

Načrtovanje zveznih PID regulatorjev

- določevanje parametrov K_P , T_I , T_D

- **model procesa ne obstaja**

- eksperimentalne metode (nastavitvena pravila)

- **model procesa obstaja**

- analitične metode (doseganje želenih polov, kompenzacija v frekvenčnem prostoru)
 - nastavitvena pravila
 - korelacijske metode
 - poizkušanje s simulacijo
 - optimizacija

Vsak načrtovalni postopek mora zagotoviti stabilno delovanje!!!

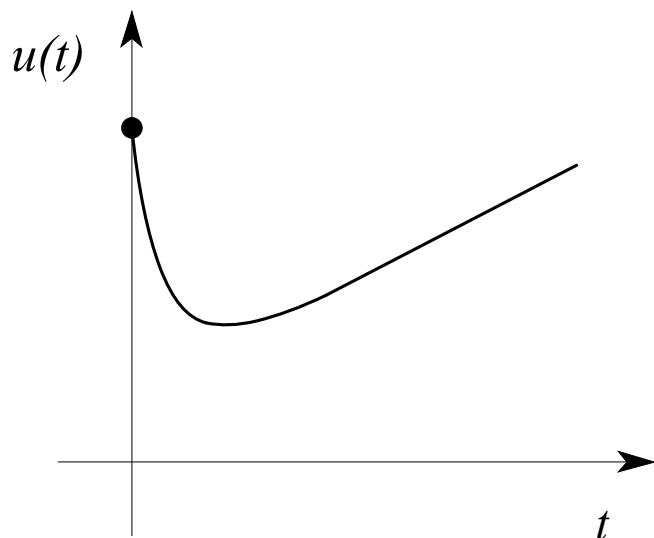


Pri večini načrtovalnih postopkov bomo upoštevali idealni *PID* regulator, ki pa ga ni možno realizirati. V praksi običajno realiziramo prenosno funkcijo

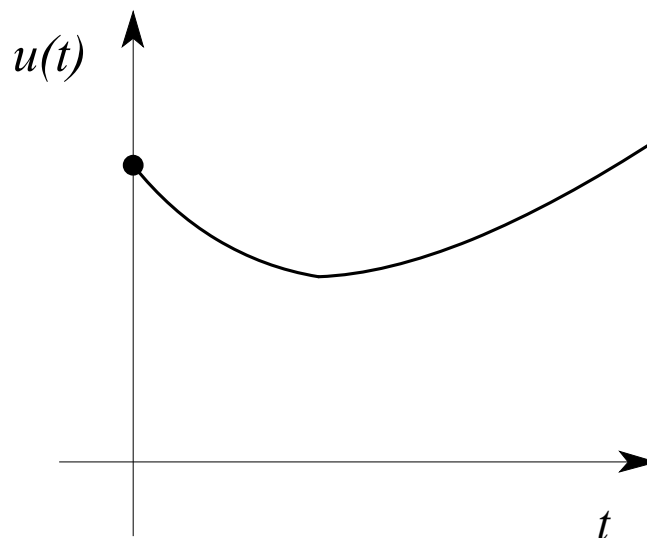
$$G_R(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I s} + \frac{T_D s}{T' s + 1} \right)$$

$$T' \doteq (0.1 \text{ do } 0.3) T_D$$

a)



b)



Analitični postopki

Regulator za premikanje polov

Če je model procesa

$$G_P(s) = \frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}$$

Predpišemo želeno karakteristično enačbo

$$(s + \alpha\omega_n)(s^2 + 2\zeta\omega_ns + \omega_n^2) = 0$$



Iz primerjave dejanskega in želenega karakterističnega polinoma izračunamo naslednje vrednosti parametrov regulatorja:

$$\begin{aligned} K_P &= \frac{T_1 T_2 \omega_n^2 (1 + 2\zeta \alpha) - 1}{K} \\ T_I &= \frac{T_1 T_2 \omega_n^2 (1 + 2\zeta \alpha) - 1}{T_1 T_2 \alpha \omega_n^3} \\ T_D &= \frac{T_1 T_2 \omega_n (\alpha + 2\zeta) - T_1 - T_2}{T_1 T_2 (1 + 2\zeta \alpha) \omega_n^2 - 1} \end{aligned} \quad (1)$$

PI regulator

$$\omega_n = \frac{T_1 + T_2}{T_1 T_2 (\alpha + 2\zeta)}$$



Kompensacija polov procesa

Prenosna funkcija idealnega *PID* regulatorja

$$\begin{aligned}
 G_R(s) &= K_P \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \\
 &= K_P T_D \frac{\left[s + \left(\frac{1}{2T_D} + \sqrt{\frac{1}{4T_D^2} - \frac{1}{T_D T_I}} \right) \right] \left[s + \left(\frac{1}{2T_D} - \sqrt{\frac{1}{4T_D^2} - \frac{1}{T_D T_I}} \right) \right]}{s}
 \end{aligned}$$

Regulator ima dve ničli in en pol!

realni ničli $T_I \geq 4T_D$

kompleksni ničli $T_I < 4T_D$

Z ničloma krajšamo dva dominantna (počasna) pola procesa. Taka kompensacija običjno daje dobre rezultate pri sledilnem, slabše pa pri regulacijskem delovanju.



