

Postupci projektiranja PID regulatora



Jadranko Matuško
Šandor Ileš

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva

9. listopada 2023.

Postupci projektiranja PID regulatora

- Postupci zasnovani na modelu sustava
 - Model sustava opisuje vladanje sustava na promjenu upravljačkog signala i poremećaja.
 - Za projektiranje PID regulatora potreban je jednostavan model koji se temelji na relativno malom broju parametara sustava.
 - Za potrebe projektiranja regulatora, često je potrebno složeniji model nadomjestiti jednostavnijim modelom sustava.
 - Često korišteni modeli sustava:
 - Modeli sustava dobiveni snimanjem odziva sustava na skokovitu pobudu
 - Modeli sustava temeljeni na frekvencijskom odzivu
 - Tradicionalne metode projektiranja regulatora su manje prikladne ako model sustava nije poznat;
 - Tada se često pribjegava empirijskim metodama ugađanja parametara PID regulatora.

Postupci projektiranja PID regulatora

- Empirijske metode podešavanja regulatora;
- Ziegler-Nicholsov postupak (ZN);
- Projektiranje PID regulatora metodom postavljanja polova;
- Projektiranje PID regulatora zasnovano na integralnim kriterijima kakvoće;
- Projektiranje PID regulatora u frekvencijskom području primjenom Bodeovih dijagrama;

Podsjetnik: Pokazatelji kvalitete odziva zatvorenog kruga

- Vrijeme porasta: Vrijeme potrebno da se izlazna veličina promjeni od 10% do 90% vrijednosti u stacionarnom stanju.
- Nadvišenje: Normalizirana vršna vrijednost izlazne veličine u odnosu na stacionarno stanje.
- Vrijeme smirivanja: Vrijeme potrebno da sustav konvergira u stacionarno stanje (ili neku okolinu oko stacionarnog stanja, npr 2%).
- Greška u stacionarnom stanju: Razlika između referentne veličine i izlazne veličine u stacionarnom stanju.

Empirijske metode podešavanja parametara PID regulatora

- Utjecaj povećavanja parametara K_P , K_I , K_D :

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de}{dt} \quad (1)$$

Parametar	Vrijeme porasta	Nadvišenje	Vrijeme smirivanja	Pogreška u ustaljenom stanju
K_P	Smanjuje	Povećava	-	Smanjuje
K_I	Smanjuje	Povećava	Povećava	Eliminira
K_D	-	Smanjuje	Smanjuje	-

Kako koristiti tablicu?

Uobičajeni postupak podešavanja PID regulatora:

- Odrediti koju karakteristiku sustava je potrebno popraviti
- Povećati K_P , ako je potrebno smanjiti vrijeme porasta
- Povećati K_D , ako je potrebno smanjiti nadvišenje i vrijeme smirivanja
- Koristiti K_I za eliminaciju pogreške u stacionarnom stanju
- Kako odabrati početne parametre?

Ziegler - Nicholsovi postupci (ZN postupci)

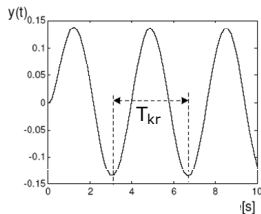
- Postupci određivanja parametara regulatora su temeljeni na empirijskim istraživanjima Zieglera i Nicholosa.
- **Postupak ruba stabilnosti** koristi se tamo gdje nije opasno dovesti sustav do ruba stabilnosti.
- **Postupak prijelazne funkcije** obavlja se u otvorenom krugu snimajući odziv na skokovitu pobudu. Posebno je prikladna za primjenu u industrijskim postrojenjima gdje, iz sigurnosnih razloga, nije dopušteno dovođenje sustava na rub stabilnosti.

Postupak ruba stabilnosti

POSTUPAK

- Regulatoru koji se nalazi u regulacijskom sustavu odabere se samo proporcionalno djelovanje (isključuje se integralna komponenta)
- Pojačanje regulatora se povećava dok se ne proizvedu trajne oscilacije konstantne amplitude. Pojačanje uz koje se dobiju trajne oscilacije označava se kritičnim (graničnim) pojačanjem regulatora K_{Rkr} ;
- Mjeri se iznos perioda oscilacija T_{kr}
- Prema dobivenim vrijednostima K_{Rkr} i T_{kr} računaju se parametri regulatora P, PI i PID tipa prema unaprijed definiranim relacijama.

