

Vaja 6

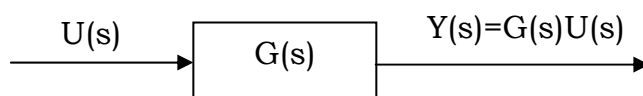
Ime in priimek: Datum:.....

Do regulatorja z nastavitvenimi pravili

Vzrok za vključitev regulatorja - inženirski parametri odziva na stopnico

Včasih nismo zadovoljni z obnašanjem sicer **stabilnega** sistema. Naše nezadovoljstvo opišimo z inženirskimi parametri odziva na stopnico!

Kot vhodno veličino vzemimo torej stopnico $u(t)$. Izhodna veličina $y(t)$ doseže po določenem času in na določen način **vrednost v ustaljenem stanju y_{∞}** .

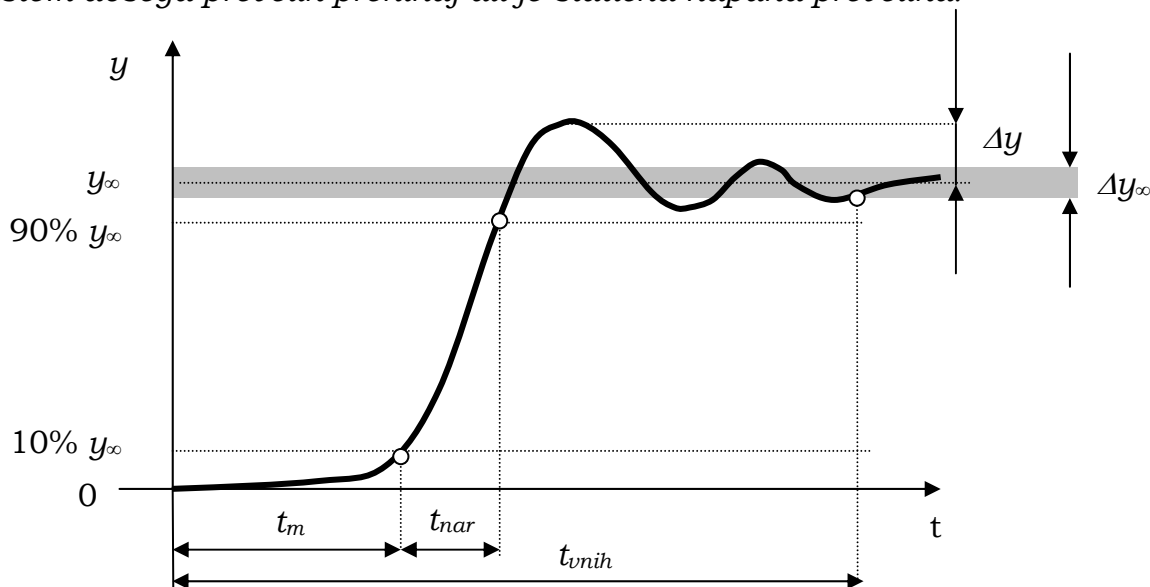


Po teoremu o končni vrednosti lahko iz znane prenosne funkcije $G(s)$ izračunamo vrednost odziva na stopnico v ustaljenem stanju:

$$y_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sY(s) = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s)U(s) = \lim_{s \rightarrow 0} G(s)$$

Inženirski parametri številka 1

Odziv na stopnico, ki je nastopila ob času $t=0$, se nam zdi prepočasen ali sistem dosega prevelik prenehaj ali je statična napaka prevelika.



Oglejmo si vsakega od označenih parametrov posebej.

Mrtvi čas

čas, ki je potreben, da izhodna veličina zraste do $10\% y_{\infty}$ t_m

Hitrost odziva

Izhodna veličina y začne naraščati takoj z odvodom (naklonom) >0 ali z zakasnitvijo in z odvodom 0 , odvisno od reda sistema. Čas, ki je potreben, da

izhodna veličina naraste v nadkritično dušenih sistemih od 10% do 90% vrednosti y_∞ , imenujemo čas naraščanja (*rise time*) t_{nar} . (za kritično dušene od 5% do 95%, za podkritično dušene od 0% do 100%)

Prenihaj (prevzpon)

Izhodna veličina bo v času preden se ustali, za Δy presegla vrednost v ustaljenem stanju, čemur rečemo prenihaj. Podajamo ga tudi v relativni obliki kot $\Delta y/y_\infty$.

