Szabályozástechnika
Házi feladat

2007/2008 1. félév

Muráti Ákos
JNC2FC

39-es kód

<u>E-mail:</u> muratiakos@gmail.com

<u>Gyakorlatvezető:</u> Bogárdi-Mészöly Ágnes
<u>Kurzus:</u> g16, csütörtök, R3U

Budapest, 2007. december 3.

Feladatsorom paraméterei

KÓD 39

$A_1 = 0.1; \quad A_2 = 1; \quad T_1 = 3; \quad T_2 = 0.5; \quad T_s = 0.2$

B-típusú függvények:

$$P_1(s) = \frac{A_1}{s(1+sT_1)} = \frac{0.1}{s(1+3s)}$$

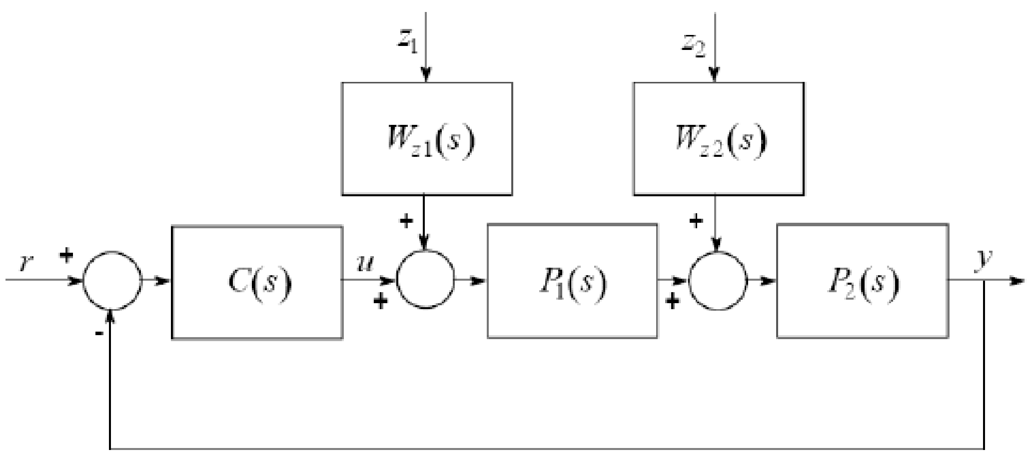
$$P_2(s) = \frac{A_2}{1+sT_2} = \frac{1}{1+0.5s}$$

$$W_{z1}(s) = 1$$

$$W_{z2}(s) = \frac{5}{1+10s}$$

1. C(s) = A arányos szabályozó mellett A függvényében: (1 pont)

Adott az alábbi szabályozási kör:



a. Adja meg a szabályozott szakasz u módosított jellemzőjének a z1 illetve z2 zavaró jellemzőre vonatkozó eredő átviteli függvényeit!

Adja meg az y szabályozott jellemzőnek az r alapjelre valamint a z1 illetve z2 zavaró jellemzőkre vonatkozó eredő átviteli függvényeit zérus-pólus alakban.

(Holtidő esetén nem kell a zérus-pólus alakot meghatározni.)

Az eredményeket adja meg analitikus formában és számszerűen is!

A szabályozási kör *U(s)* illetve *Y(s)*-re felírható egyenletei:

$$U(s) = R(s) * \frac{C(s)}{1 + C(s)P_1(s)P_s(s)} - Z_1(s) * \frac{W_{z1}(s)C(s)P_1(s)P_s(s)}{1 + C(s)P_1(s)P_s(s)} - Z_2(s) * \frac{W_{z2}(s)C(s)P_s(s)}{1 + C(s)P_1(s)P_s(s)}$$

$$Y(s) = R(s) * \frac{C(s)P_1(s)P_s(s)}{1 + C(s)P_1(s)P_s(s)} + Z_1(s) * \frac{W_{z1}(s)P_1(s)P_s(s)}{1 + C(s)P_1(s)P_s(s)} + Z_2(s) * \frac{W_{z2}(s)P_s(s)}{1 + C(s)P_1(s)P_s(s)}$$

