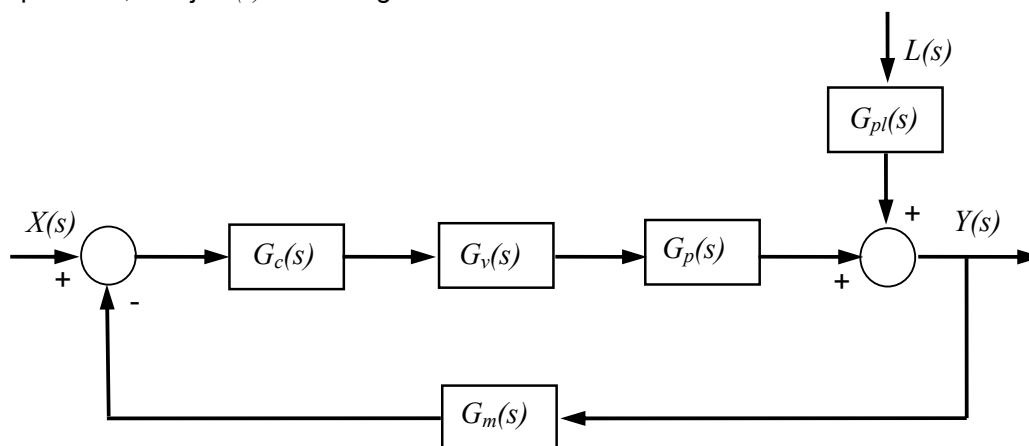


# OSNOVI AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA PROCESIMA

## Vežba br. 9: Odzivi zatvorenog regulacionog kola – SIMULINK

### I Blok dijagram zatvorenog regulacionog kola (ZRK)

Na Slici 1 prikazan je opšti blok dijagram zatvorenog regulacionog kola (ZRK) sa negativnom povratnom spregom. Veličina  $Y(s)$  je Laplasova transformacija izlazne promenjive,  $X(s)$  predstavlja Laplasovu transformaciju promene postavne tačke,  $L(s)$  predstavlja promenu poremećaja (opterećenja) a  $G_c(s)$ ,  $G_v(s)$ ,  $G_m(s)$ ,  $G_p(s)$ ,  $G_{pl}(s)$  su prenosne funkcije regulatora, izvršnog elementa, mernog elementa, procesa u odnosu na regulacionu promenjivu i procesa u odnosu na promenjivu opterećenja, respektivno, dok je  $Y(s)$  izlazni signal.



Slika 1. Blok dijagram ZRK

Prenosna funkcija otvorenog kola se često koristi u analizi sistema, a predstavlja proizvod prenosnih funkcija svih elemenata koji se nalaze u ZRK:

$$G(s) = G_c(s)G_v(s)G_p(s)G_m(s) \quad (1)$$

Prenosna funkcija ZRK u odnosu na postavnu tačku je:

$$W_X(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{G_c(s)G_v(s)G_p(s)}{1 + G_c(s)G_v(s)G_p(s)G_m(s)} = \frac{G_c(s)G_v(s)G_p(s)}{1 + G(s)} \quad (2)$$

a prenosna funkcija ZRK u odnosu na promenjivu poremećaja je:

$$W_L(s) = \frac{Y(s)}{L(s)} = \frac{G_{pl}(s)}{1 + G_c(s)G_v(s)G_p(s)G_m(s)} = \frac{G_{pl}(s)}{1 + G(s)} \quad (3)$$

Blok dijagram ZRK se može formirati kao model u SIMULINKu, a zatim se vremenski odzivi ZRK kreiraju pomoću simulacije.

Za primer je ponovo odabran proces koji predstavlja kaskadu tri izotermna reaktora sa idealnim mešanjem, čija je ukupna prenosna funkcija:

$$G_p(s) = \frac{1}{8(s+1)^3} \quad (4)$$

Dinamika mernog i izvršnog elementa se može zanemariti, tj.:  $G_m(s) = G_v(s) = 1$ .

U zadacima će se koristiti P, PI i PID regulatori, a vrednosti parametara će se menjati u cilju ispitivanja regulacionog kola. Pomoću Simulink-a će se kreirati vremenski odzivi ZRK na stepenastu promenu postavne tačke,  $X(s)=1/s$ , i stepenastu promenu opterećenja,  $L(s)=1/s$ .

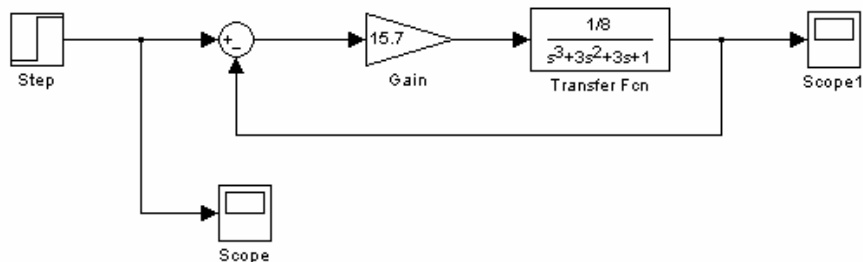
## II Odzivi ZRK na stepenastu promenu postavne tačke – P regulator

U slučaju P regulacije prenosna funkcija regulatora je:

$$G_c(s) = K_c \quad (5)$$

Najpre će se odrediti odziv zatvorenog regulacionog kola za pojačanje regulatora  $K_c=15.7$ .