Metoda Åström-Hägglund

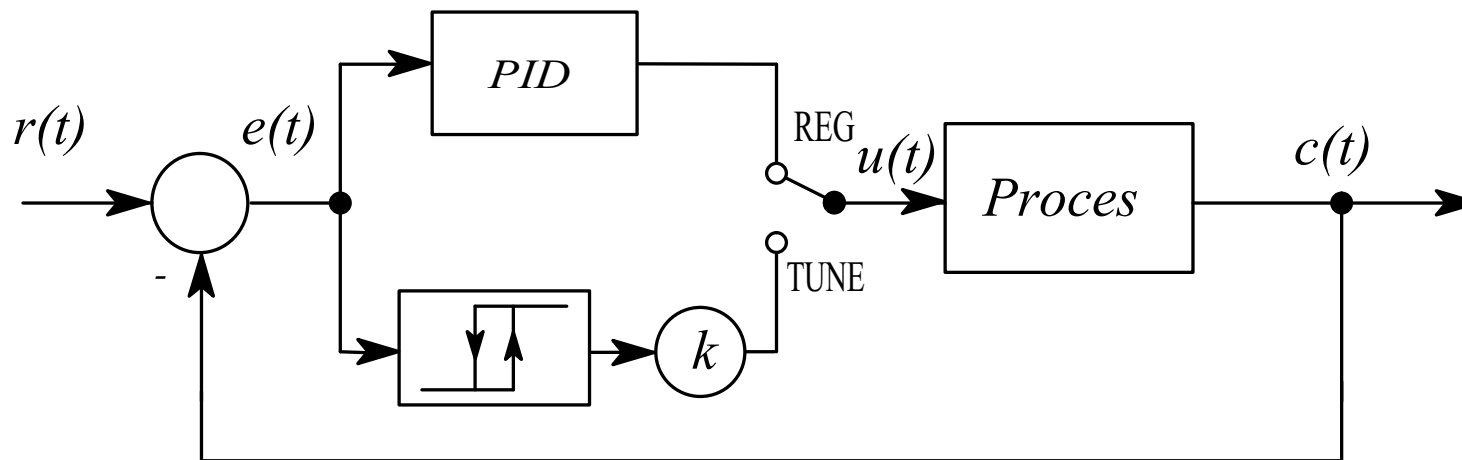
Slabosti metode Ziegler-Nicholsa s pomočjo nihajnega preizkusa:

- Težko jo je direktno uporabiti za avtomatsko nastavljanje v sodobnih regulatorjih.
- Celoten postopek je zelo dolgotrajen.
- Težko in nevarno je vzdrževati delovanje sistema na meji stabilnosti.
- Tako nastavljeni regulatorji dajejo često premajhno dušenje v zaprti zanki.