Így az eredő átviteli függvények:

$$U_{z1}(s) = \frac{-W_{z1}(s) * P_1(s) * P_2(s) * C(s)}{1 + C(s) * P_1(s) * P_2(s)} = \frac{-0.1A}{s(1+3s)(1+0.5s) + 0.1A} = \frac{-0.1A}{1.5s^3 + 3.5s^2 + s + 0.1A}$$

$$U_{z2}(s) = \frac{-W_{z2}(s) * P_2(s) * C(s)}{1 + C(s) * P_1(s) * P_2(s)} = \frac{-5A(1+3s)s}{(1+10s)(s(1+3s)(1+0.5s) + 0.1A)} =$$

$$\frac{-5As - 15As^2}{15s^4 + 36.5s^3 + 13.5s^2 + (1+A)s + 0.1A}$$

$$Y_s(s) = \frac{C(s) * P_1(s) * P_2(s)}{1 + C(s) * P_1(s) * P_2(s)} = \frac{0.1A}{s(1+3s)(1+0.5s) + 0.1A} = \frac{0.1A}{1.5s^3 + 3.5s^2 + s + 0.1A}$$

$$Y_{z1}(s) = \frac{W_{z1}(s) * P_1(s) * P_2(s)}{1 + C(s) * P_1(s) * P_2(s)} = \frac{0.1}{s(1+3s)(1+0.5s) + 0.1A} = \frac{0.1}{1.5s^3 + 3.5s^2 + s + 0.1A}$$

$$Y_{z2}(s) = \frac{W_{z2}(s) * P_2(s)}{1 + C(s) * P_1(s) * P_2(s)} = \frac{5(1+3s)s}{(1+10s)(s(1+3s)(1+0.5s) + 0.1A)} =$$

$$\frac{5s + 15s^2}{15s^4 + 36.5s^3 + 13.5s^2 + (1+A)s + 0.1A}$$

b. Adja meg a felnyitott kör L(s) átviteli függvényét zérus-pólus alakban!

A felnyitott kör *L(s)* átviteli függvénye:

*L(s) = C(s)*P1(s)*P2(s) =* $A\frac{0.1}{s(1+3s)} . \frac{1}{1+0.5s} = \frac{0.1A}{s(1+3s)(1+0.5s)}$

c. Határozza meg a K_{kr} kritikus körerősítést a megadott adatokkal!

A zárt kör karakterisztikus egyenlete így:

$$1 + L(s) = 0$$

$$1+\frac{0.1A}{s(1+3s)(1+0.5s)}=0$$

$$1.5s^3 + 3.5s^2 + s + 0.1A = 0$$

A kritikus körerősítés számításához ROUTH sémát alkalmaztam:

1.5	1
3.5	$0.1A$
$\frac{3.5-0.15A}{3.5}$	0
$0.1A$	

Ez alapján a stabilitás feltétele, hogy az első oszlop minden eleme nagyobb mint 0, így

$$\frac{3.5-0.15A}{3.5} > 0 \text{ és } 0.1A > 0,$$

$$23+\frac{1}{3} > A > 0$$

Így a kritikus körerősítés: $K_{kr} = A = 23+\frac{1}{3}$

<u>2. Tervezzen olyan soros PID jellegű szabályozót, amely a zárt szabályozási rendszerre vonatkozóan kielégíti az alábbi tervezési specifikációkat: (2 pont)</u>

- *r =1(t)* esetén a szabályozott jellemző végértéke $y\infty = 1$,
- az *u(t)* beavatkozó jel maximális értéke $u_{max} < 10/(A1*A2)$, tehát $\mathbf{u_{max} < 100}$ legyen,
- a rendszer átmeneti függvényének túllövése 5-10% között legyen.

a. Adja meg a szabályozó átviteli függvényét zérus-pólus alakban és a rendszer fázistöbbletét!

A szabályozni kíván folyamatom:

$$P = P_1(s) * P_2(s) = \frac{0.1}{s(1+3s)} * \frac{1}{1+0.5s} = \frac{0.1}{s(1+3s)(1+0.5s)}$$

Tervezendő PID szabályozó képlete:

$$C_{PID}(s) = k * \frac{(1+sT_i)(1+sT_d)}{s(1+sT_1)}$$

Ahol $\boldsymbol{T_i=3}$ az első legnagyobb időállandó, $\boldsymbol{T_d=0.5}$ második legnagyobb időállandó és a pólusátviteli tényezőt $\boldsymbol{n_p=10}$ –nek választottam, a lehető leggyorsabb beállás érdekében, így $\boldsymbol{T_1=T_d/n_p = 0.05}$-t kaptam és a szokásos módon kezdetben $\boldsymbol{k=1}$.