Vnihajni čas (umiritveni čas)

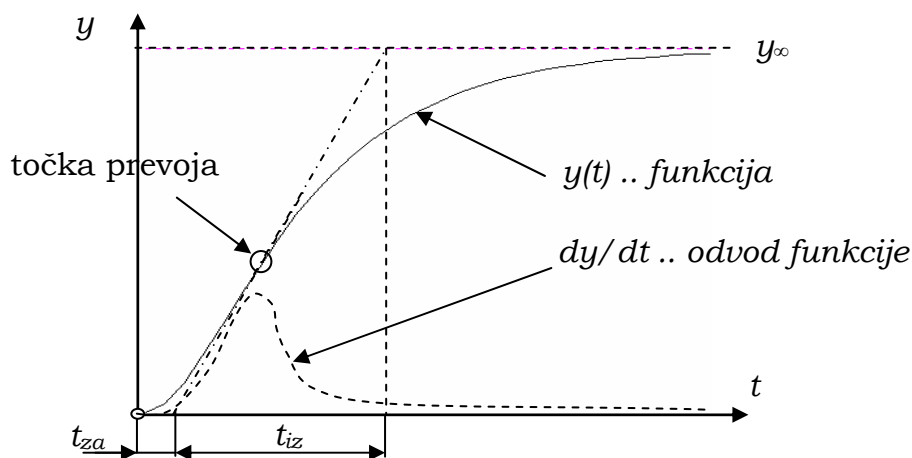
Izhodna veličina potrebuje čas, da se izniha v pas Δy_∞ (5% ali 2%) okoli vrednosti y_∞ . Čas imenujemo vnihajni čas (*settling time*) t_{vni} .

Statična napaka

Statična napaka je definirana kot razlika med vrednostima vhodne veličine, v našem primeru $u(t)$, in izhodne $y(t)$, ko izhodna $y(t)$ doseže ustaljeno stanje. Izhodna veličina gotovo doseže vrednost y_∞ v limiti, ko t narašča proti ∞ , kar ustreza limiti v Laplaceovem prostoru, ko se Laplaceova spremenljivka s bliža 0. Tudi za izračun statične napake lahko uporabimo teorem o končni vrednosti:

$$e_{st} = \lim_{t \rightarrow \infty} (y(t) - u(t)) = \lim_{s \rightarrow 0} sE_{st}(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s(Y(s) - U(s))$$

Inženirski parametri številka 2



Čas zaostajanja

Skozi točko prevoja potegnemo tangento – presečišče s t osjo t_{za}

Čas izravnave

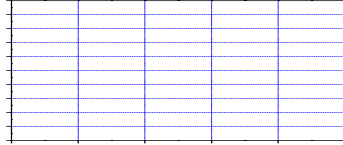
Od konca t_{za} do trenutka, ko tangenta seka os y_∞ t_{iz}

INTELIGENTNI TRANSPORTNI SISTEMI – PRIROČNIK ZA VAJE
(pripravil: Franc Dimc)

Naloga: Podano imamo prenosno funkcijo (odprtozančnega) sistema.

$$G(s) = \frac{0.25s + 4}{s^2 + 0.25s + 1}$$

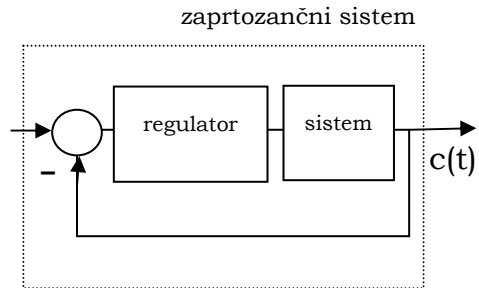
Določite vrednost izhodne veličine odprtozančnega sistema v ustaljenem stanju in statično napako, če je vhodna veličina enotina stopnica.



$y_{\infty} = \dots\dots\dots$

$e_{st} = \dots\dots\dots$

Izračunajte še prenosno funkcijo zaprtozančnega sistema, če uporabite kot regulator II člen z ojačanjem 1 in s polom v -1 .



Kakšen je odziv tega zaprtozančnega sistema? A opazite kakšno posebnost? Katero? (Namig: pomagajte si z ukazom roots oziroma rlocus.)