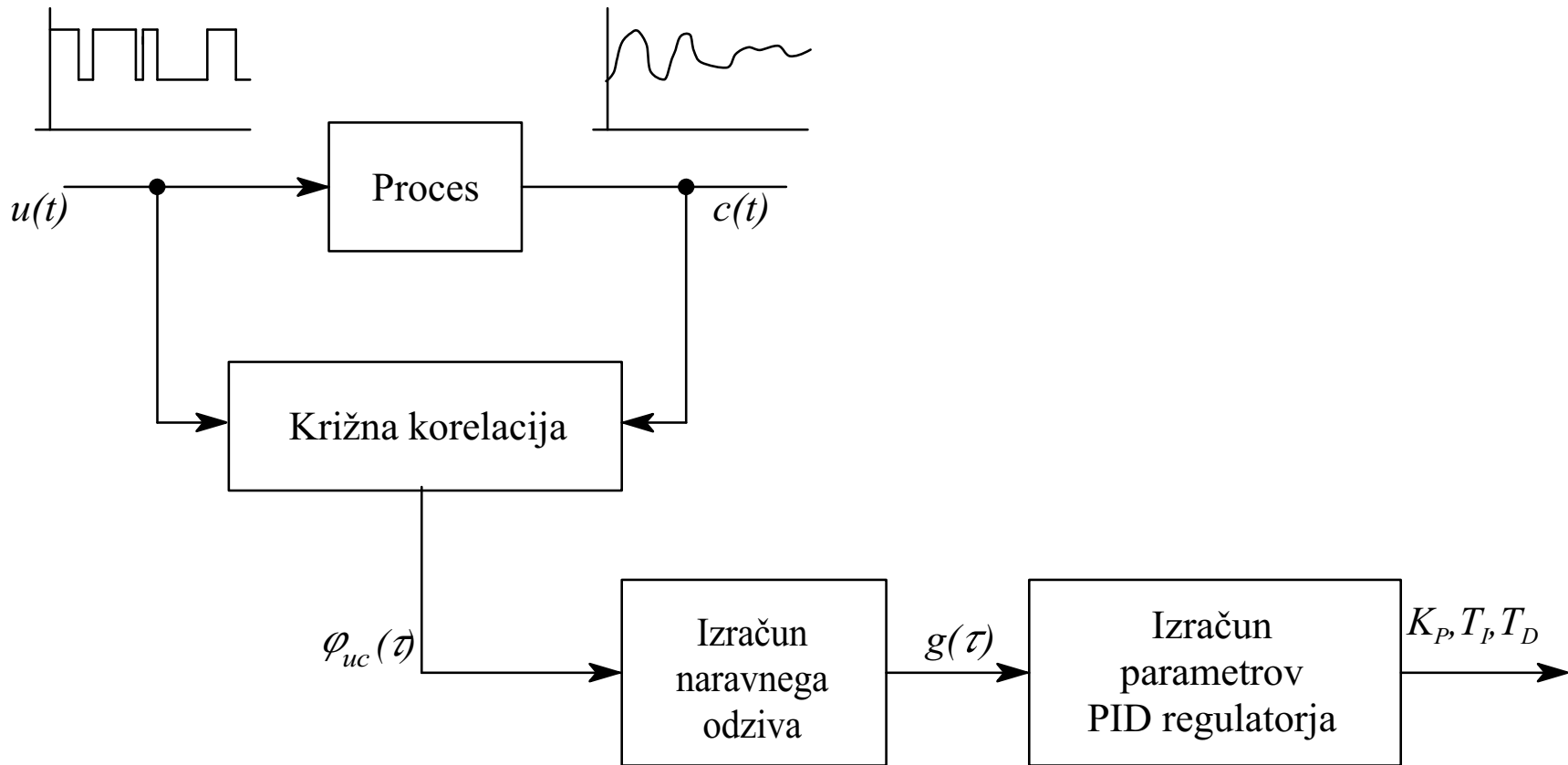
Postopek:

- Regulator zamenjamo z relejsko karakteristiko.
- S pomočjo pravilne izbire relejskega elementa (oz. ojačenja k) dosežemo primerno amplitudo nihanja. Parametre regulatorja določimo iz ojačenja k , ki zagotovi primerno amplitudo nihanja in iz frekvence nihanja.



Korelacijska metoda

Odpertožančna metoda!



Vzbujanje: psevdo-naključni binarni signal (PNBS)



Optimizacija s pomočjo integralnih cenilk

Potrebujemo model realnega procesa!

Optimizacija regulacijskega sistema je postopek, s pomočjo katerega načrtamo regulator tako, da le-ta minimizira ali maksimizira (odvisno od situacije) določeno cenilko v nekem prehodnem pojavu.

Cenilka je odvisna od signala pogreška in od regulirne veličine in je običajno integralnega tipa.

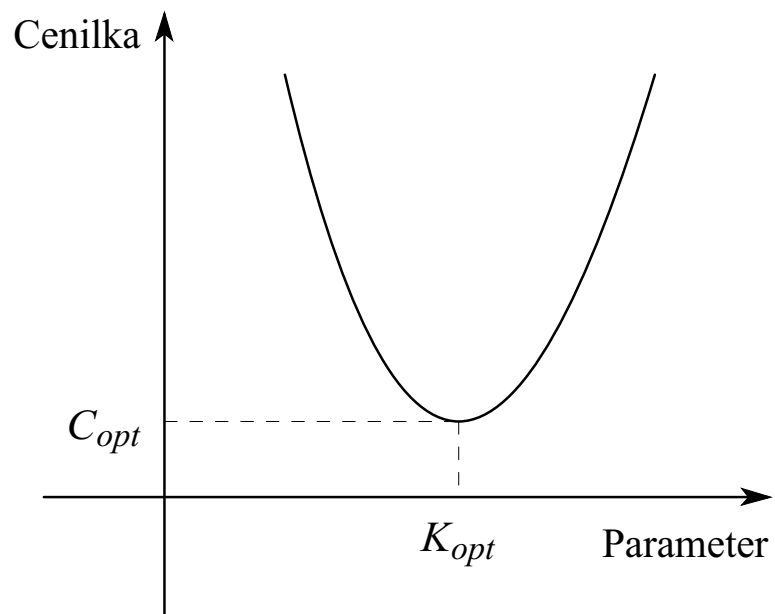
Razen cenilke lahko v optimizacijske postopke vključimo tudi omejitve.