Ám mivel a szabályozandó folyamatom tartalmaz már egy integráló tagot, a fázistartalék beállításakor végtelent kapnánk *k*-ra, ezért elegendő, ha csak egy C_{PD} szabályozót szerkesztek hozzá (tehát $\boldsymbol{C_{PI}=1}$ –nek veszem), így az új szabályozóm átviteli függvénye:

$$C_{PID}(s) = 1 * C_{PD}(s) = k * \frac{(1+sT_d)}{(1+sT_1)} = k * \frac{(1+0.5s)}{(1+0.05s)}$$

A fázistartalék megfelelő beállítása után $\boldsymbol{k=2.1561}$ lesz így

$$C_{PID}(s) = \frac{1.078s + 2.156}{0.05s + 1}$$

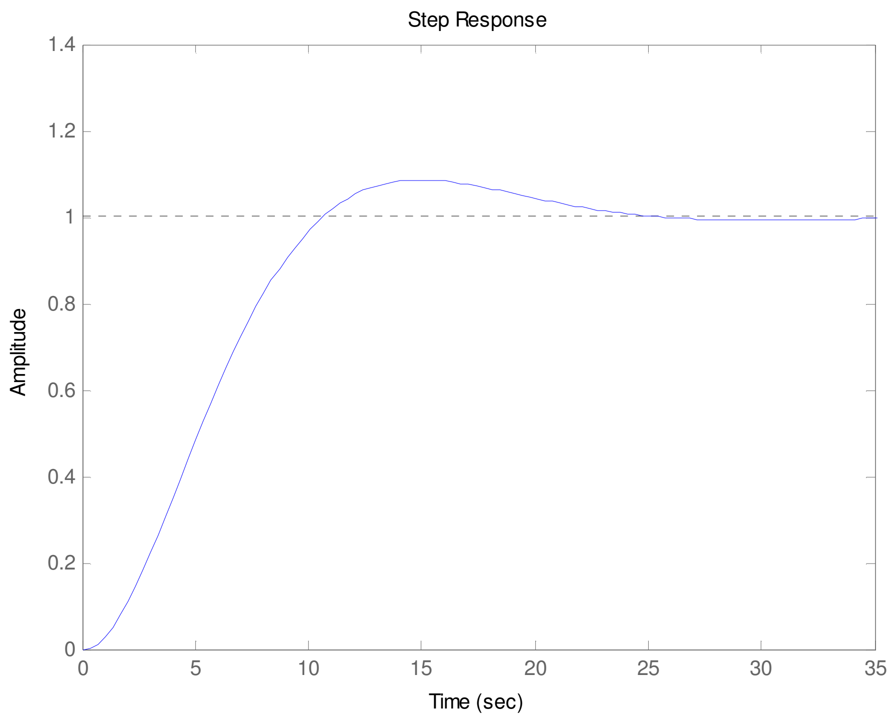
A rendszer fázistöbblete:

$$p_m = 60.0605$$

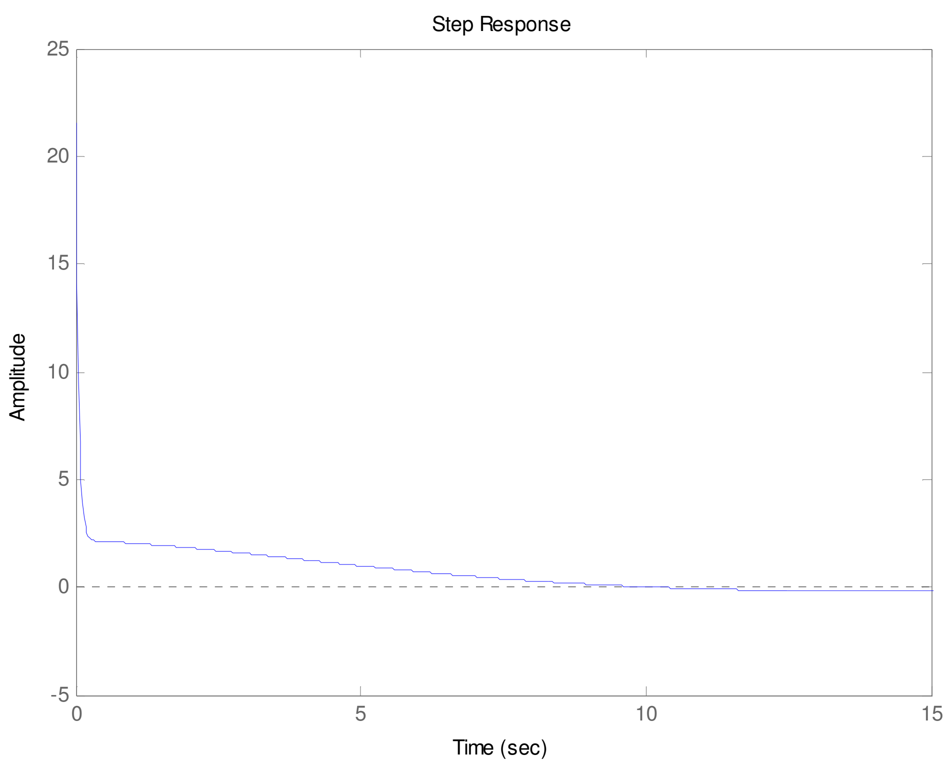
b. Ábrázolja a zárt rendszer kimenőjelét és beavatkozó jelét egységugrás alapjel esetén! Határozza meg a kimenőjel túllövését, beállási idejét és az u beavatkozó jel maximumát! A szimulációt végezze el Simulink-kel is.

