

## Proporcionalni (P) regulator

$$u(t) = K_p e(t)$$

$$G_P(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_P$$

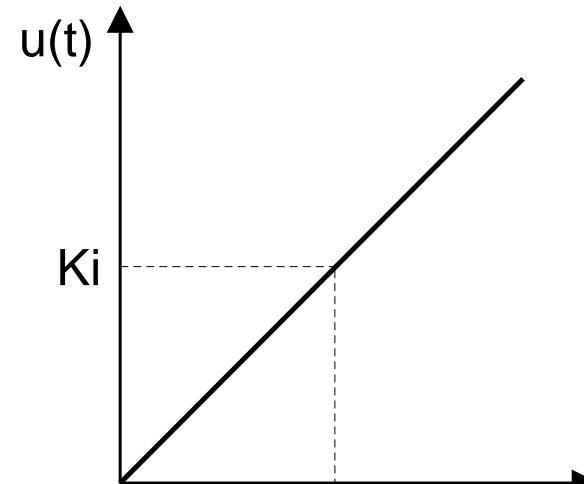
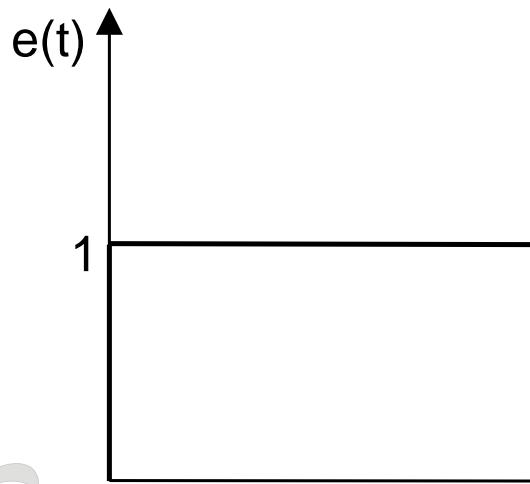


## Integralni (I) regulator

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t)$$

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

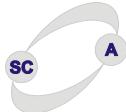
$$G_i(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} = \frac{1}{T_i s}$$



## Diferencijalni (D) regulator

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt}$$

$$G_D(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_d s$$

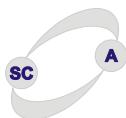
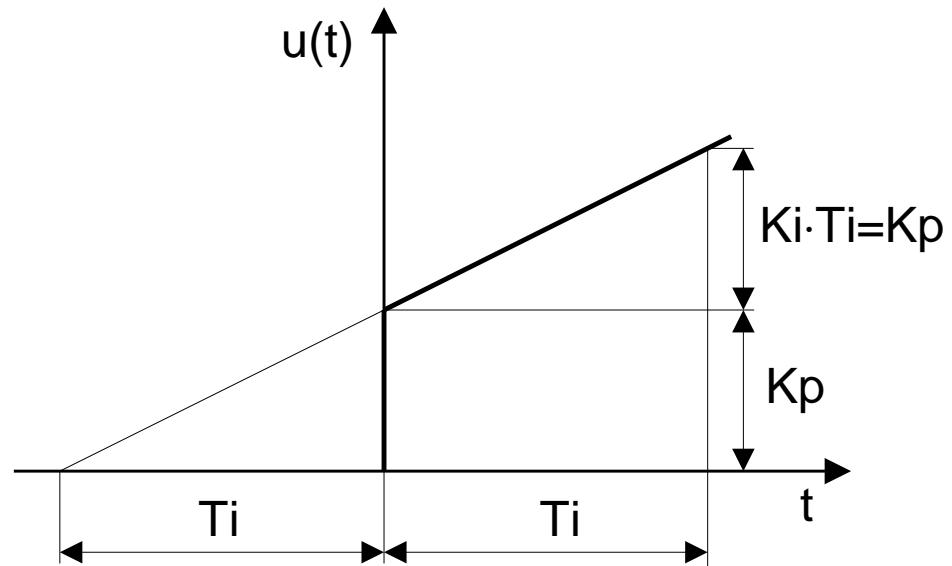
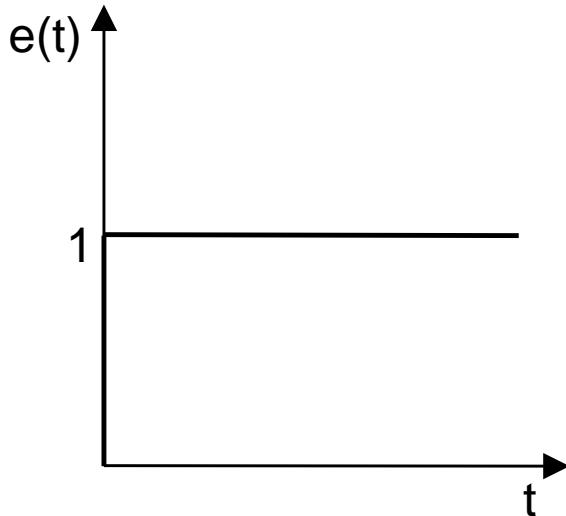


# Proporcionalno-integralni (PI) regulator

$$\frac{du(t)}{dt} = K_I e(t) + K_P \frac{de(t)}{dt}$$

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt$$

$$G_{PI}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_P \left( \frac{1}{T_I s} + 1 \right)$$

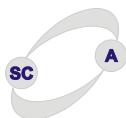
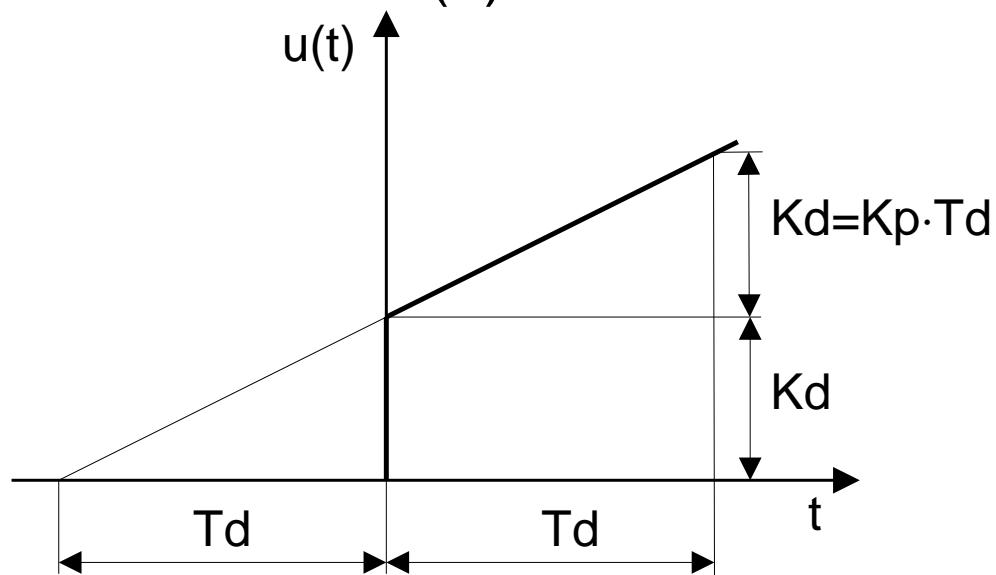
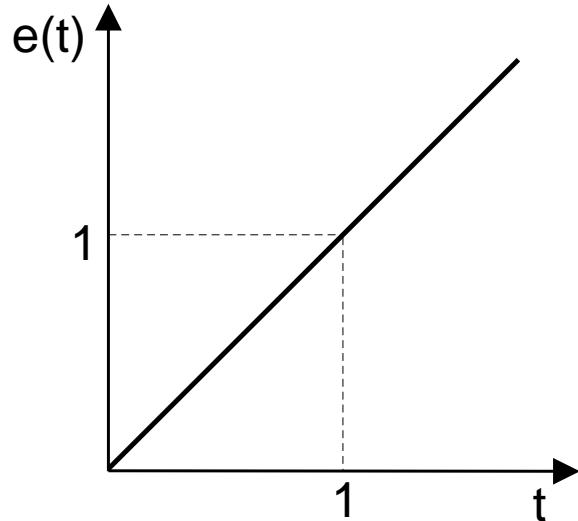


# Proporcionalno-diferencijalni (PD) regulator

$$u(t) = K_P e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

$$u(t) = K_P \left( e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

$$G_{PD} = \frac{U(s)}{E(s)} = K_P (1 + T_d s)$$



$$e(t) = E \cdot t$$

Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Katedra za Automatiku i upravljanje sistemima

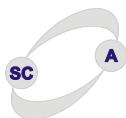
$$u(t) = K_p E(t + T_d)$$

## PID regulatori – analogni

- Kombinovanjem sva tri osnovna zakona upravljanja dobija se **idealni PID regulator** čije se ponašanje može opisati sledećom jednačinom:

