Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo
Tržaška 25
61000 Ljubljana

# Simulacije – vaja 2
# Kaskadna regulacija

Leon Kos, 3. letnik Avtomatika – Robotika

22. februar 1996

## 1 Naloga

Hidravlični proces, ki se sestoji iz treh nivojskih posod, modeliramo kot kaskado procesa prvega drugega reda

$$G_p(s) = \frac{H_3}{\Phi_v} = \frac{0.5}{5s+1} \times \frac{2}{(10s+1)(10s+1)} \tag{1}$$

$H_3$ je nivo v spodnji nivojski posodi, $\Phi_v$ pa je pretok v zgornjo nivojsko posodo, preko katere reguliramo nivo. S pomočjo optimizacije načrtajte PID regulator

$$G_r(s) = \frac{\Phi_v}{E} = K_p + \frac{K_i}{s} + \frac{K_d s}{sT' + 1} \tag{2}$$

kjer je E pogrešek regulacijskega sistema, ki je vzbujan s stopničasto spremebo reference ($H_{3ref} = 1$). Pri tem uporabite cenilko

$$ITAE = \int_0^{50} t|e(t)|dt \tag{3}$$

Za isti proces projektirajte tudi kaskadno regulacijo. Pomožni regulator naj bo P regulator z ojačanjem, ki bo zagotovilo, da je časovna konstanta pomožne regulacijske zanke $2\times$ manjša od časovne konstante procesa $G_p(s) = 0.5/(5s+1)$, katerega izhod je pomožna regulirana veličina. Glavni regulator pa optimirajte na enak način kot prej.

1. Določite parametre regulatorja
2. Določite cenilki za enozančno in kaskadno regulacijo
3. Narišite karakteristične signale pri enozančni in kaskadni regulaciji
4. Narišite potek nivoja pri stopničasti motnji na izhodu procesa $G_{p2}$ (znotraj pomožne zanke). Pri tem primerjajte potek s potekom pri enozanČni regulaciji.

# 2 Enozančna reglacija

Slika 1: Enozančna regulacija

Proces (**??**) je potrebno prirediti obliki jezika Simcos.

**Prvi proces**

$$Y_1(s) = \frac{z}{u} = \frac{0.5}{5s+1} \tag{4}$$

Prooces (**??**) razstavimo in izrazimo spremenljivko $z$.

$$5sz + z - 0.5u = 0$$

$$z = \frac{1}{s}\left(-\frac{1}{5}z + \frac{1}{10}u\right) \tag{5}$$

Slika 2: Prvi proces

**Drugi proces**

$$Y_2(s) = \frac{z}{u} = \frac{\Phi_3}{\Phi_1} = \frac{2}{(10s+1)(10s+1)} \tag{6}$$

$$100s^2z + 20sz + z - 2u = 0$$

$$\begin{aligned} z &= -\frac{1}{s}\frac{20}{100}z - \frac{1}{s^2}\frac{1}{100}z\frac{1}{s^2}\frac{2}{100}u \\ &= \frac{1}{s}\left[-\frac{20}{100}z + \frac{1}{s}\left[-\frac{1}{100}z\frac{1}{100}z + \frac{2}{100}u\right]\right] \end{aligned} \tag{7}$$

Slika 3: Drugi Proces

**Diferencialni del ragulatorja**

$$Y_d(s) = \frac{K_d s}{T's+1} \tag{8}$$

$$T'sz + z - K_d su = 0$$

$$z = -\frac{z}{T's} + \frac{K_d}{T'}u \tag{9}$$

Dvižni čas regulatorja $T'$ se določi z izrazom $T' = 0.1..0.3T_d$

**Simcos program**

```
program vaja2

" glavni regulator
CONSTANT Kp=4.0 , Ki=0.18, Kd=33.0
Tt=0.1*Kd/Kp
r=STEP(t,0)

e = r - h3
```

Slika 4: Diferencialni del regulatorja

```
Es=INTEG(e,0)
Udp=INTEG(Ud,0)
Ud=e*Kd/Tt - Udp/Tt
U=Kp*e+Ki*Es+Ud

" def.  drugega procesa
h3 = integ(h3d, 0)
h3d = fim - 20.0/100.0*h3
fim = integ(fimd, 0)
fimd = fi1*2.0/100.0 - 1.0/100.0*h3
" prvi proces
fi1 = integ(fi1d, 0)
fi1d = -1.0/5.*fi1 + 1.0/10.0*u

" priprava za opt.
krit=INTEG(t*ABS(e),0)

" sim.
constant Tkon=50
cinterval ci=0.1
termt (t.gt.Tkon)
prepar r, h3
output 10, r, h3
end
```