U novom Model file-u se kreira blok dijagram zatvorenog regulacionog kola kao na Slici 1 sa procesom i regulatorom definisanim prenosnim funkcijama (1) i (2).



Slika 1. Blok dijagram ZRK sa P regulatorom kreiran u SIMULINKu

Elementi ZRK se nalaze u sledećim bibliotekama *Simulinka*:

- **Step** (stepenasta promena postavne tačke  $X(s)=1/s$ ) u *Sources*,
- **Sum** (sabiranje/oduzimanje za negativnu povratnu spregu) u *Math*,

- **Gain** (P regulator - pojačanje) u *Math*,
- **Transfer Fcn** (Prenosna funkcija procesa) u *Continuous*,
- **Scope** (grafički prikaz) u *Sinks*.

Parametre Modela treba podesiti na sledeći način:

- **Step:** *Step time: 0, Initial value: 0, Final value: 1* (za jediničnu step. promenu od vremena 0)
- **Sum:** *List of signs: +-* (za negativnu povratnu spregu),
- **Gain:** *Gain: 15.7* (za P regulator definisan prenosnom funkcijom (2)),
- **Transfer Fcn:** *Numerator: [1/8], Denominator: [1 3 3 1]* (za prenosnu funkciju procesa definisanu sa (1)) ,
- **Scope:** *Axes properties* (desni klik): *Y-min: 0, Y-max: 1* (za grafički prikaz vremenskog odziva od 0 do 1).
- **Simulation parameters:** *Solver/ Start time: 0.0, Stop time: 30.0* (za dinamičku simulaciju od vremena 0 do vremena 30 s)

Model se snima izborom naredbe: *File / Save as:* (na pr. student. mdl). Simulacija se pokreće pomoću naredbe *Simulation / Start*. Promena postavne tačke se registruje u prozoru *Scope*, dok se odziv ZRK prikazuje u prozoru *Scope 1* (pogledati Sliku 1).

! Prozore na ekranu treba rasporediti tako da se pri vrhu nalazi Model, u donjem levom delu ekrana *Scope*, a u donjem desnom *Scope 1*, radi preglednosti i praćenja simulacije.

? Modifikovati postojeći Model tako da se odredi vremenski odziv sistema sa P regulatorom, čije je pojačanje 32.

? Varirati pojačanje P regulatora sa vrednostima: 64 i 80.

? Kako se menja oblik vremenskog odziva i karakteristične veličine sa povećanjem pojačanja P regulatora?

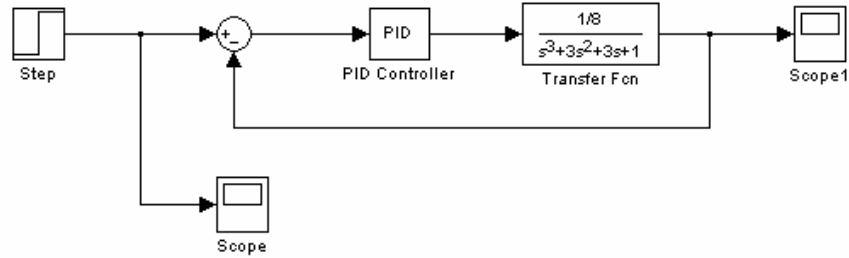
### III Odzivi ZRK na stepenastu promenu postavne tačke – PI regulator

Prenosna funkcija PI regulatora je:

$$G_c(s) = K_c \left( 1 + \frac{1}{\tau_i s} \right) \quad (6)$$

gde je  $\tau_i$  integralno vreme, a  $K_c$  pojačanje PI regulatora.

Model kreiran pod II treba izmeniti kao na Slici 2, kako bi se ispitao uticaj PI regulatora, definisanim sa prenosnom funkcijom (6) za vrednosti parametara  $K_c=12.42$  i  $\tau_i=1.78$ .



Slika 2. Blok dijagram ZRK sa PI / PID regulatorom kreiran u SIMULINKU

PI regulator se kreira pomoću elementa **PID Controller** koji se nalazi u biblioteci: *Simulink Extras / Additional Linear*.

Element **PID controller** se unosi u postojeći model na mesto P regulatora (*Gain*), a zatim se podešavaju parametri regulatora u skladu sa prenosnom funkcijom (3).

! Voditi računa o načinu definisanja pojačanja, integralnog vremena i diferencijalnog vremena u *Simulink* elementu *PID controller*.