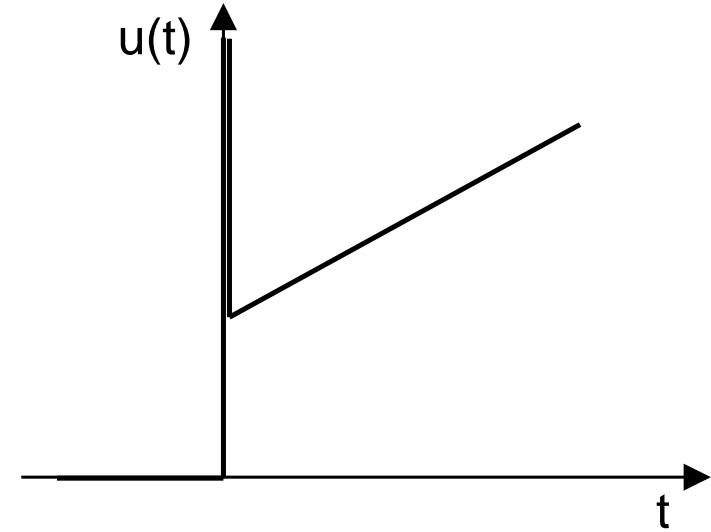
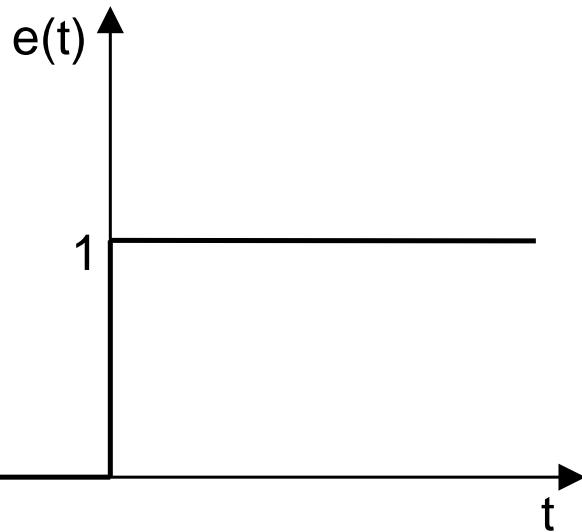
$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de}{dt} = K_P \left[ e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de}{dt} \right]$$

- \*  **$K_P$  konstanta proporcionalnog dejstva**
- \*  **$K_I$  konstanta integralnog dejstva**
- \*  **$K_D$  konstanta diferencijalnog dejstva**
- \*  **$T_I$  vremenska konstanta integralnog dejstva**
- \*  **$T_D$  vremenska konstanta diferencijalnog dejstva**



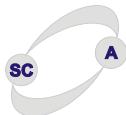
## PID regulatori – analogni

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de}{dt} = K_P \left[ e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de}{dt} \right]$$



## PID regulatori – digitalni

- **Računarom upravljeni sistemi** prirodno nameću zakon upravljanja prilagođen izvršavanju na računaru - u digitalnoj formi
- Diskretizacijom analognog ekvivalenta se dobija **diskretni PID upravljački algoritam**, čiji se parametri mogu podešavati procedurama poznatim iz prakse kontinualne regulacije
- Pri maloj **periodi odabiranja T**, **diskretni ekvivalent upravljačkog algoritma** (*ekvivalentni diskretni zakon upravljanja*) se može dobiti **aproksimacijom: izvoda diferencom, a integrala sumom**



## PID regulatori – digitalni

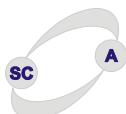
- **pozicioni** digitalni PID zakon upravljanja

$$u(k) = K \left\{ e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^k e(i) + \frac{T_d}{T} [e(k) - e(k-1)] \right\}$$

- **inkrementalni** digitalni PID zakon upravljanja

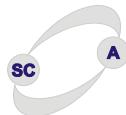
$$\Delta u(k) = K \left\{ e(k) - e(k-1) + \frac{T}{T_i} e(k) + \frac{T_d}{T} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \right\}$$

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1)$$

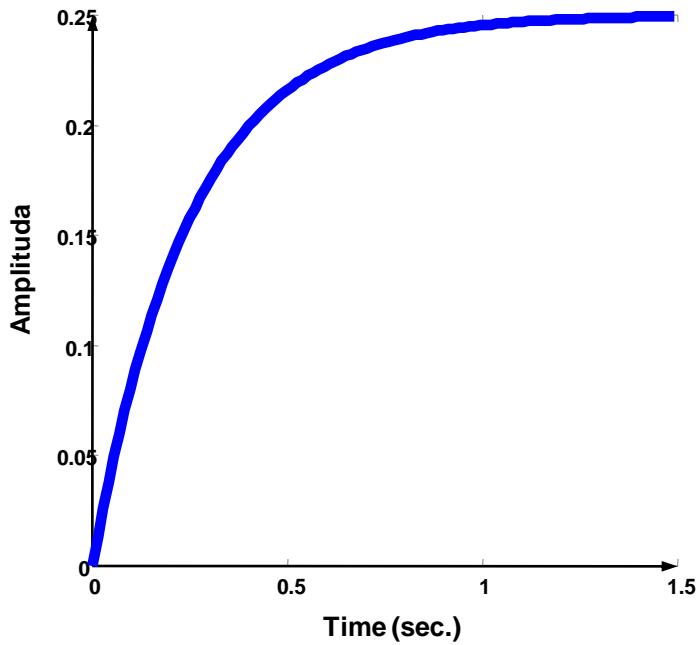


## PID regulatori

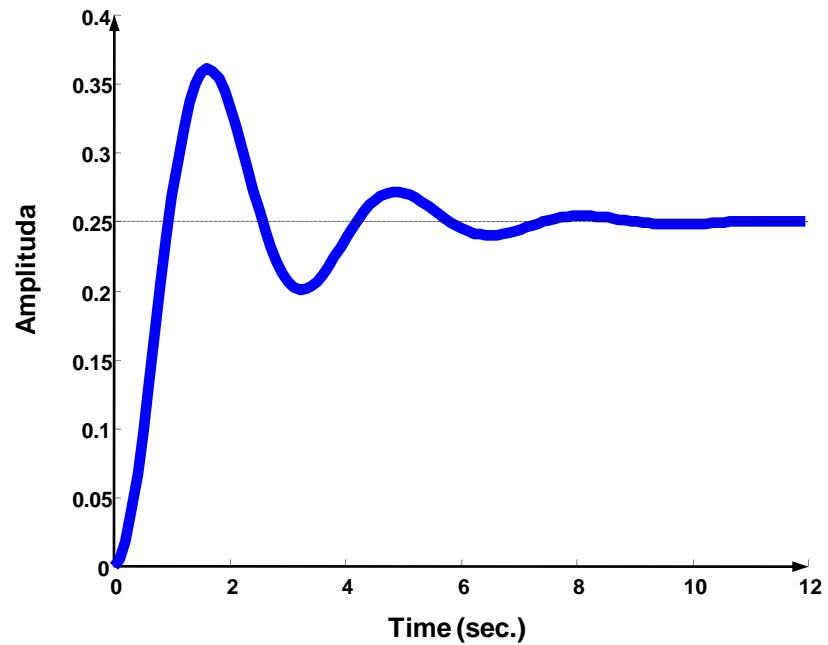
- Prisustvo **proporcionalnog, integralnog i diferencijalnog zakona** u ovom regulatoru omogućava dobijanje **željenih performansi sistema** kao što su:
  - ✖ stabilnost
  - ✖ brzina reagovanja
  - ✖ tačnost rada
  - ✖ vreme trajanja prelaznog procesa



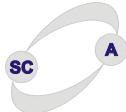
## Ocena kvaliteta ponašanja sistema - vremensko područje