Poskusite še z regulatorjem II s polom v -5 .

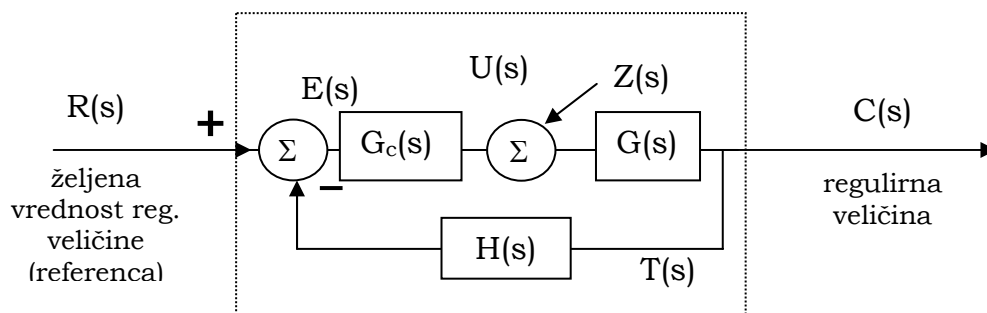
Določite vrednost odziva $c(t)$ v ustaljenem stanju na enotino stopnico.

$c_{\infty} = \dots\dots\dots$

Koliko znaša statična napaka zaprtozančnega sistema?

$e_{st} = \dots\dots\dots$

Načrtovanje regulatorja



G_c .. regulator in aktivator, G .. proces, H .. tipalo, merilni pretvornik in ojačevalnik

Regulator za sledilno delovanje načrtujemo z namenom, da regulirna veličina $c(t)$ čimbolj sledi željeni veličini $r(t)$. Načrtovanje regulatorja v sledilnem delovanju ne upošteva, da bo sistem deloval v prisotnosti motenj $z(t)$, oziroma, da se bodo motnje zelo počasi spreminjale.

Ideal sledilnega delovanja je dosežen, ko je **$c(t)$ enak spreminjanju $r(t)$** , kar bi z inženirskimi parametri številka 1 opisali kot:

- kratka časa naraščanja in vnihavanja – hitro sledenje željenemu signalu
- najmanjši možen prenihaj – posebno ob hitrih spremembah $r(t)$
- nič statične napake, obenem odpornost na motnje (robustnost) kar je obenem ideal regulacijskega delovanja.

Idealu se v praksi po navadi približamo s proporcionalno integrirno diferencirno (PID) regulacijo.

Zaprta zanka s PID regulatorjem

Odprtozančnemu sistemu poskušamo torej spremeniti lastnosti odziva tako, da v vezje vključimo regulator in vzpostavimo povratno vezavo. Z dodano povratno vezavo iz odprtozančnega nastane zaprtozančni sistem.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

Algoritem PID izvedemo z vzporedno kombinacijo (seštevanjem) proporcionalnega (P), integrirnega (I) in diferencirnega (D) člena. V časovnem prostoru je izhodna veličina $u(t)$ samega regulatorja tipa PID podana v odvisnosti od vhodne veličine razlike oziroma napake $e(t)$:

K_P , K_I in K_D so ojačenja členov. Določite prenosno funkcijo regulatorja $G_c(s)$!

PID regulacija je v procesni industriji najpogostejše uporabljani algoritem. Enostavna izvedba, dobre odzivne (dinamične) lastnosti in robustnost (zanesljivo delovanje kljub vplivu motenj) delajo PID regulacijo zelo priljubljeno v **sledilnem in regulacijskem** načinu delovanja.

Regulirna veličina $u(t)$ je očitno vsota členov, ki so sorazmerni trenutnim vrednostim: napake $e(t)$, integralu $e(t)$ in diferencialu $e(t)$.

P člen je osnovni člen. Omogoča hitro izreguliranje (zmanjševanje) $e(t)$, vendar ne odpravlja statične napake e_{st} . Zato dodamo **I člen**. Z I členom regulacijski sistem sicer postane nekoliko počasnejši in manj stabilen, vendar pa tak regulator uspešno odpravlja statično napako. **D člen** učinkuje v skladu s spremembo $e(t)$, deluje prediktivno in izvaja hitre popravke v regulacijski zanki, še preden $e(t)$ znatneje naraste.