Osnovna ideja:

$$C = f(K_P, T_I, T_D)$$

$$\frac{\partial C}{\partial K_P} = 0 \quad \Rightarrow \quad K_{Popt}$$



Uporabljamo naslednje cenilke integralskega tipa:

$$\int_0^\infty e^2(t) dt \quad \int_0^\infty t e^2(t) dt \quad \int_0^\infty |e(t)| dt$$

$$\int_0^\infty t |e(t)| dt \quad \int_0^\infty [e^2(t) + R(u(t) - u(\infty))^2] dt$$



Avtomatsko nastavljanje in avtomatsko prilagajanje parametrov PID regulatorjev

Postopki za avtomatsko nastavljanje in avtomatsko prilagajanje parametrov so se začeli razvijati in vgrajevati po letu 1980. Pretežno temeljijo na obravnavanih nastavitvenih pravilih.

Razlogi za zamudo:

- premalo praktično usmerjene raziskave na področju adaptivnih sistemov
- premalo sposobna materialna in programska oprema



Avtomatsko nastavljanje

angl. auto-tuning, self-tuning, pre-tuning

To je postopek, v katerem se avtomatsko nastavijo parametri regulatorja na zahtevo operaterja (pritisk na tipko, poslan ukaz). To je torej enkratno dejanje, ki se običajno izvede v začetku obratovanja.

Možne izvedbe:

- s pomočjo zunanje programirne naprave
- v regulatorju

Večina metod za avtomatsko nastavljanje deluje na osnovi odziva procesa na stopničasto vzbujanje (v odprti zanki).



Metoda spremenljivega parametra

- Po tej metodi se parameter regulatorja (običajno ojačenje, zato angl. *gain scheduling*) sproti prilagaja po vnaprej določeni zakonitosti pogojem obratovanja (npr. trenutni vrednosti regulirane ali regulirne veličine).
- Metoda je zelo enostavna in učinkovita, uporablja pa se predvsem pri reguliranju zelo nelinearnih procesov, pri katerih je možno obratovalne spremembe predvideti vnaprej.



Avtomatsko prilagajanje

- Avtomatsko prilagajanje (angl. adaptation) je postopek, v katerem se parametri regulatorja med obratovanjem (torej v zaprti zanki) nenehno prilagajajo dinamiki procesa in motilnim signalom.
- Začetne vrednosti se določijo s postopkom avtomatskega nastavljanja.
- Regulatorji, ki omogočajo razen zaprtozančne regulacije vključiti tudi krmiljenje, lahko sproti prilagajajo tudi parametre krmilnega sistema.
- Avtomatsko prilagajanje je smiselno uporabiti le pri močno spremenljivih obratovalnih pogojih, ki pa jih ni mogoče predvideti vnaprej.