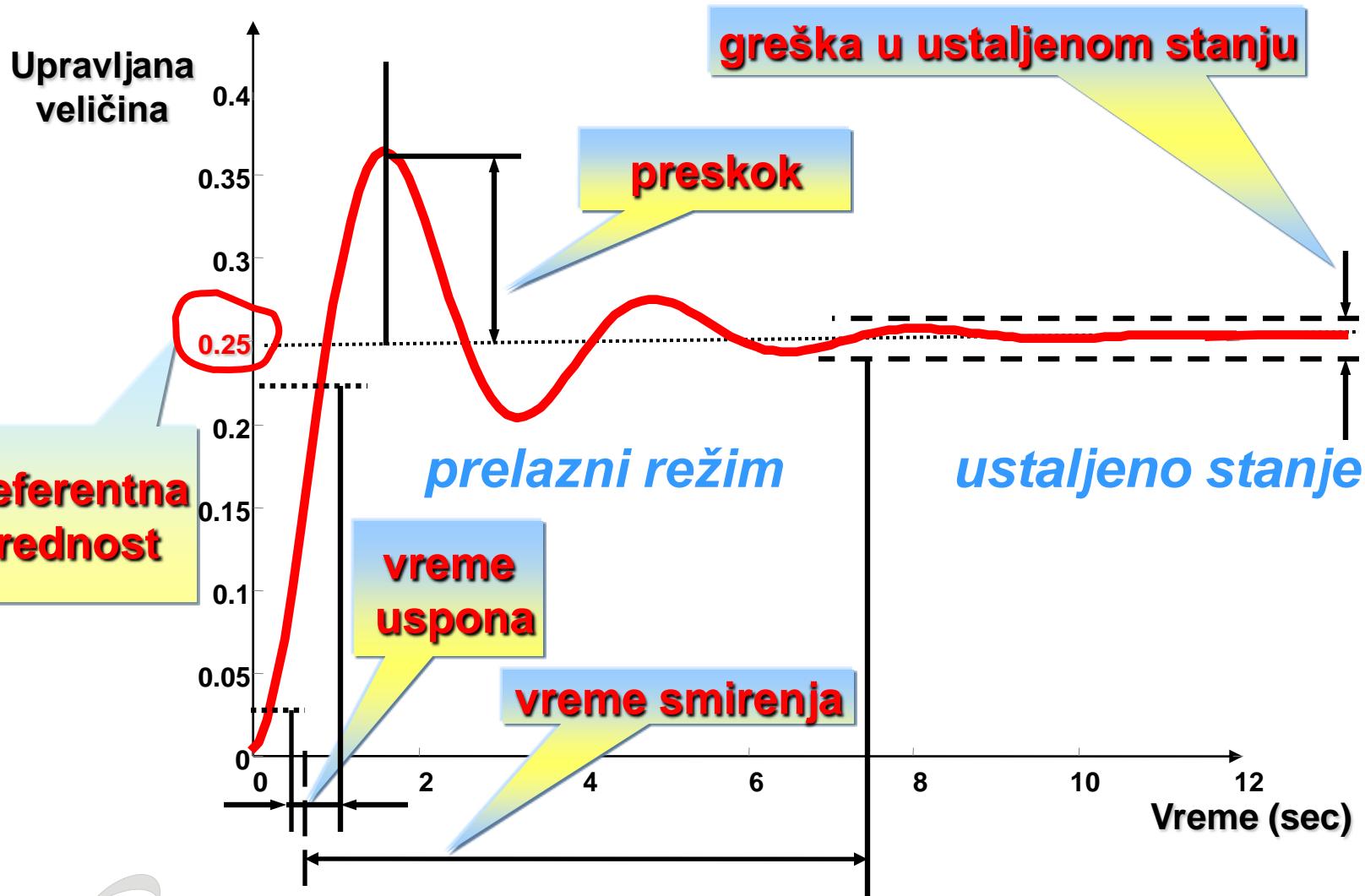
Aperiodični odziv sistema



Periodični odziv sistema



## Ocena kvaliteta ponašanja sistema - vremensko područje



## Metode podešavanja regulatora

- PID regulator ima **četiri podesiva parametra** :

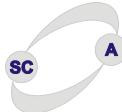
\* pojačanje  **$K_p$**  ili proporcionalni band  **$P = 100/ K_p [\%]$**

**P** je vrednost koja pokazuje koliko procenata od punog opsega merenja izlazne veličine treba da se promeni greška da bi upravljanje bilo maksimalno

\* vremensku konstantu integralnog dejstva  **$T_i$**

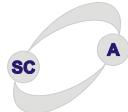
\* vremensku konstantu diferencijalnog dejstva  **$T_d$**

\* vreme odabiranja **T**



## Metode podešavanja regulatora

- Da bi podesili parametre regulatora treba prvo da izvršimo eksperimente (**razlikujemo eksperiment u otvorenoj povratnoj sprezi i eksperiment u zatvorenoj povratnoj sprezi**) , a zatim se podese parametri određenim metodama.
- Mada su na današnjem nivou razvoja nauke i tehnike u upotrebi i puno softiciranije metode, često se u parksi koriste sledeće metode: **Ziegler – Nichols metoda, Dahlin-ova metoda,....**i zbog njihove velike rasprostranjenosti i jednostavnosti ovde ih eksplisitno navodimo.

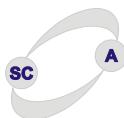


## Eksperiment u otvorenoj povratnoj sprezi

- Široka klasa industrijskih procesa (temperatura, pritisak, protok, nivo, brzina obrtanja vratila motora i sl.) ima slično dinamičko ponašanje - odskočni odzivi ovih procesa najčešće imaju aperiodičan karakter
- Dinamičke karakteristike objekta se relativno dobro mogu aproksimirati funkcijom prenosa:

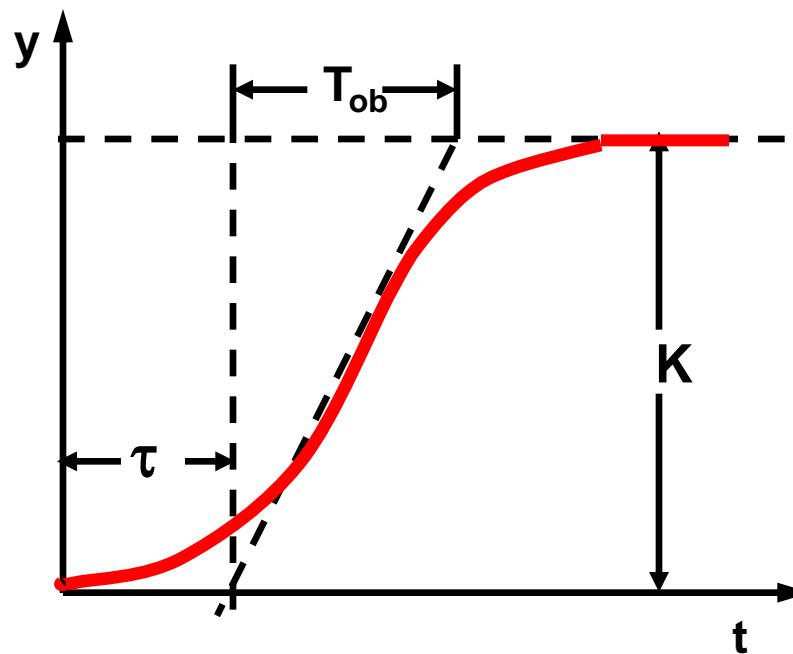
$$G_{ob}(s) = \frac{K}{T_{ob} s + 1} e^{-st}$$

- ✖ statickog pojačanja objekta  $K$
- ✖ vremenske konstante objekta  $T_{ob}$
- ✖ transportnog kašnjenja objekta  $\tau$  (mrtvo vreme)

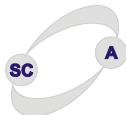


## Eksperiment u otvorenoj povratnoj sprezi

- U eksperimentu sa otvorenom spregom se snima odskočni odziv sistema

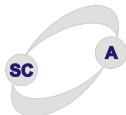


- nedostatak eksperimenta je što je teško povući tačno najstrmiju tangentu na odziv sistema



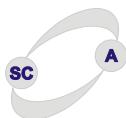
## Eksperiment u otvorenoj povratnoj sprezi

- približno optimalne vrednosti parametara se određuju na osnovu vrednosti:
  - \* statičkog pojačanja objekta (**K**, za jedinični odskočni odziv)
  - \* transportnog kašnjenja objekta  $\tau$  (mrtvo vreme)
  - \* vrednosti vremenske konstante objekta  $T_{ob}$   
*(Vremenska konstanta je obrnuto proporcionalna nagibu najstrmije tangente odskočnog odziva objekta )*