Postupak ruba stabilnosti - 2

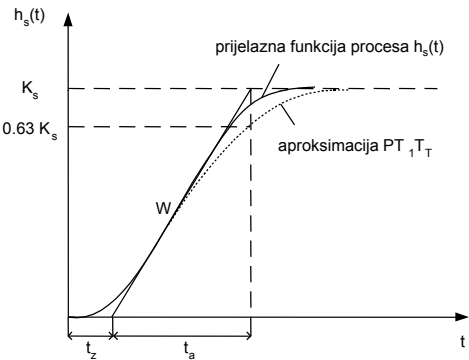


Tip regulatora	Vrijednosti parametara regulatora		
	K_R	T_I	T_D
P	$0.5K_{Rkr}$	-	-
PI	$0.4K_{Rkr}$	$0.8T_{kr}$	-
PID	$0.6K_{Rkr}$	$0.5T_{kr}$	$0.125T_{kr}$

Postupak prijelazne funkcije

$$G(s) = \frac{K_s}{1 + T_1 s} e^{-T_T s}$$

$$T_1 = t_a, \quad T_T = t_z$$



Tip regulatora	Vrijednosti parametara regulatora		
	K_R	T_I	T_D
P	$1/a$	-	-
PI	$0.9/a$	$3T_T$	-
PID	$1.2/a$	$2T_T$	$0.5T_T$

$$a = \frac{K_s t_z}{t_a} = \frac{K_s T_T}{T_1}$$

ZN postupci

- ZN postupci su iskustveni postupci koji su prije svega namijenjeni za rješavanje problema stabilizacije (ponekad se taj problem naziva i problemom regulacije), tj. problema održavanja radne točke i kompenzacije poremećaja.
- Iz tog je razloga karakteristika sustava upravljanja dobro vladanje po poremećaju i relativno loše vladanje po referentnoj vrijednosti.
- U praksi postoji određeni broj modifikacija ZN postupka kojim se prioritet stavlja na vladanje po referentnoj vrijednosti (Chien–Hrones–Reswick (CHR) postupak)

Chien-Hrones-Reswick (CHR) postupak

- Chien-Hrones-Reswick (CHR)** postupak predstavlja modifikaciju ZN postupaka koja omogućuje, osim podešenja regulatora prema poremećajnom vladanju, da se parametri PID regulatora podese i za praćenje reference.

Kompenzacija poremećaja:

Tip regulatora	Parametri regulatora		
	K_R	T_I	T_D
P	$0.3/a$	-	-
PI	$0.6/a$	$4 T_t$	-
PID	$0.95/a$	$2.4 T_t$	$0.286 T_t$

Praćenje reference:

Tip regulatora	Parametri regulatora		
	K_R	T_I	T_D
P	$0.3/a$	-	-
PI	$0.343/a$	$1.2 T_1$	-
PID	$0.6/a$	$1 T_1$	$0.5 T_t$

PID regulator s otežavanjem reference

- Ideja postupka je da se u regulator uvedu dodatni parametri b i c kojim se omogućuje oblikovanje referentnog signala:

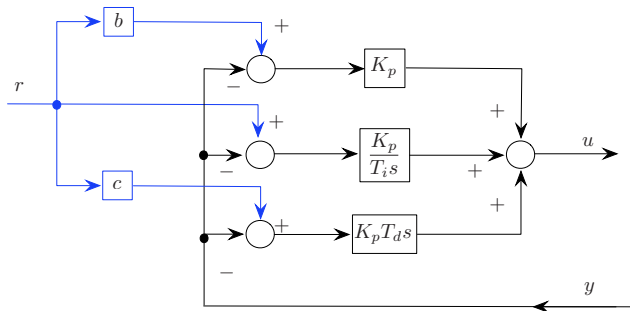
$$u(t) = K_R \left(e_p(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de_d(t)}{dt} \right) \quad (2)$$

gdje je $e_p(t) = b \cdot r - y$ i $e_d(t) = c \cdot r - y$, dok je $e(t) = r - y$ zbog osiguranja točnosti u ustaljenom stanju.

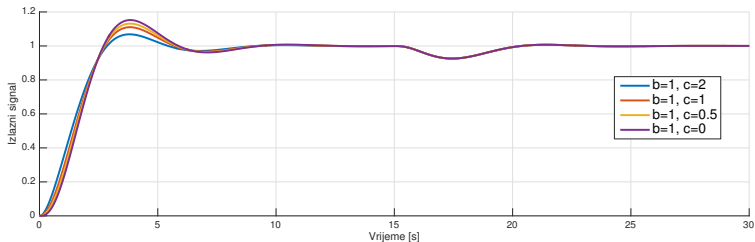
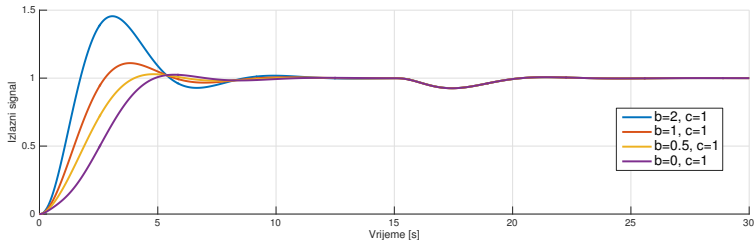
- Na taj se način omogućuje djelomično raspredanje vladanja sustava po poremećaju i po referentnoj vrijednosti.