V preglednici so razvrščene lastnosti odziva sistema na stopnico in vpliv povečevanja koeficientov PID regulatorja nanje.

Vidimo na primer, da če hočemo zmanjšati čas naraščanja, bomo povečali koeficient K_p . Krajši čas naraščanja bomo plačali s povečanjem prenihaja, česar si včasih ne želimo.

zaprtostančni odziv	čas naraščanja	prenihaj	v nihajni čas	statična napaka
K_p	upada	narašča	majhna sprememba	upada
K_i	upada	narašča	narašča	izgine
K_d	majhna sprememba	upada	upada	majhna sprememba

Za doseganje optimalnih odzivov določenega sistema moramo vrednosti koeficientov členov: proporcionalnega K_p , integrirnega K_i in diferencirnega K_d med seboj kombinirati in upoštevati **soodvisnost** vplivov.

Preden začnemo nastavljanje (uglaševanje) regulator vemo, če poznamo model ali ne. Primerno nastavitvev regulatorja iščemo na več načinov.

Če **ne poznamo modela**, je najbolje uporabiti nastavitvena pravila (specification parameters) po Zieglerju in Nicholsu, ki priporočata, da na realnem sistemu izvedemo:

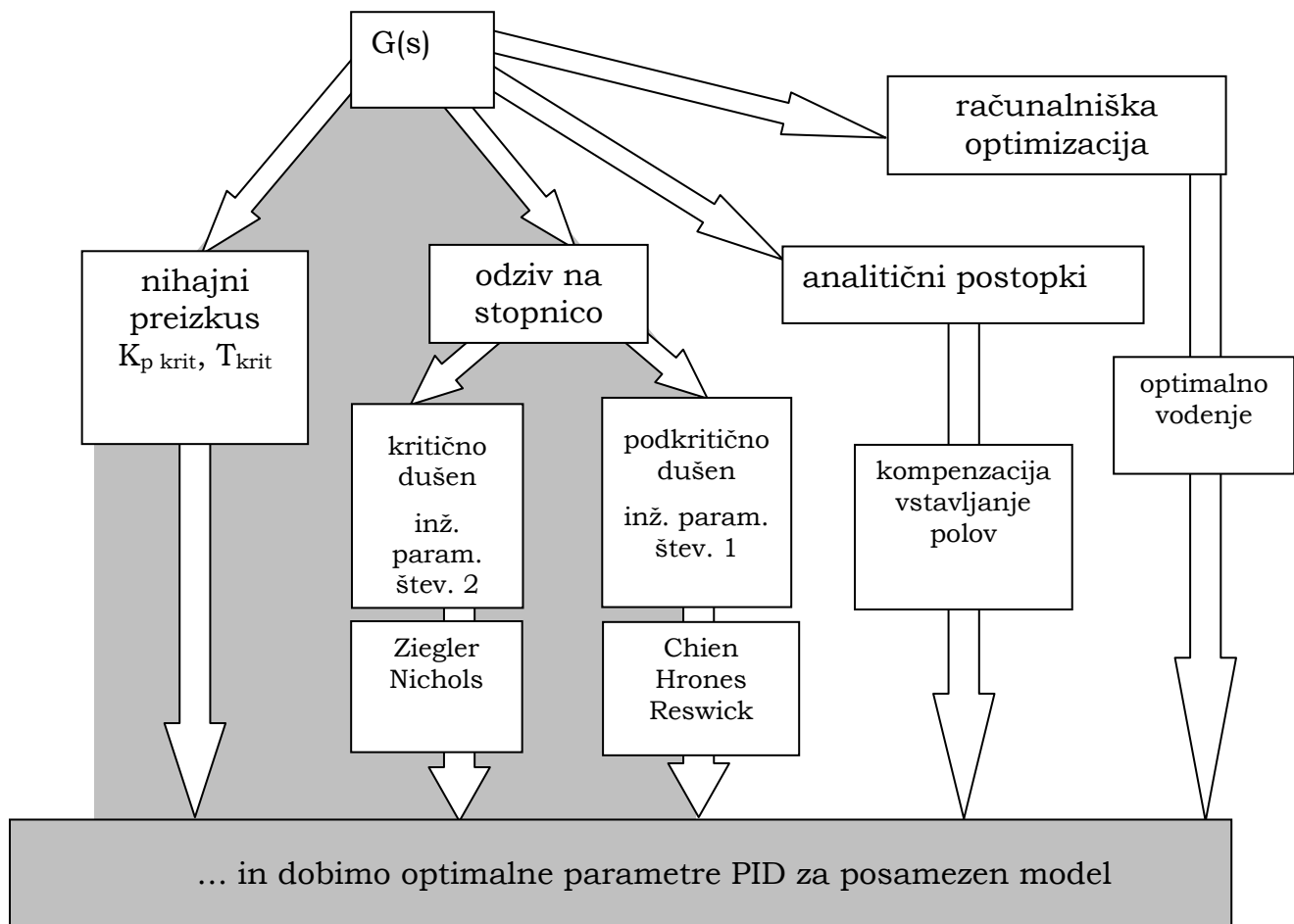
- odziv na stopnico (primerno za nadkritično dušene P2 procese),
- upad na četrtno (quarter decay ratio method)
- nihajni preizkus (one shot design).