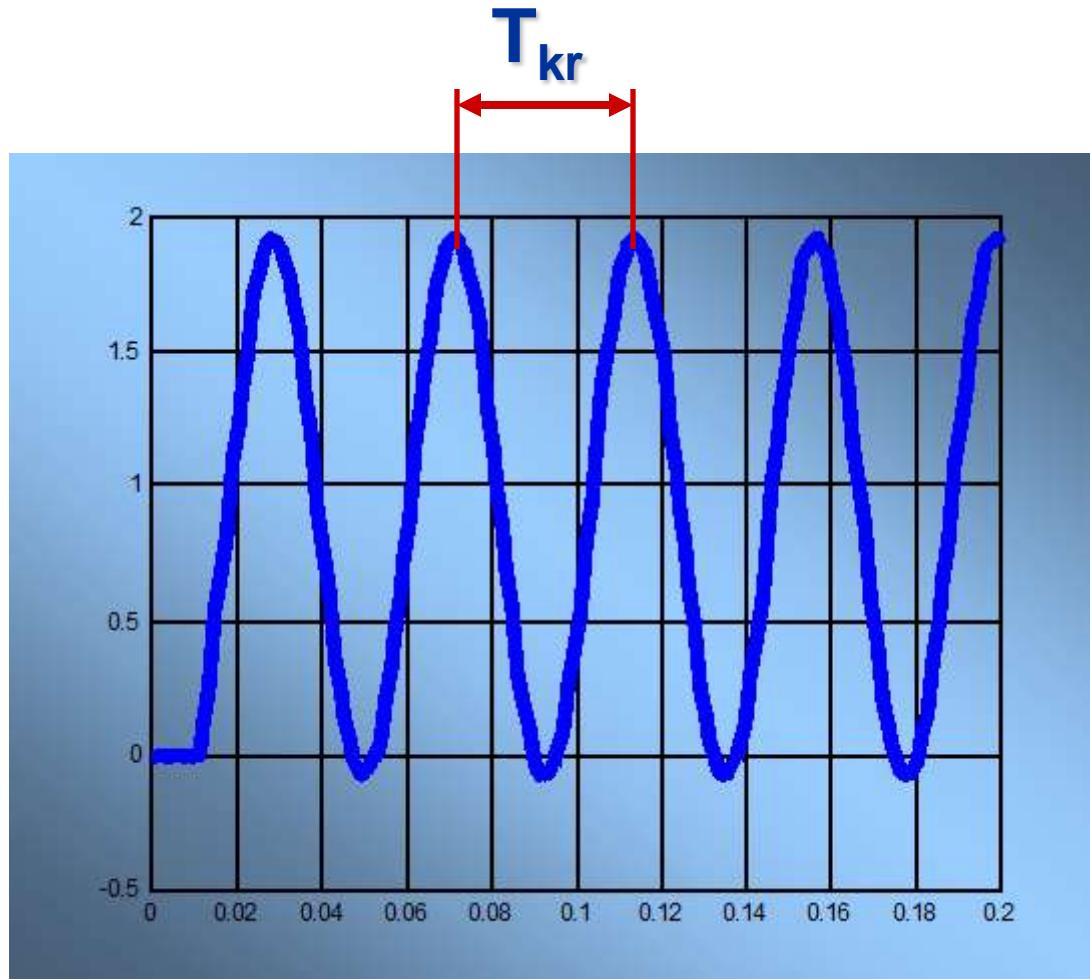


## **Eksperiment u zatvorenoj povratnoj sprezi**

- U slučaju kada se povratna sprega ne može ili ne sme prekinuti radimo **eksperiment sa zatvorenom povratnom spregom:**
  1. Isključimo I i D dejstvo postavljanjem Ti na maksimalnu vrednost i Td na nulu, a koeficijent proporcionalnog dejstva se postavi na neku malu vrednost pri kojoj je kontura regulacije stabilna.
  2. Tada se vrednost proporcionalnog dejstva povećava u malim koracima, sve dok se kontura ne dovede na **granicu stabilnosti**, tada se regulisana promenljiva posle poremećaja tipa početnih uslova ne vraća u prvobitno stacionarno stanje, već u stacionarnom stanju poprima periodične **oscilacije konstantne amplitude**.

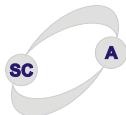


- Odziv sistema sa regulatorom na granici stabilnosti



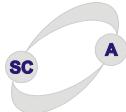
## **Eksperiment u zatvorenoj povratnoj sprezi**

- Na osnovu dostignute vrednosti **kritičnog pojačanja  $K_{kr}$**  i vrednosti **kritične periode upravljanje promenljive  $T_{kr}$**  se odrede približno optimalne **vrednosti parametara** u zavisnosti od željenog tipa regulatora (P,PI ili PID).
- Nedostatak eksperimenta sa zatvorenom povratnom spregom je da je praktično neupotrebljiv kod mnogih industrijskih procesa, jer **zahteva dovođenje sistema na granicu (ili blisko granici) stabilnosti.**



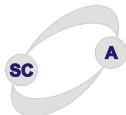
## Ziegler - Nicholsova procedura

- Rad Ziegler and Nichols-a (1942) još uvek je često korišten u industriji i kao osnova novih radova
- Procedura omogućava da se na osnovu merenih parametara u eksperimentu na sistemu sa otvorenom ili zatvorenom povratnom spregom odrede približno optimalne vrednosti parametara P, I i D dejstva
- Dobijamo oscilatoran odziv sistema sa zatvorenom povratnom spregom



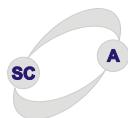
## Optimalna podešenost parametara regulatora po ZN metodi u otvorenoj povratnoj sprezi

Regulator	$K_P$	$1/T_I$	$T_D$
P	$T_{ob}/(\tau K)$	-	-
PI	$0,9_{ob}/(\tau K)$	$0,3/\tau$	-
PID	$1,2T_{ob}/(\tau K)$	$0,5/\tau$	$0,5/\tau$



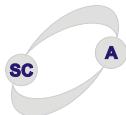
## Optimalna podešenost parametara regulatora po ZN metodi u zatvorenoj povratnoj sprezi

Regulator	$K_P$	$1/T_I$	$T_D$
P	$0,5 K_{pk}$	-	-
PI	$0,45 K_{pk}$	$1,2 / T_{kr}$	-
PID	$0,6 K_{pk}$	$2 / T_{kr}$	$0,125 T_{kr}$



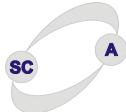
## Dahlin-ova metoda

- Primjenjuje se za podešavanje PID digitalnih regulatora kada su ispunjeni uslovi:
  - ✖ vremenske konstante objekta upravljanja znatno veće od transportnog kašnjenja
  - ✖ i kada regulisana promenljiva treba da ima aperiodičan odziv na odskočnu pobudu na ulazu sistema sa zatvorenom povratnom spregom



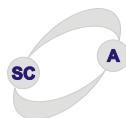
## Autotuning

- Autotuning možemo definisati kao **samostalno podešavanje parametara regulatora pomoću softvera ugrađenog u sam regulator.**
- Autotuning metod je metod gde je regulator podešen automatski na zahtev korisnika, uobičajeno ili pritiskom na dugme ili slanjem komande kontroleru.
- Razlikujemo dve procedure automatskog podešavanja parametara:  
***prvu zasnovanu na eksperimentalnom snimanju odskočnog odziva i drugu metodu zasnovanu na frekventnom odzivu.***



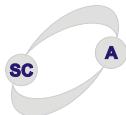
## Autotuning *Step response metod*

- Većina metoda za automatsko podešavanje PID regulatora su zasnovane na eksperimentalnom snimanju odskočnog odziva.
- *Step response metod* Kada operator želi da **podesi parametre regulatora** izvrši **eksperiment u otvorenoj povratnoj sprezi**. Na osnovu **dobijenog modela procesa** određuju se parametri regulatora, obično korišćenjem **look-up tabele** kao kod Ziegler Nichols-a.
- **Najveći problem kod automatskog podešavanja je u određivanju amplitude odskočnog odziva.** Veličina ulaznog signala treba odabrati da odgovara (5 -15) % efektivnog hoda izvršnog organa, gde se pod **efektivnim hodom** podrazumeva *pomeraj unutar koga izvršni organ izaziva pravilno dejstvo na proces, poželjno je da efektivni i stvarni hod budu isti.*

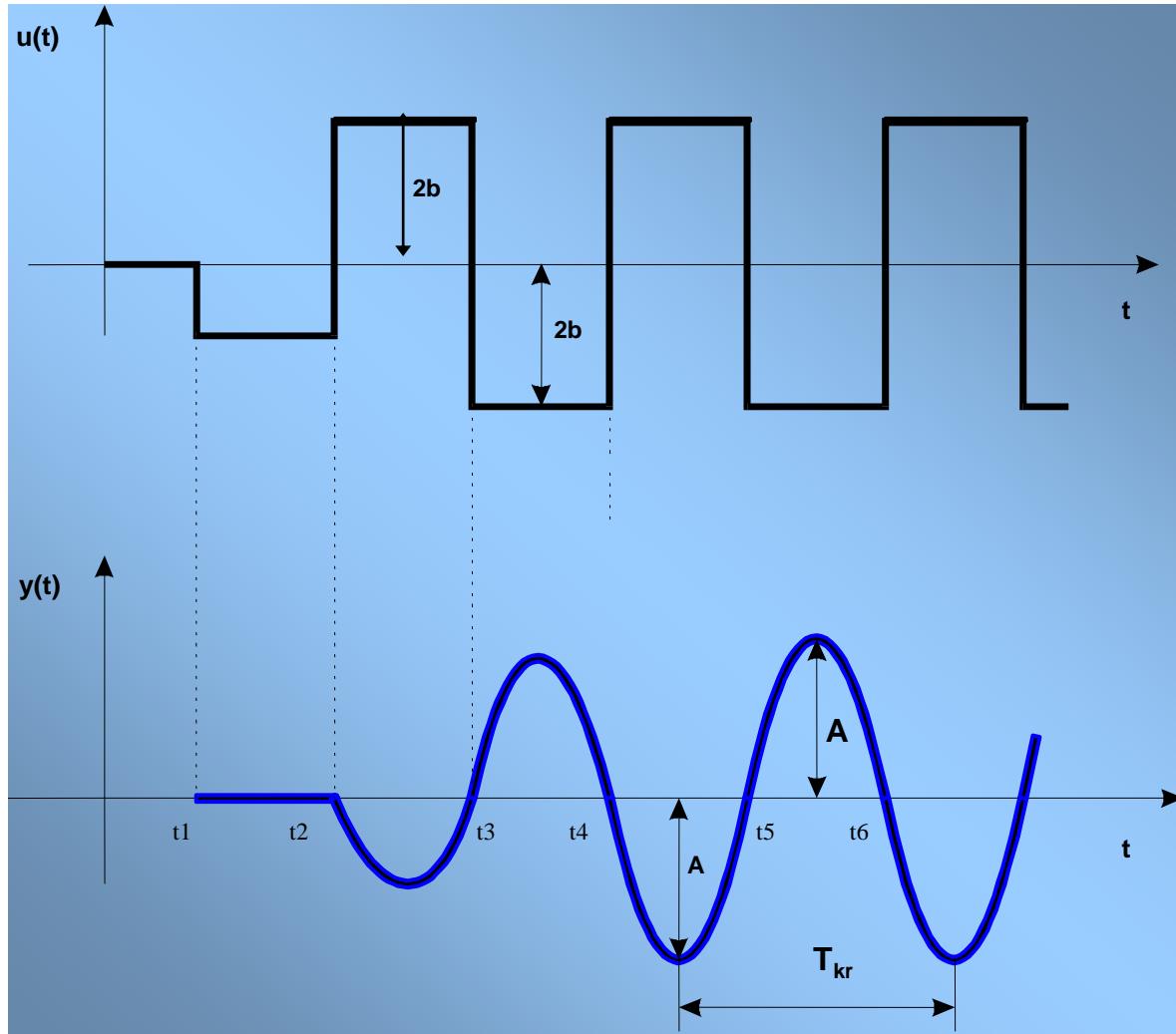


## Autotuning *Eksperiment u zatvorenoj povratnoj sprezi*

- Objektu upravljanja koji je u *stacionarnom stanju* dovodimo **konstantnu pobudu na ulaz** i održavamo i njenu vrednost održavamo *do trenutka kada izlaz sistema počne da odstupa od početnog stacionarnog stanja*. U tom trenutku se **pobuda komutira u suprotnom smeru na konstantnu vrednost dva puta veću od prethodne** i takva pobuda se održava konstantnom *do trenutka kada izlaz objekta upravljanja vrati na prethodno stacionarno stanje* kada **pobudu komutiramo u suprotnom smeru na istu vrednost** i držimo istu vrednost do trenutka kada objekat upravljanja *ponovo dođe u stacionarno stanje*