A százalékos túllövés $\boldsymbol{y_t= 8.6304\%}$, ami 5-10% között van
Beállási idő: $\boldsymbol{t_b= 31.9430}$
$\boldsymbol{u_{max}= 21.5614}$, ami szintén teljesíti az $u_{max} < 100$ –as kritériumot

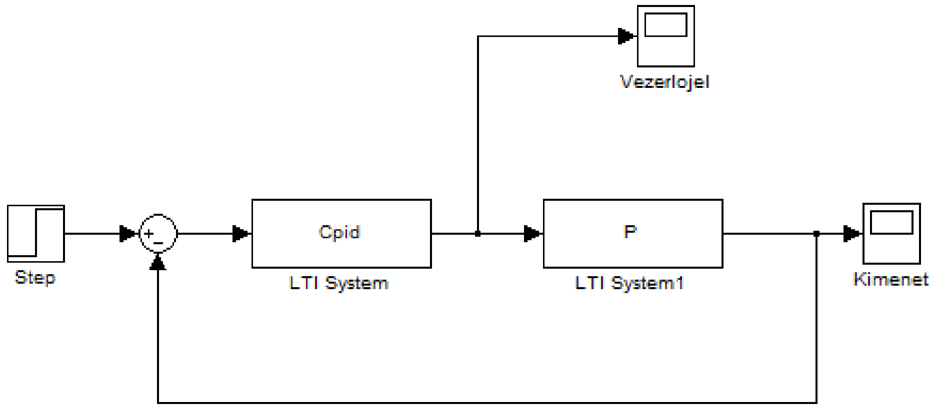
Zárt rendszer kimenő jele:



Beavatkozó jel:

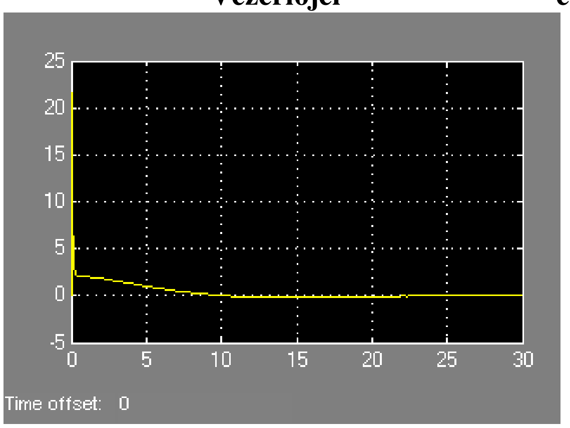


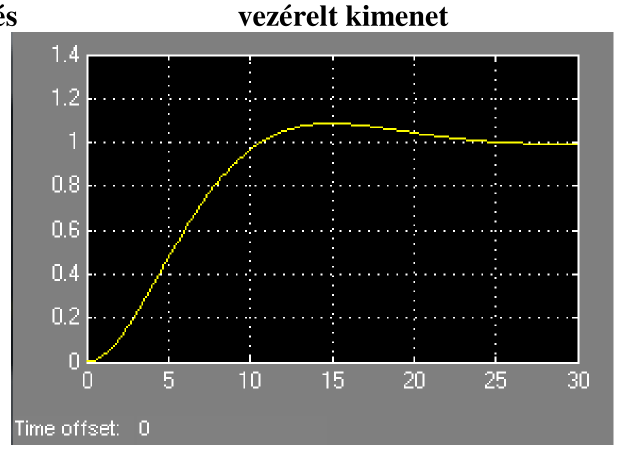
Simulink blokkséma (feladat2_simu.mdl):



A lefuttatott szimuláció is a fentiekben elvárt eredményeket hozta:

Vezérlőjel **és** **vezérelt kimenet**





A feladatot megvalósító matlab kód: (feladat2.m)

```
% Szabalyozastechnika
% Hazi Feladat
% Murati Akos - JNC2FC
% 39-es kod
% 2. feladat

%--- 2.a ---
clear();
s=tf('s');

%Feladatom P1 es P2-je
P1=0.1/(s*(1+3*s));
P2=1/(1+0.5*s);
P=P1*P2; %Szabalyozando P
disp 'Szabalyozando folyamatom: P=',P=zpk(P)
```

```
Ti=3; %az első legnagyobb időállandó
Td=0.5; %második legnagyobb időállandó
np=10; %pólusáthelyezési arány
T1=Td/np;

%Szabályozók
kpid=1;
Cpi=1; %CPI=1, mivel P-m mar tartalmaz egy integralo tagot.
%Különben: (1+Ti*s)/s alkalmazando
Cpd=(1+Td*s)/(1+T1*s);
disp 'Szabalyozom kpid=1 erosites eseten: Cpid',Cpid=kpid*Cpi*Cpd

%CPID szabályozó fázistartalék beállítása
[mag,phase,w]=bode(Cpid*P);
disp 'Uj erosites:',kpid=margin(mag,phase-60,w)
disp 'Szabalyozom az uj kp eseten: Cpid',Cpid=kpid*Cpid

%Nyilt kor jellemzoi
[gpid_m,ppid_m,wpid_g,wpid_c]=margin(Cpid*P);
disp 'Fazistartalek:',ppid_m

%--- 2.b ---
disp 'Beallasi ido:',ypidb=6/wpid_c

% Y/R eredő átviteli függvény
Tpid=feedback(Cpid*P,1);
figure(1),step(Tpid,'b')

% U/R eredő átviteli függvény
Upid=feedback(Cpid,P);
figure(2),step(Upid,'b')

t=0:0.05:30;
ypid=step(Tpid,t);

%állandósult értékek számítása
yspid=dcgain(Tpid);

% százalékos túllövés
disp 'Százalékos túllövés (5-10%):',ytpid=(max(ypid)-yspid)/yspid*100

%Beavatkozó jelem maximuma
upid=step(Upid,t);
disp 'Umax (<100):',upidm=max(upid)
```

3. Folytonos szabályozás állapot-visszacsatolással

3.1 Adja meg a szakasz állapotmátrixait. (1 pont)

A folytonos szakasz átviteli függvénye a feladat alapján:

$$P = P_1(s) * P_2(s) = \frac{0.1}{s(1+3s)} * \frac{1}{1+0.5s} = \frac{0.1}{s(1+3s)(1+0.5s)} = \frac{0.1}{1.5s^3 + 3.5s^2 + s}$$

Az állapotmátrixok kinyeréséhez használt matlab kód (feladat3.m):

```
%--- 3.1 ---
clear()
num=0.1;
den=[1.5 3.5 1 0];

[A B C D]=tf2ss(num,den)
```

Az így kapott mátrixok:

$$A = \begin{vmatrix} -2.3333 & -0.6667 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}; \quad B = \begin{vmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}; \quad C = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0.0667 \end{vmatrix}; \quad D = 0$$

3.2 Tervezzen állapotvisszacsatolásos szabályozót.

A visszacsatolt rendszer legyen leírható egy másodfokú lengő taggal, amelynek csillapítási tényezője 0.7 és időállandója a szakasz legkisebb időállandójának negyede legyen.

Harmadfokú szakasz esetén a visszacsatolt rendszer harmadik előírt időállandója egyezzen meg a lengő tag időállandójával.

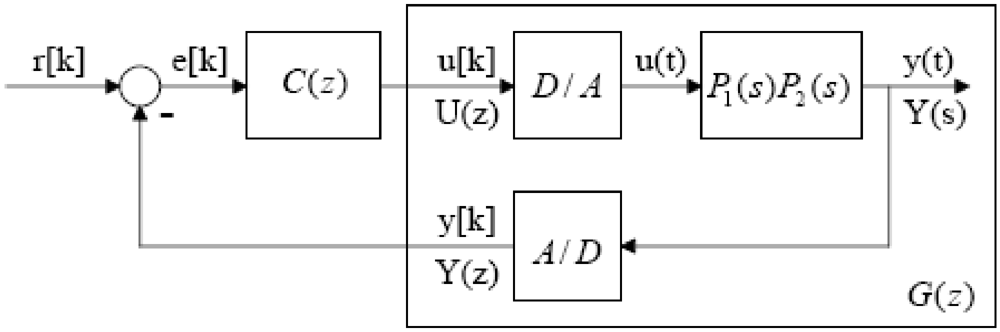
Határozza meg az egységugrás alapjel statikus hiba nélküli követését biztosító kompenzációs tényező értékét!