Nastavitvena pravila za odziv na stopnico je razvila tudi skupina Chien-Hrones in Reswicka. Optimiziranje parametrov lahko z njimi prilagodimo željenemu načinu delovanja (sledilno/regulacijsko) in željeni obliki odziva (kritično ali podkritično dušen).

Če **model poznamo** (na primer $G(s)$), lahko izvedemo:

- ravno tako nastavitvena pravila na modelu ali nihajni preizkus,
- nekatere analitične postopke (zagotovitev ustrezne lege polov v zaprti zanki ali na kompenzaciji v frekvenčnem prostoru)
- optimiziranje z računalnikom.

Od znanega modela pridemo do parametrov PID po več poteh



Nastavitvena pravila po Chienu Hronesu in Reswicku (CHR)

Če uspemo določiti **inženirske parametre številka 1** odziva na stopnico, nam bo naslednja razpredelnica pomagala določiti optimalni regulator.

Najprej moramo vedeti ali bomo dali prednost sledenju sprememb željene vrednosti (sledilno delovanje) ali želimo odpravljati vpliv motenj (regulacijsko delovanje). Ko smo izbrali način regulacije imamo pred seboj dve vrsti odziva zaprtozančnega sistema: kritično dušen (aperiodičen) odziv ali podkritično dušen odziv (dušeno nihanje, kjer nastane prenihaj).

Regulator		Če želimo aperiodični odziv z najkrajšim T_{vni}		Če želimo najkrajši T_{vni} z 20% prenihajem	
vrsta	parameter	regulacijsko	sledilno	regulacijsko	sledilno
P	K_P	$0,3t_{vni}/Kt_m$	$0,3t_{vni}/Kt_m$	$0,7t_{vni}/Kt_m$	$0,7t_{vni}/Kt_m$
PI	K_P	$0,6t_{vni}/Kt_m$	$0,35t_{vni}/Kt_m$	$0,7t_{vni}/Kt_m$	$0,6t_{vni}/Kt_m$
	K_I	$4t_m$	$1,2t_{vni}$	$2,3t_m$	t_{vni}
PID	K_P	$0,95t_{vni}/Kt_m$	$0,6t_{vni}/Kt_m$	$1,2t_{vni}/Kt_m$	$0,95t_{vni}/Kt_m$
	K_I	$2,4t_m$	t_{vni}	$2t_m$	$1,35t_{vni}$
	K_D	$0,42t_m$	$0,5t_m$	$0,42t_m$	$0,47t_m$

T_{vni} čas vnihavanja zaprtozančnega sistema

t_{vni} čas vnihavanja odprtozančnega sistema - procesa

t_m mrtvi čas odprtozančnega sistema - procesa

K ojačenje procesa je količnik vrednosti v ustaljenem stanju izhodne in vhodne veličine. Če je vhodna veličina enotina stopnica, velja $K=y_\infty$

Nastavitvena pravila po Zieglerju in Nicholsu

V razpredelnici najdemo vrednosti parametrov regulatorjev, če odziv na stopnico kaže, da je odprtozančni sistem $G(s)$ nadkritično dušen in smo ga opisali z **inženirskimi parametri številka 2**.