? Modifikovati Model tako da se odredi vremenski odziv ZRK sa PI regulatorom čije je pojačanje isto kao u prethodnom primeru ( $K_c=12.42$ ), integralno vreme  $\tau_i=3.02$

? Kako se menja oblik vremenskog odziva i karakteristične veličine sa povećanjem integralnog vremena?

? Varirati vrednosti pojačanja PI regulatora : 29.1 , 41 , 44 , (integralno vreme isto kao u prethodnom primeru:  $\tau_i=3.02$ )

? Kako se menja oblik vremenskog odziva i karakteristične veličine sa povećanjem pojačanja PI regulatora?

? Koji je osnovni cilj uvođenja integralne akcije u regulaciju?

#### IV Odzivi ZRK na stepenastu promenu postavne tačke – PID regulator

Prenosna funkcija PID regulatora je:

$$G_c(s) = K_c \left( 1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right) \quad (7)$$

gde je  $\tau_d$  diferencijalno vreme,  $\tau_i$  integralno vreme, a  $K_c$  pojačanje PID regulatora. Modifikovati Model pod tačkom III tako da se odredi vremenski odziv sistema sa PID regulatorom za vrednosti parametara  $K_c=19.42$ ,  $\tau_i=1.81$  i  $\tau_d=0.39$ .

? Modifikovati model tako da vrednost diferencijalnog vremena bude 0.45 (pojačanje i integralno vreme isto kao prethodnom primeru:  $K_c=19.42$ ,  $\tau_i=2.36$ )

? Kako se menja oblik vremenskog odziva i karakteristične veličine sa povećanjem diferencijalnog vremena?

? Promeniti vrednost pojačanja PID regulatora na 37.65, a vrednost integralnog vremena na 1.81 (diferencijalno vreme isto kao u prethodnom primeru:  $\tau_d=0.45$ ). Komentarisati dobijeni odziv ZRK.

? Varirati vrednosti pojačanja PID regulatora: 74.2, 113.

? Koji je osnovni cilj uvođenja diferencijalne akcije u regulaciju?

### **V Odzivi ZRK na stepenastu promenu opterećenja – P regulator**

Prenosna funkcija procesa u odnosu na promenu opterećenja (poremećaja) je:

$$G_{pl}(s) = \frac{2(s+3)}{(s+1)^3} \quad (8)$$

dok je prenosna funkcija procesa u odnosu na regulacionu promenjivu definisana u prethodnim primerima (PF (4)). Dinamika mernog i izvršnog elementa i u ovom primeru se može zanemariti.

Modifikovati Simulink model za ZRK definisano u prethodnim primerima kako bi se odredio odziv kola na jediničnu stepenastu promenu opterećenja  $L(s)=1/s$ . Za regulaciju upotrebiti P regulator sa vrednošću pojačanja  $K_c=16$ .

? Modifikovati postojeći Model tako da se odredi vremenski odziv sistema sa P regulatorom, čije je pojačanje 40.

? Varirati pojačanje P regulatora sa vrednostima: 64 i 90.

? Kako se menja oblik vremenskog odziva ZRK na stepenastu promenu opterećenja pri promeni pojačanja P regulatora?

? Kakva je razlika u ovim odzivima ZRK u odnosu na odzive pri promeni postavne tačke? Koja je vrednost postavne tačke u ovim primerima (pod V)?

### **VI Odzivi ZRK na stepenastu promenu opterećenja – PID regulator**

Potrebno je ispitati ZRK sa PID regulatorom na jediničnu stepenastu promenu opterećenja. Prenosna funkcija procesa u odnosu na promenu opterećenja (poremećaja) je definisana pod V (PF (8)), a proces predstavlja kaskadu tri izotermna reaktora (PF(4)).

? U ZRK iz prethodnog primera uneti PID regulator sa sledećim karakteristikama:  $K_c=23.5$ ,  $\tau_i=2$  i  $\tau_d=0.42$ .

? Promeniti vrednost pojačanja PID regulatora na 78, a vrednost integralnog i diferencijalnog vremena zadržati kao u prethodnom primeru. Komentarisati dobijeni odziv ZRK.

? Povećati vrednost integralnog vremena na  $\tau_i=4$ , a diferencijalnog vremena na  $\tau_d=0.7$ . Komentarisati dobijeni odziv ZRK.

? Koje su prednosti PID regulatora u odnosu na P i PI regulatore?

###

1. a) Pomoću *Simulink* modela kreirati grafik vremenskog odziva zatvorenog regulacionog kola na jediničnu stepenastu promenu postavne tačke. Prenosne funkcije elemenata regulacionog kola su :

P regulator :  $G_c(s) = 1$  ;

izvršni element :  $G_v(s) = \frac{1}{0.5s + 1}$  ;

proces :  $G_p(s) = \frac{2(0.25s + 1)}{(0.5s + 1)(3s + 1)(s + 1)}$  ;

merni element :  $G_m(s) = \frac{1}{s + 1}$  .

b) Varirati vrednosti pojačanja P regulatora: 1.6 , 2.4 , 3.