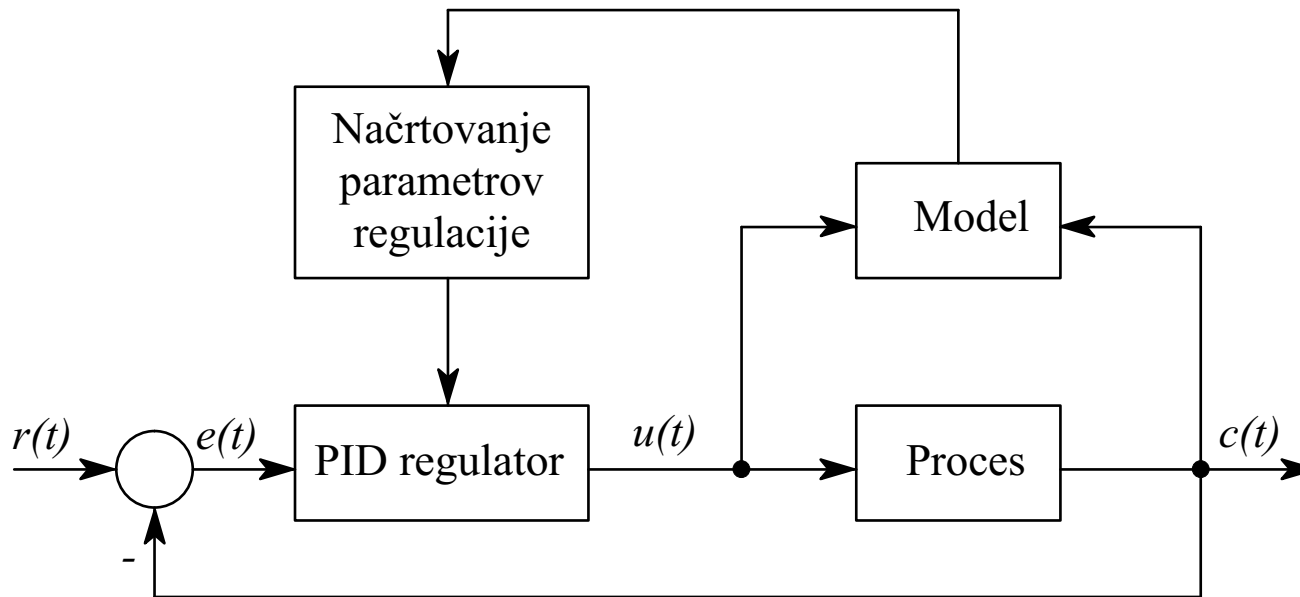
Direktne in indirektne metode

Direktne (hevristične) metode (angl. rule based methods)

Metode temeljijo na izkušenjskih in hevrističnih pravilih. Algoritmi običajno čakajo na spremembo reference ali na znatnejše motnje. Iz odziva določijo dušilni koeficient, prevzpon, lastno frekvenco, ojačenje ali kakšne druge značilke. Z uporabo pravil se izračunajo parametri regulatorja.

Indirektne metode

Določi se matematični model realnega procesa.



Pregled metod avtomatskega nastavljanja in prilagajanja v industrijskih regulatorjih

Temperaturni regulatorji:

- cenejši
- nastavljanje in prilagajanje je lažje izvesti, kajti temperaturni procesi imajo veliko skupnih lastnosti
- učinkovita je funkcija prilagajanja parametra, ker se časovni konstanti ohranjanja in ohlajevanja ponavadi precej razlikujeta

Ostali procesni regulatorji (regulacija nivoja, pretoka, tlaka in pH)

- nastavljanje in prilagajanje je zahtevnejše, saj je dinamika zelo različna (npr. tlak v primerjavi s temperaturo)



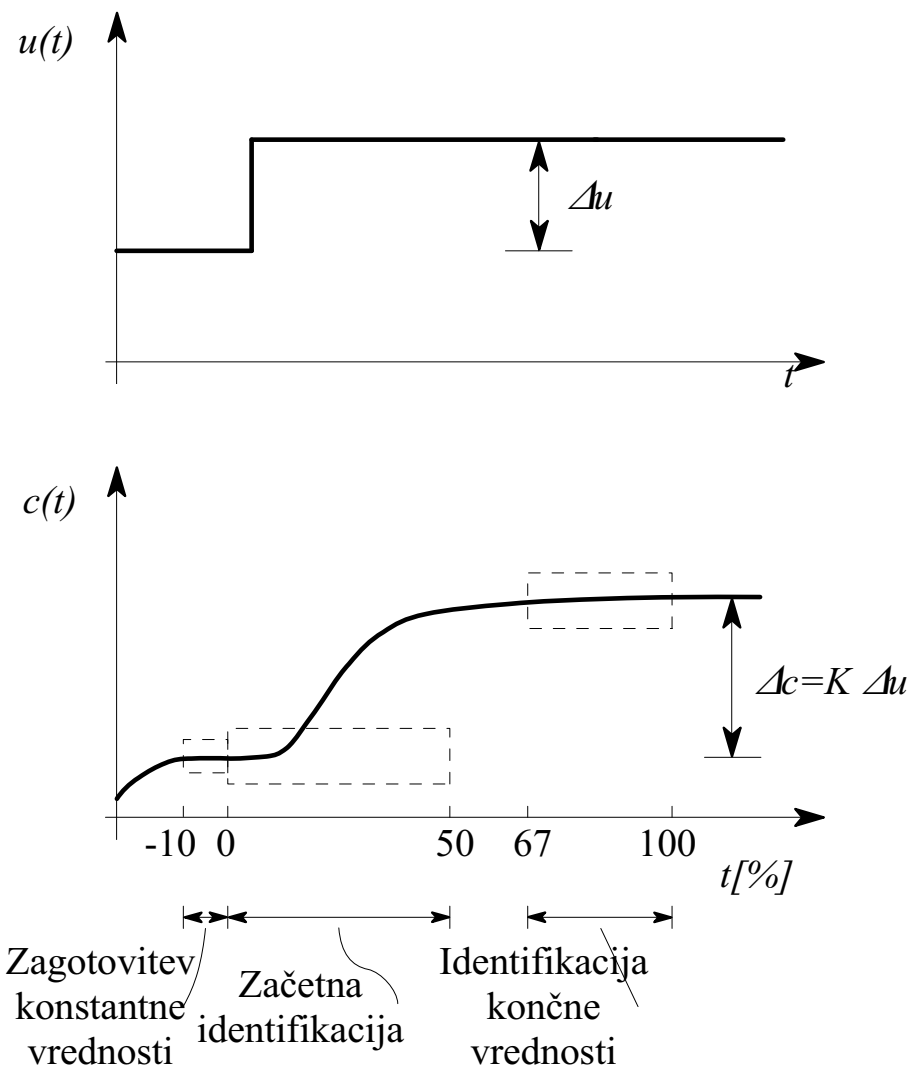
Lastnosti avtomatskega nastavljanja in prilagajanja nekaterih najnaprednejših industrijskih procesnih regulatorjev