Vrsta regulacije	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{t_{iz}}{K t_{za}}$	∞	0
PI	$\frac{0,9 t_{iz}}{K t_{za}}$	$3,3 t_{za}$	0
PID	$\frac{1,2 t_{iz}}{K t_{za}}$	$2 t_{za}$	$0,5 t_{za}$

t_{iz} čas izravnave

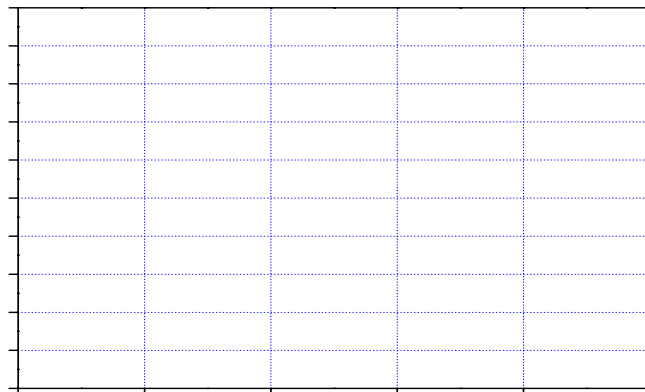
t_{za} čas zaostajanja

K ojačenje procesa je količnik vrednosti v ustaljenem stanju izhodne in vhodne veličine. Če je vhodna veličina enotina stopnica, velja $K=y_\infty$

Naloga: Naj odprtozančna prenosna funkcija sistema znaša:

$$G(s) = \frac{10}{s^3 + 80s^2 + 25s + 2}$$

Zapišite funkcijo $G(s)$ v MATLAB in narišite odziv sistema na enotino stopnico!



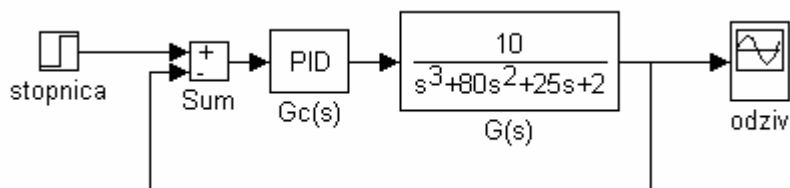
Iz odziva določite inženirske parametre odziva na stopnico!

→ **Naloga:** Z nastavitvenimi pravili določite za določene inženirske parametre optimalne parametre regulatorjev P , PI in PID za podano $G(s)$.

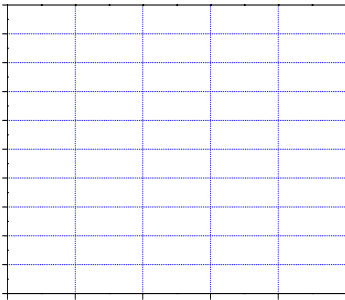
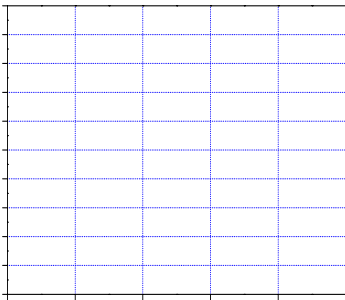
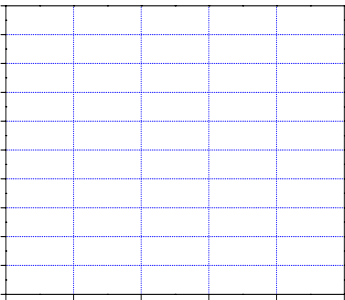
Vrsta regulacije	K_p	T_i	T_d
P		∞	0
PI			0
PID			

INTELIGENTNI TRANSPORTNI SISTEMI – PRIROČNIK ZA VAJE
(pripravil: Franc Dimc)

V Simulinku simulirajte odzive zaprtozančnih sistemov na enotino stopnico! Prenosno funkcijo dobite pod Simulink→Continuous→Transfer Fcn, PID regulator pa pod Simulink Extras→Additional Linear→PID Controller.



Skicirajte odzive na enotino stopnico!

P	PI	PID
$G_C = K_p$	$G_C = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$	$G_C = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$
		
Parametri odziva:	Parametri odziva:	Parametri odziva:

Beležke

Literatura

Strmčnik, S., ur., **Celostni pristop k računalniškemu vodenju procesov**, FE, Ljubljana, 1998.