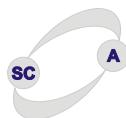


## Autotuning *Eksperiment u zatvorenoj povratnoj sprezi*



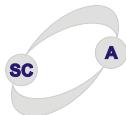
## Autotuning *Eksperiment u zatvorenoj povratnoj sprezi*

- ponavljamo postupak i povećavamo pobudu sve dok na izlazu sistema ne dobijamo **kontrolisane oscilacije jednake amplitude**
- na ovaj način dobijamo **kritičnu vrednost pojačanja  $K_{kr}$  i kritičnu periodu  $T_{kr}$**



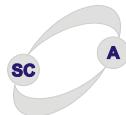
## Gain Scheduling

- PID regulatora je **siromašne strukture i ne može da upravlja jednako kvalitetano** za različite vrednosti odziva sistema.
- Isto tako **ne može sa istim vrednostima parametara da da jednako kvalitetano upravljanje sistemom u prelaznom režimu i ustaljenom stanju.**
- Gain Scheduling značajno poboljšava kvalitet upravljanja (regulacije).



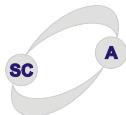
## Gain Scheduling

- Gain Scheduling podrazumeva sistem kod kog su parametri regulatora (**proporcionalni band P, integralna vremenska konstanta  $T_I$ , diferencijalna vremenska konstanta  $T_D$** ) unapred određeni i menjaju se u zavisnosti od vrednosti **izlazne velične sistema**.
- Ovo je vrlo efikasan način regulacije sistema kod kojih se **menja dinamika sistema sa promenom uslova rada**, odnosno ponašanje sistema i parametri sistema nisu isti u različitim radnim tačkama.



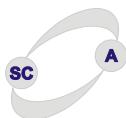
## Gain Scheduling

- **Ideja** je da se za različite radne tačke primenjuju različite vrednosti parametara regulatora.
- Tablica parametara se odrađuje van realnog vremena, pri čemu je opseg izlazne promenjive podeljen na što veći broj segmenata i za svaki od segmenata je van realnog vremena izvršena procedura podešavanja parametara i određeni parametri.
- U zavisnosti od trenutne vrednosti izlaza sistema biraju se parametri regulatora.



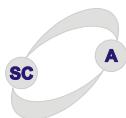
## ● Uticaj Kp, Ki, Kd na ponašanje sistema:

- ✖ proporcionalno dejstvo (Kp) smanjuje vreme uspona ali nikada ne eliminiše grešku u ustaljenom stanju
- ✖ integralni član (Ki) eliminiše grešku u ustaljenom stanju, ali negativno utiče na kvalitet ponašanja sistema u prelaznom procesu (duže vreme smirenja)
- ✖ diferencijalni član (Kd) ima efekta na povećanje stabilnosti sistema, smanjuje preskok i poboljšava ponašanje sistema u stacionarnom stanju (osetljio na nagle promene u ulaznoj promenjivoj)



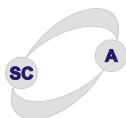
## Uticaj K<sub>p</sub>,K<sub>i</sub>,K<sub>d</sub> na ponašanje sistema:

	Vreme uspona	Preskok	Vreme smirenja	Greška u ustaljenom stanju
K <sub>p</sub>	Smanjuje	Povećava	Mala promena	Smanjuje
K <sub>i</sub>	Smanjuje	Povećava	Povećava	Eliminiše
K <sub>d</sub>	Mala promena	Smanjuje	Smanjuje	Mala promena



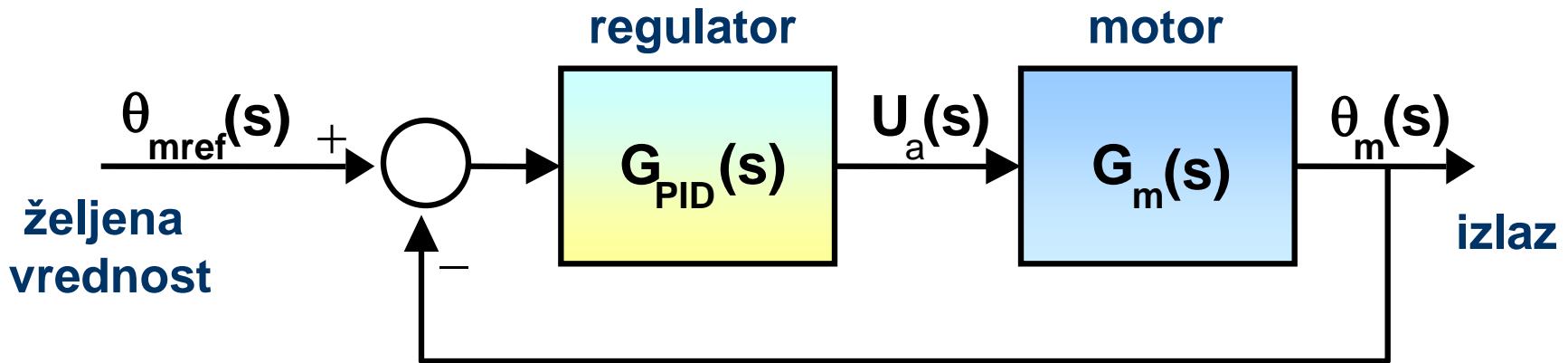
Uprkos velikom broju teorijskih i praktičnih radova na temu podešavanja parametara PID regulatora, još uvek postoji prostor za nova istraživanja

**Primena PID regulatora za upravljanje industrijskim procesnim promenljivama može (u većini slučajeva) ispuniti zahteve u pogledu karaktera ponašanja i tačnosti rada u ustaljenom stanju sistema, kao i kvaliteta dinamičkog ponašanja u prelaznom režimu**



## Projektovanje P, PI i PID regulatora i snimanje greške na odskočnu pobudu **primer**

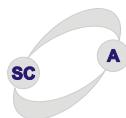
- Primenom Ziegler – Nicholsove metode projektovati P, PI i PID regulator položaja rotora jednosmernog motora.
- Formirati **dijagrame greške odziva tokom vremena**, za pogon bez regulatora i pogon upravljan P, PI i PID regulatorom. Uporediti dobijene rezultate.



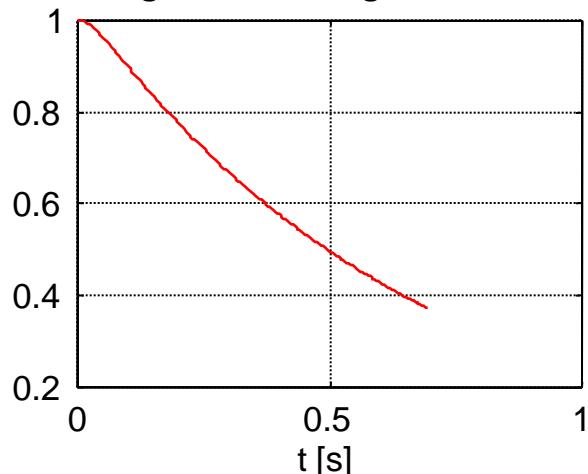
## Projektovanje P, PI i PID regulatora primenom Ziegler – Nicholsove metode primer

- Eksperiment u zatvorenoj povratnoj sprezi
  - \* kritično pojačanje:  $K_{kr} = 158.3490$
  - \* perioda oscilovanja:  $T_{kr}=0.0693$

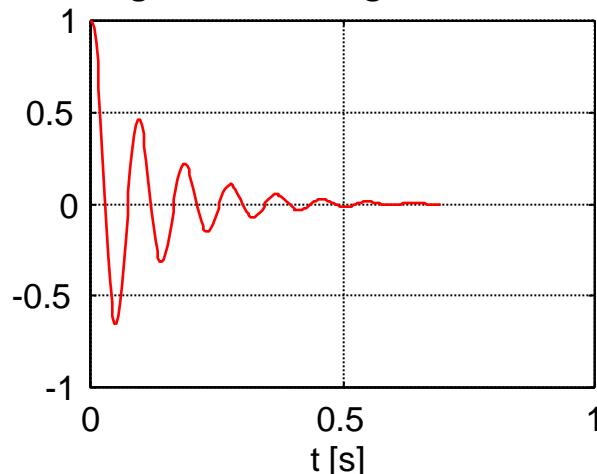
P regulator	$k_p=87.0920$		
PI regulator	$k_p=55.4222$	$T_i=0.0867$	
PID regulator	$k_p=95.0094$	$T_i=0.0555$	$T_d=0.0139$