Ábrázolja a szakasz és a visszacsatolt rendszer egységugrásra adott válaszát. (2 pont)

☺

4. Mintavételes rendszer

Adott az alábbi diszkrét idejű (mintavételes) szabályozási kör:



4.1 Határozza meg a P(s) folytonos szakasz és a D/A átalakító együttes G(z) impulzusátviteli függvényét zérus-pólus alakban a megadott T_s mintavételi idő mellett zérusrendű tartószerv feltételezésével. (1 pont)

$$P = P_1(s) * P_2(s) = \frac{0.1}{s(1+3s)} * \frac{1}{1+0.5s} = \frac{0.1}{s(1+3s)(1+0.5s)} = \frac{0.1}{1.5s^3 + 3.5s^2 + s}$$

Ebből a diszkrét átviteli függvény másodrendű tartószerv alkalmazásával ($T_s = 0.2$)

$$G(z) = \frac{7.9314\text{e-}005(z+0.2377)(z+3.332)}{(z-1)(z-0.9355)(z-0.6703)}$$

Az ezt megvalósító matlab kód: (feladat4.m – 4.1 rész)

```
%--- 4.1 ---
clear
s=zpk('s');

T1=3;
T2=0.5;
Ts=0.2;

disp 'Folytonos szakasz: P',P=0.1/(s*(1+3*s)*(1+0.5*s))
disp 'Diszkret atviteli fuggvenyem: Gz',Gz=c2d(P,Ts,'zoh')
```

4.2 Tervezze meg a C(z) diszkrét idejű PID szabályozót. (2 pont)

Előírások:

- *egységugrás alapjelre a maradó hiba legyen zérus;*
- *a rendszer átmeneti függvényének túllövése 5-10% között legyen;*
- *az u(t) jelre u_{max} <10 /(A1A2), tehát **u_{max} < 100** teljesüljön.*

a. Adja meg a szabályozó C(z) impulzusátviteli függvényét zérus-pólus alakban és a rendszer fázistöbbletét!

A tervezendő $C_{PID}(z)$ szabályozóm átviteli függvénye az alábbi alakú

$$C_{PID}(z) = k * \frac{(z - e^{-T_s/T_1})(z - e^{-T_s/T_2})}{z(z-1)}, \text{ ahol}$$

$$T_1 = 3; \quad T_2 = 0.5; \quad T_s = 0.2$$

Ám a 2. feladatban már jelzett integráló tagom miatt ***k=1*** kezdeti értékről, a fázistartalékos beállítása gondba ütközik, így ismét csak a deriváló szabályozó impulzusátviteli függvényével tudom a feladatot megvalósítani. Tehát C_{PI}=1-nek véve,

$$C_{PDI}(z) = 1 * C_{PD}(z) = k * \frac{(z - e^{-T_s/T_2})}{z} = k * \frac{(z - 0.6703)}{z}$$

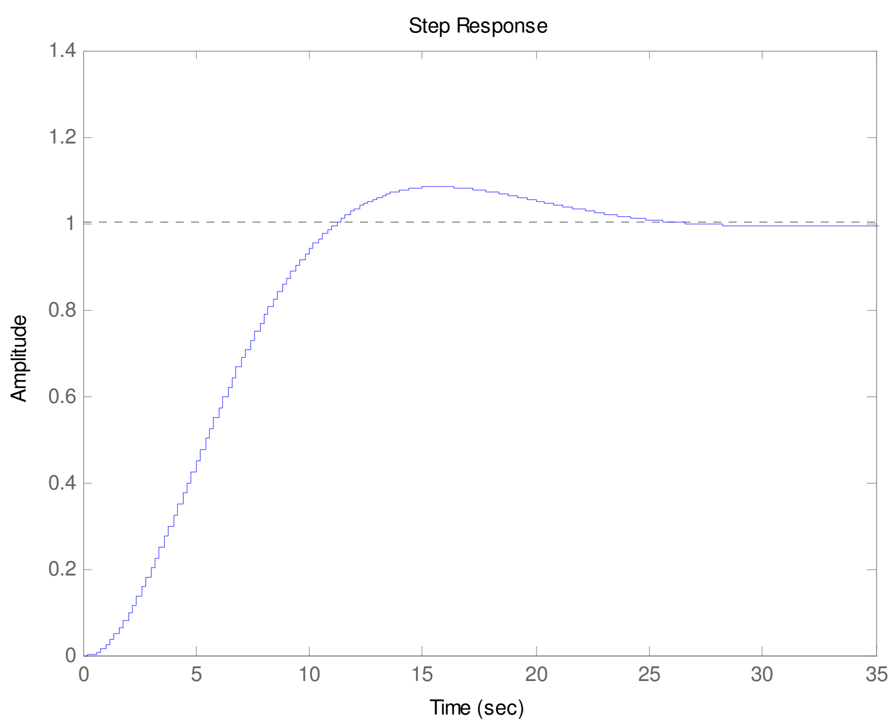
A megfelelő fázistartalékos erősítés beállítása után, ahol ***k*=6.09**