**Optimizacija** Po izvedbi optimizacije smo dobili skledeče rezultate za regulator:

- ITAE = KRIT = 48.6510
- KD = 30.5990
- KI = 0.171825

- `KP = 3.887669`

# 3 Kaskadna regulacija

Slika 5: Kaskadna regulacija

Za pomožni regulator je potrebno določiti poprocionalno ojačanje tako, da bo časovna konstanta 2× manjša od časovne konstante prvega procesa $G_p(s) = 0.5/(5s+1) \Rightarrow \tau = 5$. Prenosna funkcija zaprtozanČnega sistema je

$$\frac{\frac{K_p 0.5}{5s+1}}{1+\frac{0.5K_p}{5s+1}} = \frac{K_p 0.5}{5s+1+0.5K_p} = \frac{5}{1+0.5K_p} \quad \Rightarrow \quad K_p = 2$$

### Simcos program

```
program vaja2b

" glavni regulator
CONSTANT Kp=4.96 , Ki=0.24, Kd=28.4
Tt=0.1*Kd/Kp
r=STEP(t,0)

e = r - h3
Es=INTEG(e,0)
Udp=INTEG(Ud,0)
Ud=e*Kd/Tt - Udp/Tt
U=Kp*e+Ki*Es+Ud

" def.  drugega procesa
```

```
h3 = integ(h3d, 0)
h3d = fim - 20.0/100.0*h3
fim = integ(fimd, 0)
fimd = fi1*2.0/100.0 - 1.0/100.0*h3

" prvi proces
constant kp1 = 2.0
fi1 = integ(fi1d, 0)
fi1d = -1.0/5.*fi1 + 1.0/10.0*e2*kp1
e2 = u - fi1

"priprava za opt.
krit=INTEG(t*ABS(e),0)

" sim.
constant Tkon=50
cinterval ci=0.1
termt (t.gt.Tkon)
prepar r, h3
output 10, r, h3
end
```

**Rezultati kaskadne regulacija** Za kaskadno regulacijo smo podobno oprimirali glavni regulatorin dobili sledeče rezultate:

- `ITAE = KRIT = 23.2115`
- `KD = 28.414`
- `KI = 0.239`
- `KP = 4.965`

Iz razultatov je razvidno, da je kaskadna regulacija učinkovitejša, kar kaže cenilka ITAE in odzivi na sliki **??**

# 4 Motnja v sistemu

## 4.1 Enozančna regulacija

V sistem takoj po prvem procesu vpeljemo stopničasto motnjo poženemo simulacijo.

```
program vaja2
```

Slika 6: Primerjava enozančne in kaskadne regulacije

```
" Enozančna regulacija z motnjo
"glavni regulator
CONSTANT Kp=3.89 , Ki=0.172, Kd=30.6
Tt=0.1*Kd/Kp
r = 0.0
z = step(t, 3.0)

e = r - h3
Es=INTEG(e,0)
Udp=INTEG(Ud,0)
Ud=e*Kd/Tt - Udp/Tt
U=Kp*e+Ki*Es+Ud

" def.  drugega procesa
h3 = integ(h3d, 0)
h3d = fim - 20.0/100.0*h3
fim = integ(fimd, 0)
fimd = fi1*2.0/100.0 - 1.0/100.0*h3
" prvi proces
fi1 = fi1i + z
fi1i = integ(fi1d, 0)
fi1d = -1.0/5.*fi1i + 1.0/10.0*u
```

```
" priprava za opt.
krit=INTEG(t*ABS(e),0)

" sim.
constant Tkon=50
cinterval ci=0.1
termt (t.gt.Tkon)
prepar z, h3
output 10, z, h3
end
```

## 4.2 Kaskadna regulacija

```
program vaja2c
" Kaskadna regulacija z motnjo

" glavni regulator
CONSTANT Kp=4.965 , Ki=0.239, Kd=28.414
Tt=0.1*Kd/Kp
" referenca
r = 0

" motnja
z = step(t, 3.0)

e = r - h3
Es=INTEG(e,0)
Udp=INTEG(Ud,0)
Ud=e*Kd/Tt - Udp/Tt
U=Kp*e+Ki*Es+Ud

" def.  drugega procesa
h3 = integ(h3d, 0)
h3d = fim - 20.0/100.0*h3
fim = integ(fimd, 0)
fimd = fi1*2.0/100.0 - 1.0/100.0*h3

" prvi proces
constant kp1 = 2.0
fi1 = z + fi1i
fi1i = integ(fi1d, 0)
fi1d = -1.0/5.*fi1 + 1.0/10.0*e2*kp1
```

```
e2 = u - fi1

" priprava za opt.
krit=INTEG(t*ABS(e),0)

" sim.
constant Tkon=50
cinterval ci=0.1
termt (t.gt.Tkon)
prepar z, h3
output 10, z, h3
end
```

## 4.3 Primerjava kaskadne in enozančne regulacije

Slika 7: Potek nivoja $H_3$ na izhodu procesa Gp(s) pri $H_{ref} = 0$

Iz odzivov je razvidno, da kaskadna regulacija boljša v vsakem primeru.

Slika 8: Odziv na stopničasto motnjo