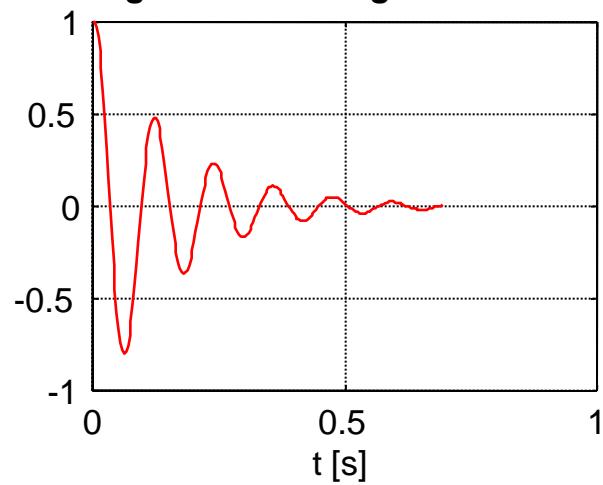
greška bez regulatora



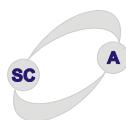
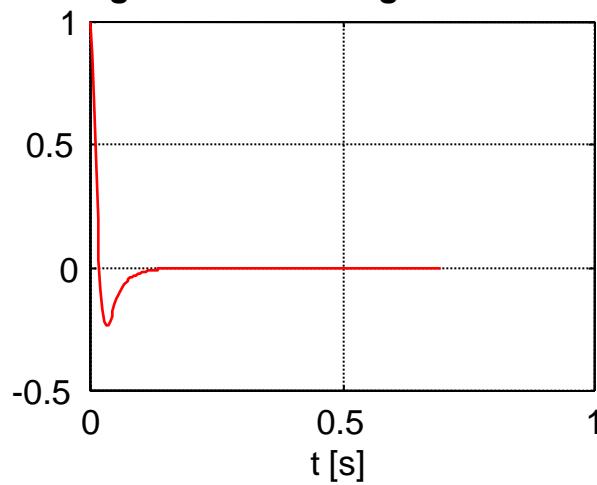
greška sa P regulatorom



greška sa PI regulatorom



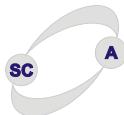
greška sa PID regulatorom



**Na osnovu slike može se zaključiti:**

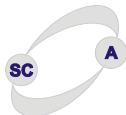
- pogon regulisan **PID regulatorom** ima:

- \* mnogo manje izražene oscilacije u odzivu
- \* mnogo manji preskok (preskok reda veličine 25%, u odnosu na preskoke od 75% za sisteme sa P i PI regulatorom)
- \* brzina ulaska u stacionarno stanje je mnogo veća (manja od 0.2s u odnosu na više od 0.5s za pogone sa P i PI regulatorom)
- \* greška rada sistem u stacionarnom stanju je i ovde kao i kod prethodnih slučajeva **nula**

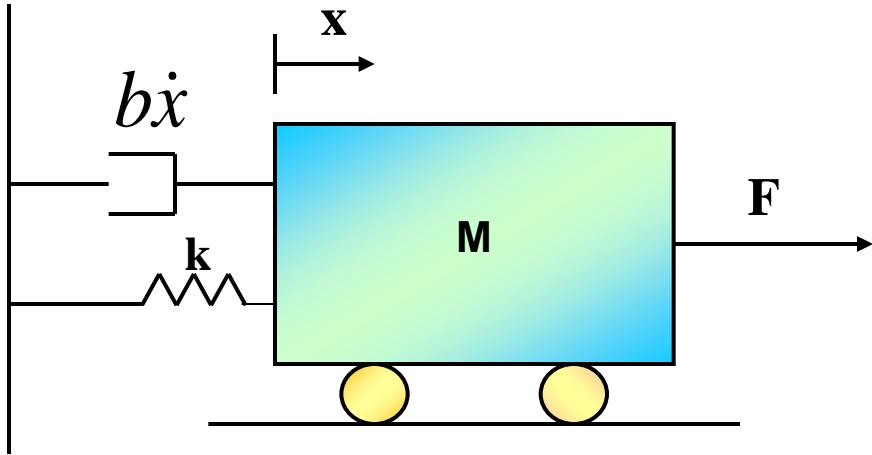


## Na osnovu slike može se zaključiti:

- Iz navedenog se može zaključiti da **sistem upravljan  
PID regulatorom ima ubedljivo najbolje  
performanse od svih analiziranih sistema (bez  
upravljanja, odnosno sa P ili PI regulacijom).**



## Primer određivanja parametara PID regulatora

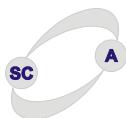


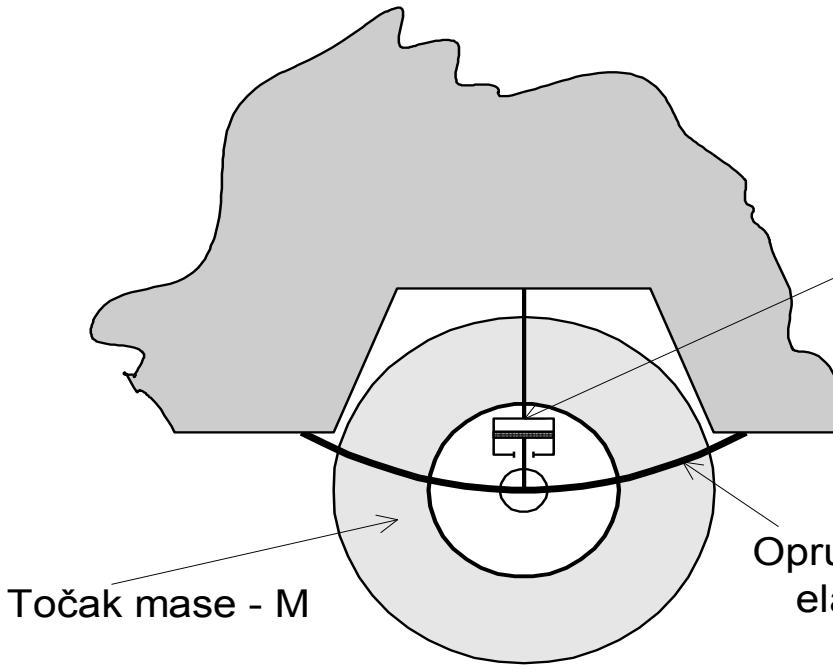
funkcija prenosa sistema:

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{Ms^2 + bs + k}$$

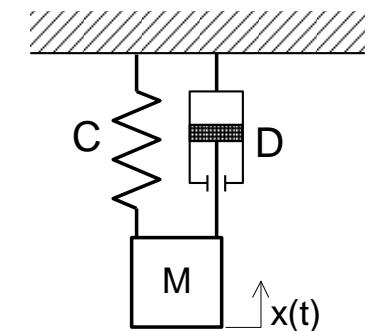
$X(s)$  – položaj (izlaz)

$F(s)$  – sila (ulaz)





Prigušnica (uljni ili vazdušni amortizer) koeficijenta viskoznog trenja - D



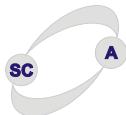
Ako se za položaj točka u nekom trenutku  $t$  usvoji koordinata  $y(t)$ , diferencijalna jednačina koja opisuje ponašanje sistema je:

$$M \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + D \frac{dy(t)}{dt} + \frac{1}{C} y(t) = Ku(t)$$