Proizvajalec	Regulator	Avtomatsko nastavljanje	Metoda spremenljivega parametra	Avtomatsko prilagajanje (pri regulaciji)	Avtomatsko prilagajanje (pri krmiljenju)
Bailey Controls	CLC04	Stopnica	Da	Model	-
Control Techniques	Expert controller	Rampe	-	Model	-
Fisher Controls	DPR900	Rele	Da	-	-
	DPR910	Rele	Da	Model	Model
Foxboro	Exact	Stopnica	-	Pravila	-
Fuji	CC-S:PNA 3	Stopnice	Da	-	-
Hartmann & Braun	Protronic P	Stopnica	-	-	-
	Digitric P	Stopnica	-	-	-
Honeywell	UDC 6000	Stopnica	Da	Pravila	-
SattControl	ECA40	Rele	Da	-	-
	ECA400	Rele	Da	Model	Model
Siemens	SIPART DR24	Stopnica	Da	-	-
Toshiba	TOSDIC-215D	PNBS	Da	Model	-
	EC300	PNBS	Da	Model	-
Turnbull Control Systems	TCS 6355	Stopnice	-	Model	-
Yokogawa	SLPC-171,271	Stopnica	Da	Pravila	-
	SLPC-181,281	Stopnica	Da	Model	-