$$C(z) = \frac{6.09(z - 0.6703)}{z}$$

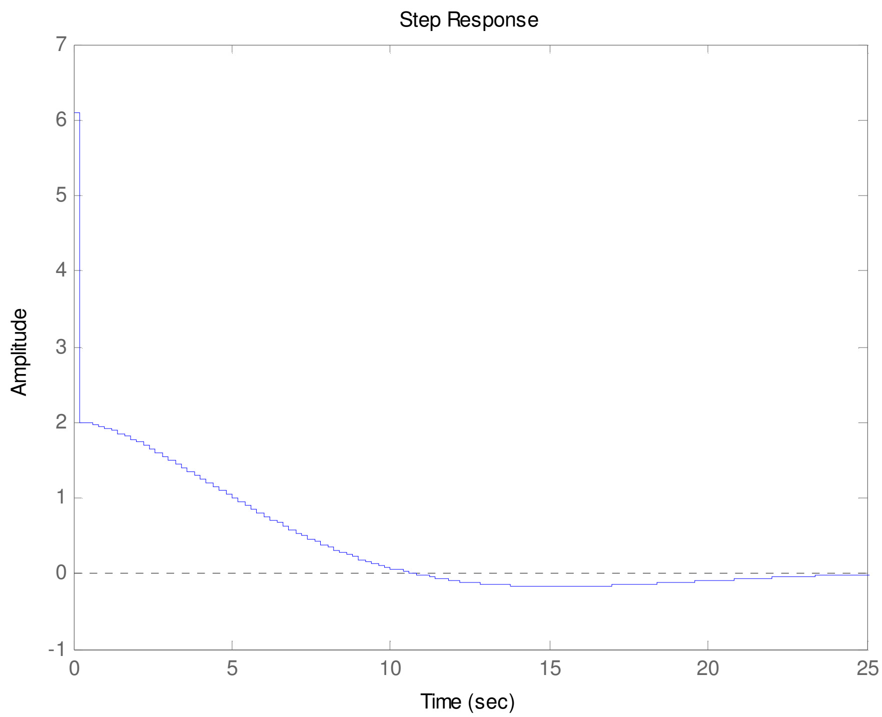
A fázistartalék így: ***p_m= 60.0336***

b. Ábrázolja a szabályozás y(t) folytonos kimenőjelét és az u[k] diszkrét beavatkozó jelet a tartószerv után egységugrás alapjel hatására!
Határozza meg a kimenőjel túllövését, beállási idejét és az u beavatkozó jel maximumát!
A szimulációt végezze el Simulink-ben is.

Rendszer kimenő jele:



Beavatkozó jel:

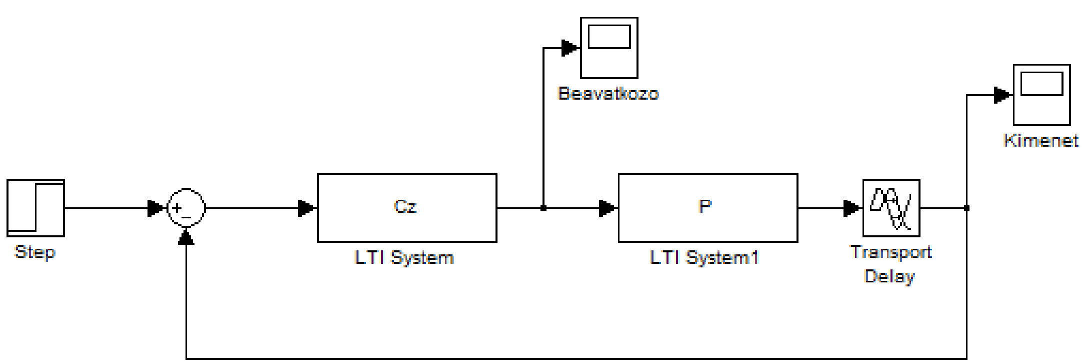


A kimenő jel túllövése ***y_t = 8.4180%,*** ami teljesíti az 5-10%-os kritériumot