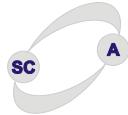
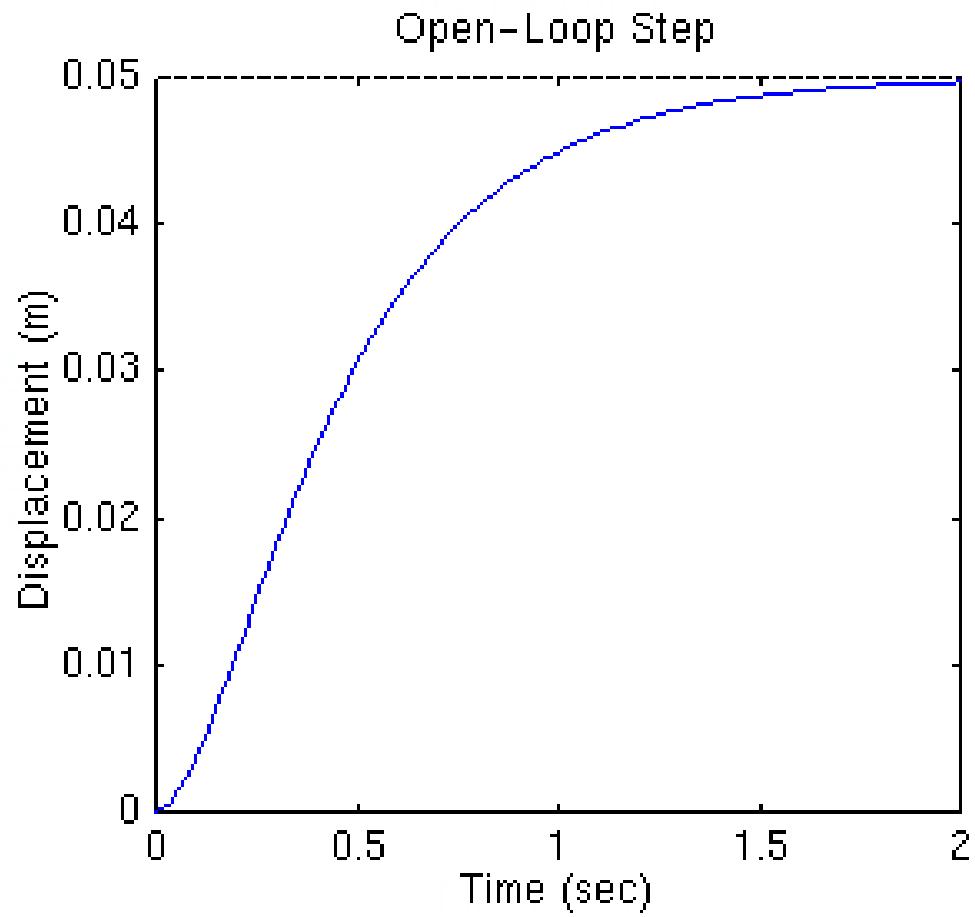
gde je  $u(t)$  sila koja deluje na točak, i nastaje usled nailaska vozila na neku prepreku na putu (rupa, bankina...).  $K$  je pojačanje, odnosno amplituda  $u(t)$ .

## Primer određivanja parametara PID regulatora

- **Zadatak:** Odrediti parametre PID regulatora Ziegler Nichols metodom,
- pokazati kako konstante  $K_p, K_I, K_D$  utiču na postizanje uslova:
  - malo vreme uspona
  - minimalni preskok
  - nema greške u ustaljenom stanju

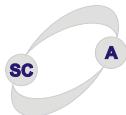


## odziv sistema jediničnu step pobudu

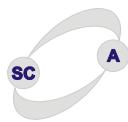
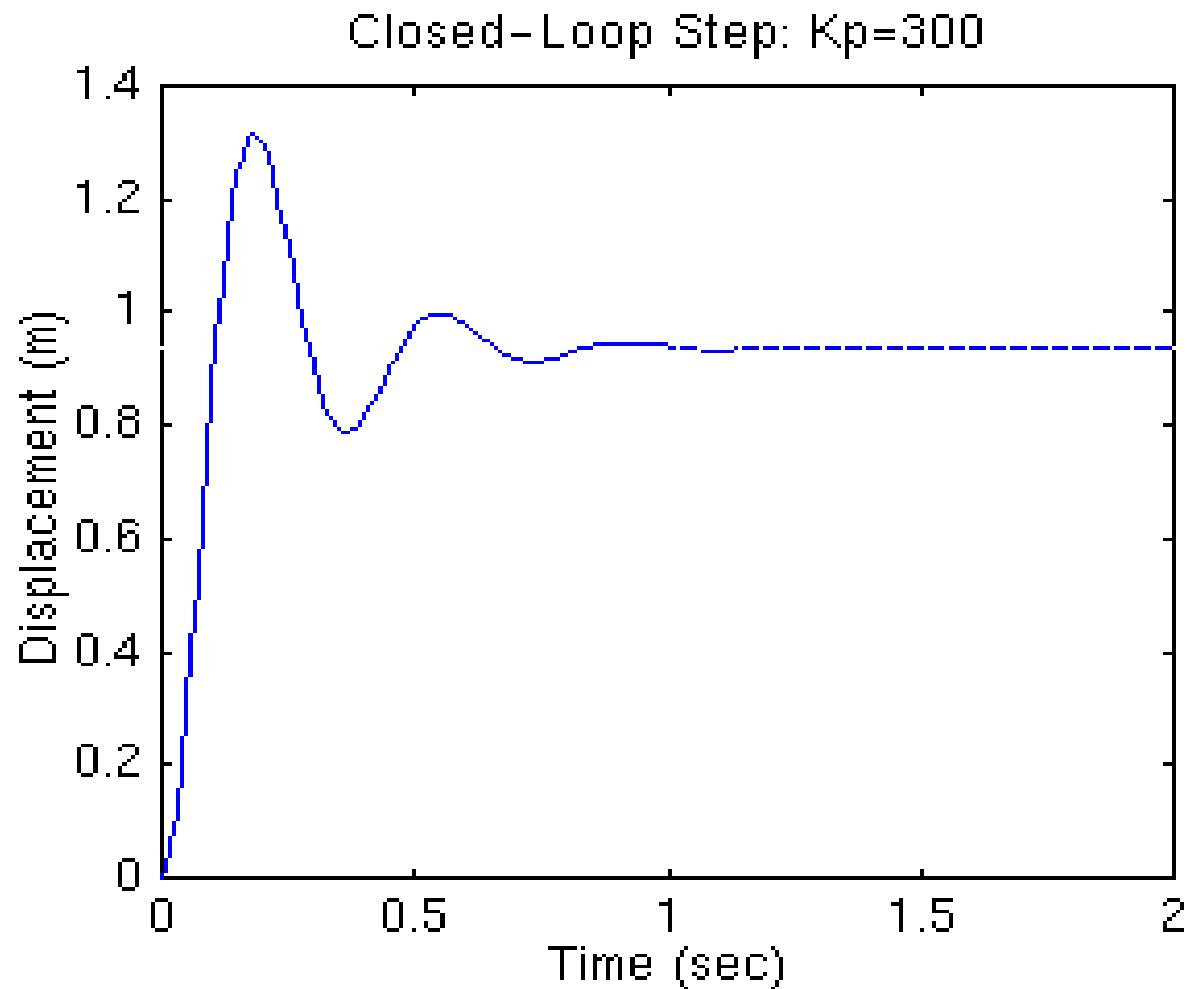


## Odziv sistema na jediničnu step pobudu

- Pojačanje u direktnoj grani je 0.05 tako da je tolika i vrednost u stacionarnom stanju jediničnog odziva sistema, tako da je greška odziva sistema u stacionarnom stanju 0.95
- **Vreme uspostavljanja** je oko 1 sec, **vreme smirenja** 1.5 sec
- **Zadatak** je da projektujemo regulator koji će **smanjiti vreme uspostavljanja, smanjenje vreme smirenja i eliminiše grešku u stacionarnom stanju.**

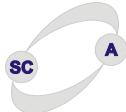


## Odziv sistema sa zatvorenom povratnom spregom na jediničnu step pobudu $K_p=300$

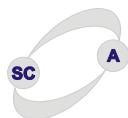
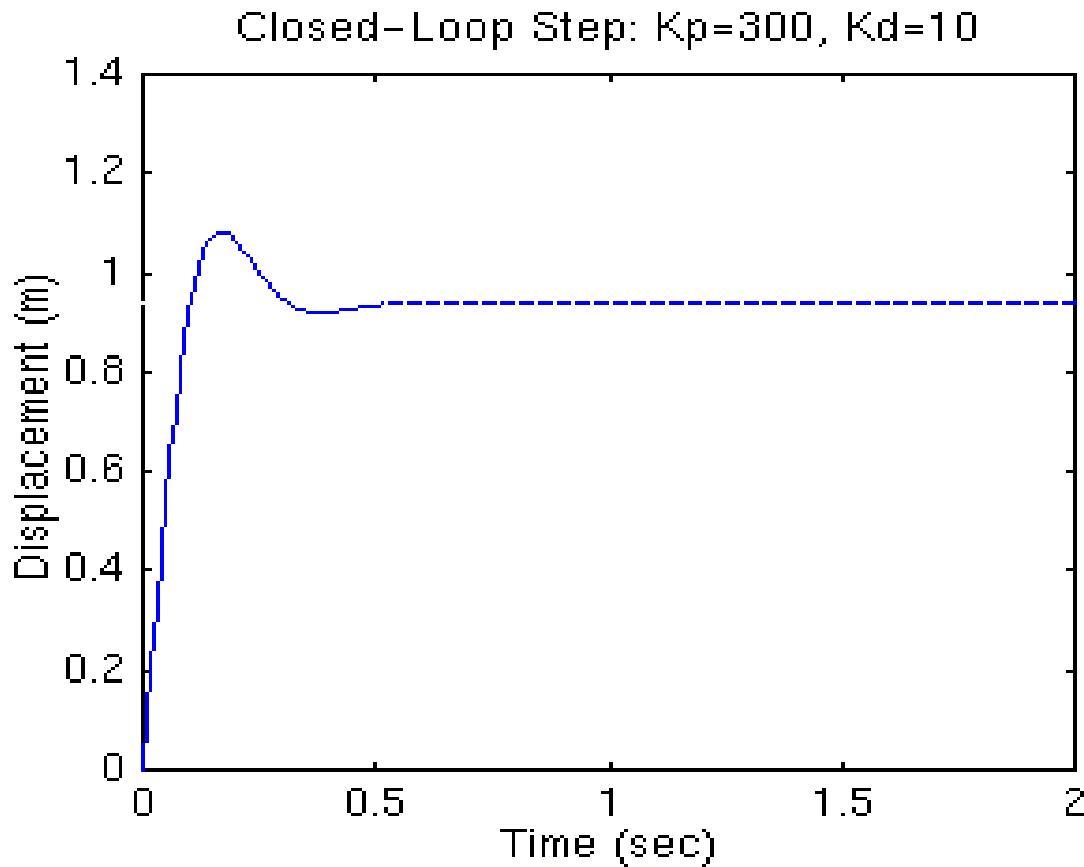