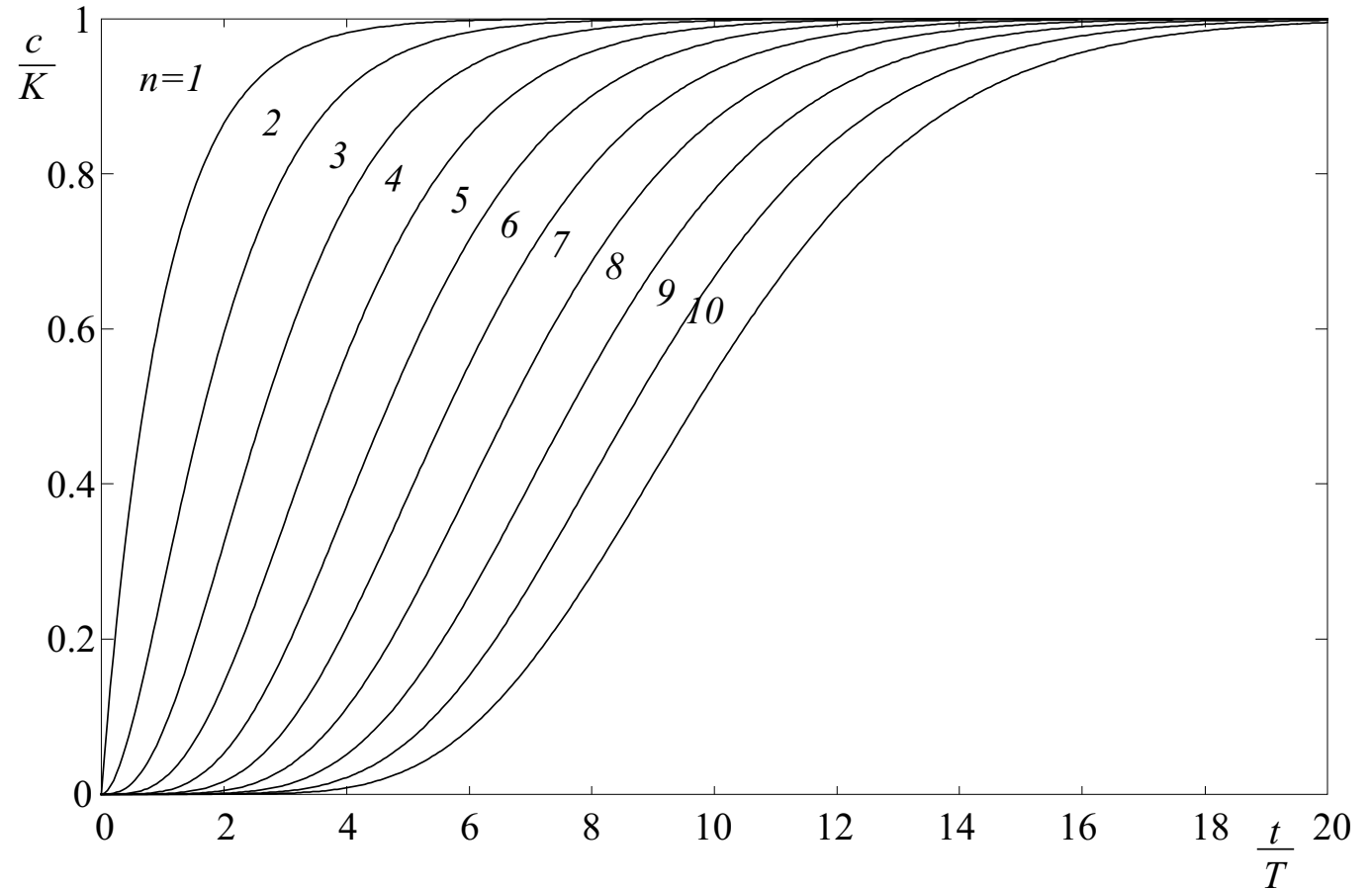
Regulator SIPART DR-24 (Siemens)

Avtomatsko nastavljanje!



PTn modeli

$$G(s) = \frac{K}{(Ts+1)^n}$$



Postopek zagotovi približno 5% prevzpon.



Regulator 761 (Foxboro)

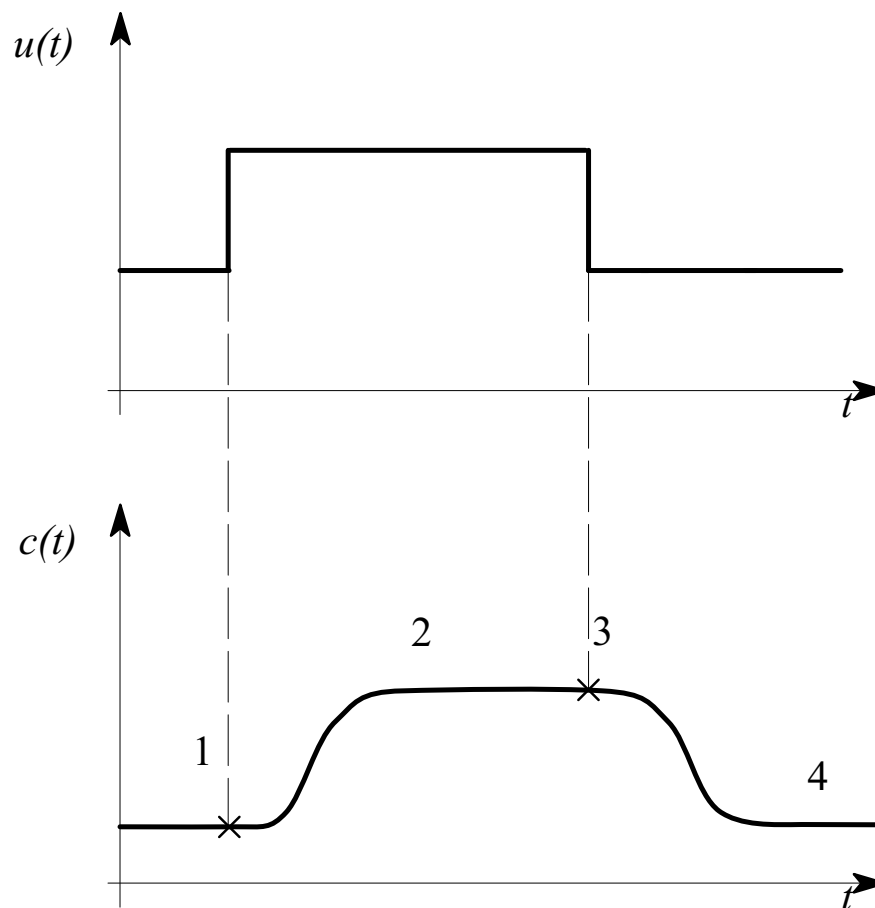
Avtomatsko nastavljanje in prilagajanje!