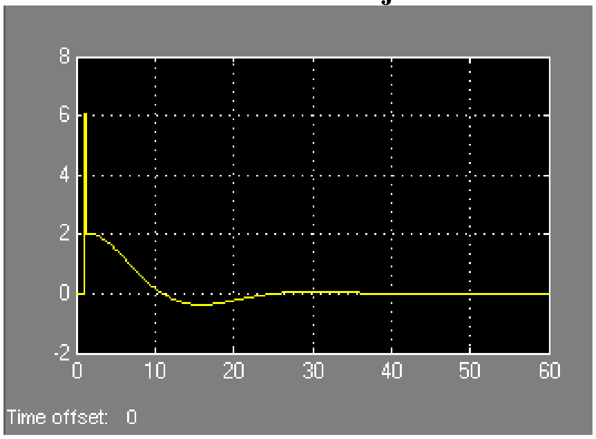
Beállási ideje: ***y_b*** **= 33.8492**

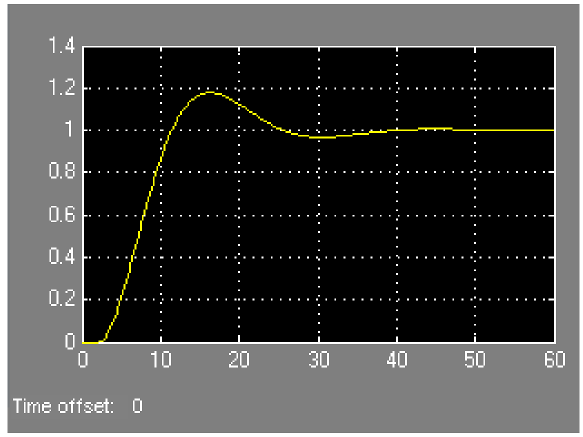
Beavatkozó jel maximuma pedig **u_{max} =6.09**

A Simulink-es szimulációt az alábbi blokk-sémával végeztem el



Beavatkozó jel és kimenet





A teljes feladatot megvalósító matlab kód (feladat4.m):

```
% Szabalyozastechnika
% Hazi Feladat
% Murati Akos - JNC2FC
% 39-es kod
% 4. feladat

%--- 4.1 ---
clear
s=zpk('s');

T1=3;
T2=0.5;
Ts=0.2;

disp 'Folytonos szakasz: P',P=0.1/(s*(1+3*s)*(1+0.5*s))
disp 'Diszkret atviteli fuggvenyem: Gz',Gz=c2d(P,Ts,'zoh')

%--- 4.2 ---
%Pid, polusok kiejtése
z=zpk('z',Ts);

%Ha nem tartalmazna itegralo tagot P-m akkor CPID(z) az alabbi lenne
%disp 'Diszkret Cz0',Cz0=((z-exp(-Ts/T1))*(z-exp(-Ts/T2)))/(z*(z-1))

%Igy viszont CPD(z)-t alkalmazok
disp 'Diszkret Cz k=1 erositessel:',Cz0=(z-exp(-Ts/T2))/z
Cz=Cz0; %kezdeti erősítés k=1

%Fázistartalékos erősítés meghatározása
[mag,phase,w]=bode(Cz*Gz);
disp 'Uj k erosites:',k=margin(mag,phase-60,w)

%szabályzó megfelelő erősítéssel
disp 'Diszkret Cz0 az uj k erositessel:',Cz=k*Cz0

Lz=Cz*Gz; %felnyitott kör
[gm,pm,wg,wc]=margin(Lz);
disp 'Fázistartalék: ',pm
Lz=minreal(Lz,0.001);
```

```
Tz=feedback(Lz,1);
disp 'Állandósult érték: ',ys=dcgain(Tz)
figure(1),step(Tz,'b')   % kimenőjel ábrázolása

t=0:Ts:60;
y=step(Tz,t);
ymax=max(y);
y_tul=ymax-ys;   %tullovés, de asszem ezt nem kell kiirni
disp 'Tulloves szazalekban: (5-10%) ',yt=100*((ymax-ys)/ys)
disp 'Beallasi ido: ',yb=6/wc

Tz=feedback(Cz,Gz);
figure(2),step(Tz,'b')  % beavatkozó jel
u=step(Tz,t);
disp 'Beavatkozo jel maximuma (<100):',umax=max(abs(u))
```