## Odziv sistema sa zatvorenom povratnom spregom na jediničnu step pobudu $K_p=300$

- Slika pokazuje da je **P** regulator
  - ✗ smanjio vreme uspostavljanja i grešku u stacionarnom stanju
  - ✗ povećao preskok
  - ✗ neznatno smanjio vreme smirenja

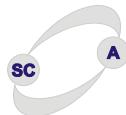


## Odziv sistema sa zatvorenom povratnom spregom na jediničnu step pobudu $K_p=300$ , $K_d=10$

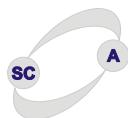
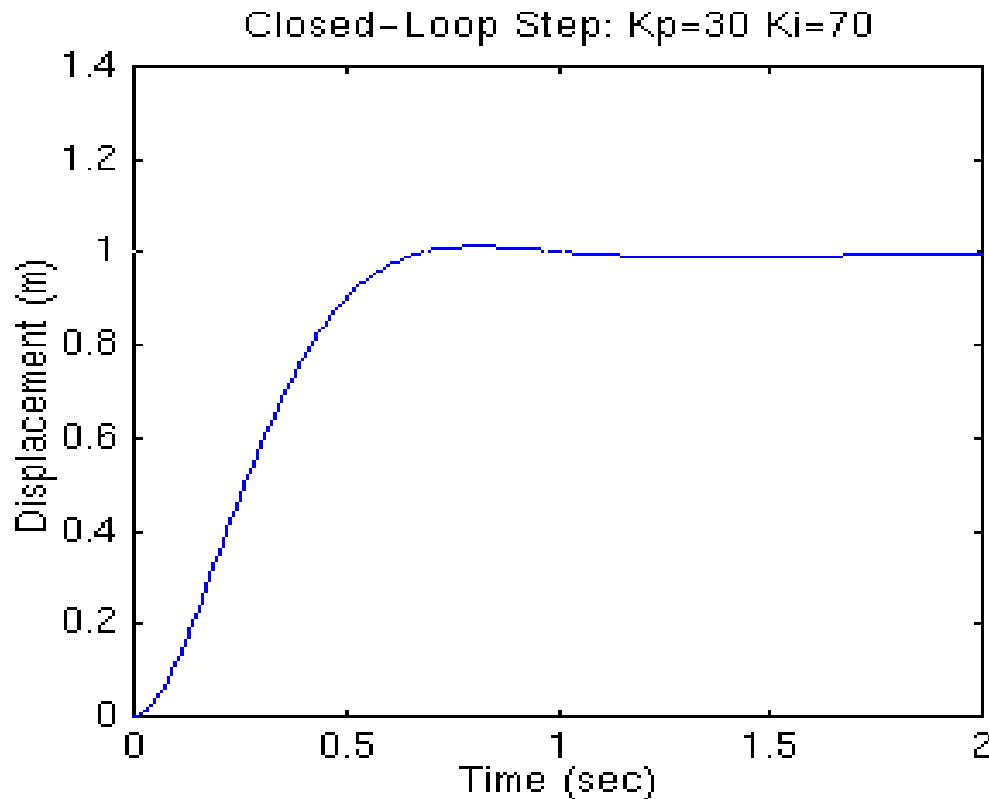


## Odziv sistema sa zatvorenom povratnom spregom na jediničnu step pobudu **Kp=300, Kd=10**

- Slika pokazuje da je D regulator
  - ✗ neznatno utiče na vreme uspostavljanja i grešku u stacionarnom stanju
  - ✗ smanjio preskok
  - ✗ smanjio vreme smirenja

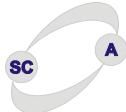


## Odziv sistema sa zatvorenom povratnom spregom na jediničnu step pobudu $K_p=300$ , $K_i=70$

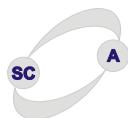
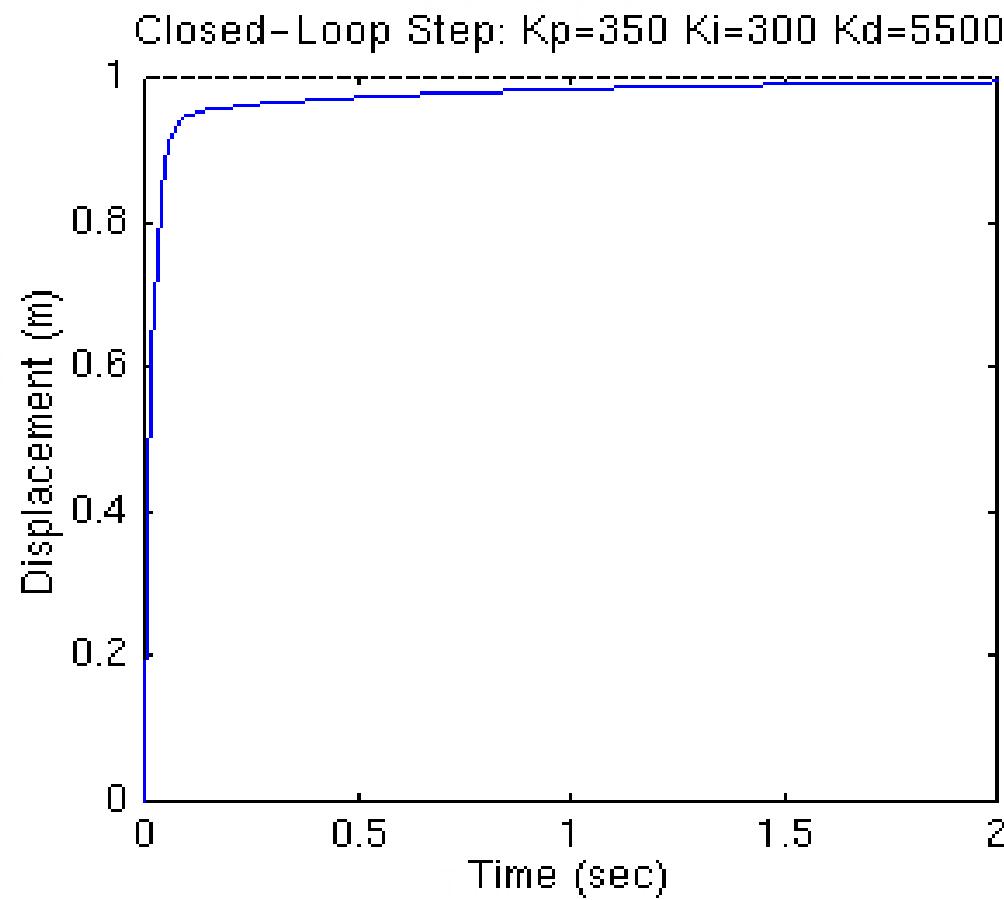


## Odziv sistema sa zatvorenom povratnom spregom na jediničnu step pobudu $K_p=300$ , $K_i=70$

- Slika pokazuje da je **I regulator**
  - ✖ **Smanjili** smo proporcionalno pojačanje ( **$K_p$** ) zato što **integralni deo regulatora** takođe smanjuje vreme uspostavljanja i povećava preskok kao i proporcionalni deo regulatora
  - ✖ **eliminisao** grešku u ustljenom stanju

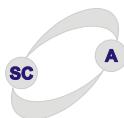


## Odziv sistema sa zatvorenom povratnom spregom na jediničnu step pobudu $K_p=300$ , $K_i=300$ , $K_d=5500$



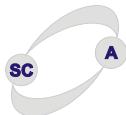
## Odziv sistema sa zatvorenom povratnom spregom na jediničnu step pobudu **K<sub>p</sub>=300, K<sub>i</sub>=300, K<sub>d</sub>=5500**

- Primenom **PID regulatora** dobili smo sistem čiji odziv na jediničnu pobudu
  - ✖ **nema preskok**
  - ✖ **malo je vreme uspostavljanja**
  - ✖ **nema greške u ustaljenom**



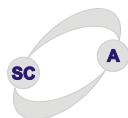
- Koraci u projektovanju PID regulatora za zadati sistem:

- ✖ Snimiti **odziv sistema u otvorenoj povratnoj sprezi** i uočiti nedostatke koje treba poboljšati
- ✖ Dodati P dejstvo regulatora u cilju poboljšanja **vremena uspostavljanja**
- ✖ Dodati D dejstvo u cilja **smanjenja preskoka**
- ✖ Menjati vrednosti K<sub>p</sub>, K<sub>i</sub>, i K<sub>d</sub> sve dok ne dobijemo željeni odziv sistema  
*(pogledati tabelu ! sl. 38)*



## Koraci u projektovanju PID regulatora za zadati sistem:

- Nije neophodno implementirat sva tri dejstva regulatora (P, I i D dejsvo) ako nije neophodno
- Ako PI regulator daje dovoljno dobar odziv kao u ovom primeru nije neophodno koristiti D dejstvo



# PID regulatori