Funkcija EXACT (EXpert Adaptive Controller Tuning)

EXACT je povsem hevrističen način nastavljanja in prilagajanja in je danes vgrajen v vse regulacijske sisteme podjetja Foxboro.



Avtomatsko nastavljanje (PTUN)

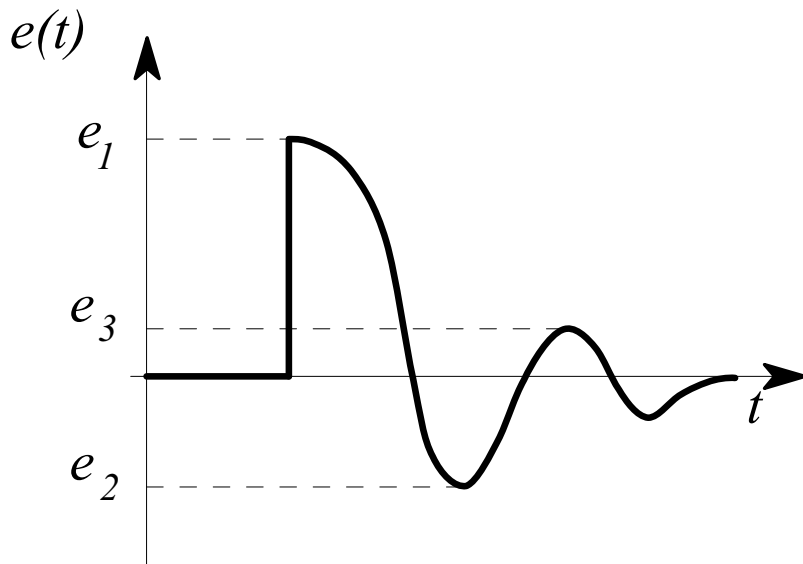


Avtomatsko prilagajanje (STUN)

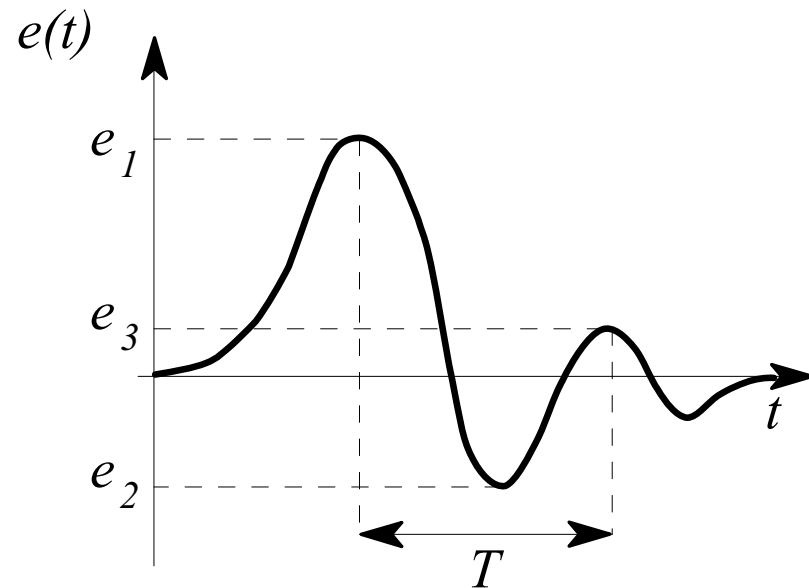
Funkcija se aktivira, če je izbrana in če je regulacijski pogrešek večji od dvakratne vrednosti šumnega praga. Pogrešek lahko povzroči sprememba reference ali motnja.

$$\text{dušenje} = -\frac{e_2}{e_1}$$

$$\text{prevzpon} = \frac{e_3 - e_2}{e_1 - e_2}$$



a)



b)



Regulatorji 2003 in 2004 (LFE Instruments), DICON SM in dTRON (JUMO Process Controls)

Avtomatsko nastavljanje s stopničasto spremembo na izhodu regulatorja je včasih zelo nepraktično, včasih tudi težko izvedljivo. Omenjeni regulatorji rešujejo problem tako, da med prehodnim pojavom pri spremenjeni referenci generirajo na svojem izhodu kratko stopničasto sekvenco.