PID regulator s otežavanjem reference

- Blokovska shema regulatora s otežanjem reference

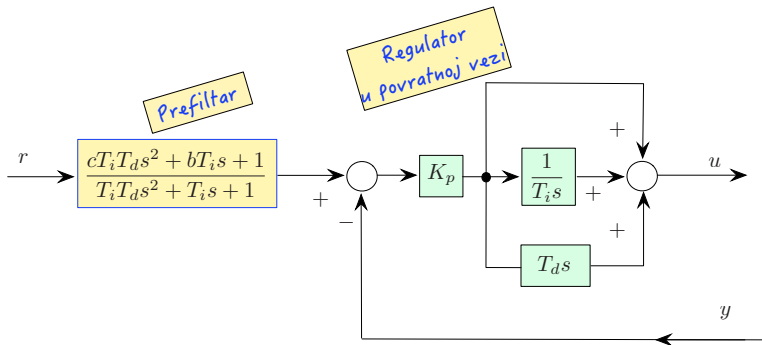


PID regulator s otežavanjem reference



PID regulator s otežavanjem reference

- Dvoparameterska struktura PID regulatora s otežavanjem reference:
 - Klasični PID regulator u povratnoj vezi
 - Otežavanje vrijednosti u referentnoj grani.



Projektiranje regulatora

- Postupak projektiranja regulatora sastoji se od dva koraka: (i) projektiranje dijela regulatora u povratnoj vezi i (ii) projektiranje unaprijednog dijela regulatora.
 - Dio regulatora u povratnoj vezi projektira se da se postigne **dobra kompenzacija poremećaja i osigura robusnost na modelske neodređenosti**, dok se dio regulatora u referentnoj grani projektira se da se postigne dobro **praćenje reference**.
- Za $b = 1$ i $c = 1$ nema nikakvog filtriranja reference te imamo klasični PID regulator.
 - Za $b = 0$ i $c = 0$ imamo filtriranje reference, što zapravo odgovara slučaju kada je proporcionalno i derivativno djelovanje izmješteno u povratnu vezu.
 - Za $b > 1$ i $c > 1$ predfilter u referentnoj grani djeluje kao lead kompenzator.

Metoda postavljanja polova - sustav s dominantnim realnim polom

- Model sustava:

$$G_p(s) = \frac{K_p}{1 + sT} \quad (3)$$

- PI regulator:

$$G_R(s) = K_R \frac{1 + T_I s}{T_I s} \quad (4)$$

- Polovi zatvorenog kruga:

$$s^2 + s \frac{1 + K_p K_R}{T} + \frac{K_p K}{T T_I} = 0 \quad (5)$$

Metoda postavljanja polova - sustav s dva realna pola - 1

- Model sustava:

$$G_p(s) = \frac{K_p}{(1 + sT_1)(1 + sT_2)} \quad (6)$$

- PID regulator:

$$G_R(s) = \frac{K_R(1 + T_i s + T_i T_d s^2)}{T_i s} \quad (7)$$

- Polovi zatvorenog kruga:

$$s^3 + s^2 \left(\frac{1}{T_i} + \frac{1}{T_2} + \frac{K_p K_R T_d}{T_1 T_2} \right) + s \left(\frac{1}{T_1 T_2} + \frac{K_p K_R}{T_1 T_2} \right) + \frac{K_p K_R}{T_1 T_2 T_i} = 0$$

Metoda postavljanja polova - sustav s dva realna pola - 2

- Karakteristični polinom modelske prijenosne funkcije:

$$(s + \alpha\omega_0) (s^2 + 2\zeta\omega_0 s + \omega_0^2) = 0 \quad (8)$$

- Parametri regulatora:

$$K_R = \frac{T_1 T_2 \omega_0^2 (1 + 2\alpha\zeta) - 1}{K_p} \quad (9)$$

$$T_i = \frac{T_1 T_2 \omega_0^2 (1 + 2\alpha\zeta) - 1}{T_1 T_2 \alpha \omega_0^3} \quad (10)$$

$$T_d = \frac{T_1 T_2 \omega_0 (\alpha + 2\zeta) - T_1 - T_2}{T_1 T_2 \omega_0^2 (1 + 2\alpha\zeta) - 1} \quad (11)$$