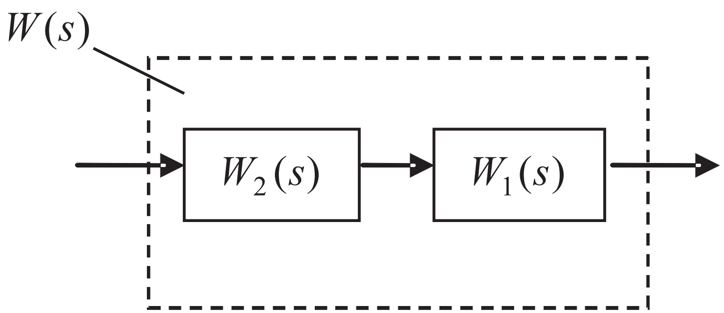
Szabályozástechnika

Tantermi gyakorlat 2

Soros kapcsolás

$$W(s) = W_1(s) W_2(s)$$



2.1. ábra. Két alrendszer soros kapcsolása

$$W(s) = \frac{num}{den}$$

$$W_1(s) = \frac{num1}{den1}$$

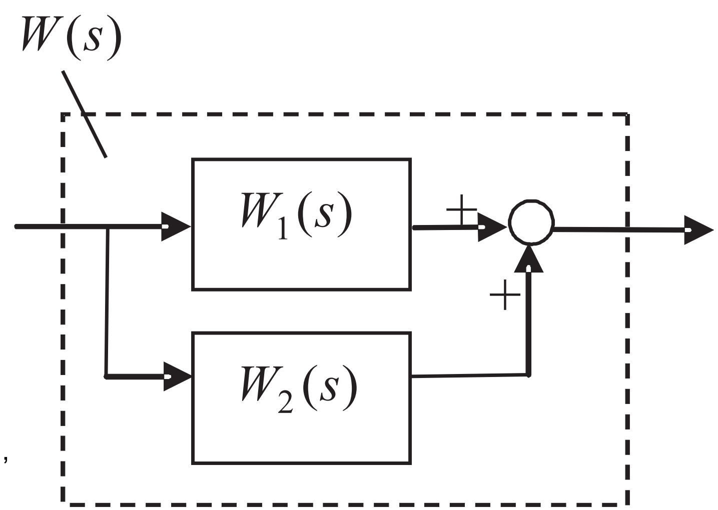
$$W_2(s) = \frac{num2}{den2}$$

CST:
```
[num,den]=series(num1,den1,num2,den2);
```
Konvolúcióval:
```
num=conv(num1,num2); den=conv(den1,den2);
```

LTI1:
```
W1=tf(num1,den1); W2=tf(num2,den2);
W=series(W1,W2);
      num=W.num{1}; den=W.den{1);
```
LTI2:
```
W1=tf(num1,den1); W2=tf(num2,den2);
W=W1*W2;
      num=W.num{1}; den=W.den{1);
```

Párhuzamos

$$W(s) = W_1(s) + W_2(s)$$



$$W(s) = \frac{num}{den}$$

$$W_1(s) = \frac{num1}{den1}$$

$$W_2(s) = \frac{num2}{den2}$$

CST függvénnyel:

```
[num,den]=parallel(num1,den1,num2,den2);
```

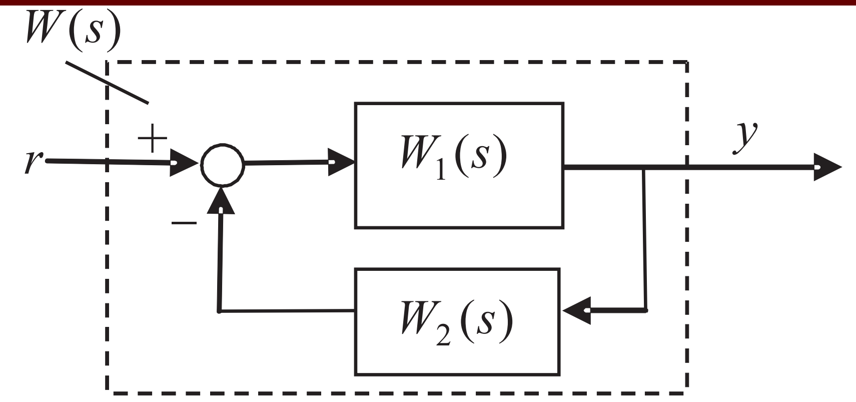
LTI1:

```
W1=tf(num1,den1); W2=tf(num2,den2);
W=parallel(W1,W2);
num=W.num{1}; den=W.den{1);
```

LTI2:

```
W1=tf(num1,den1); W2=tf(num2,den2); W=W2+W1;
num=W.num{1}; den=W.den{1);
```

Visszacsatolás



$$y(s) = W_1(s)[r(s) - W_2(s)y(s)]$$

$$[1 + W_1(s)W_2(s)]y(s) = W_1(s)r(s)$$

$$W(s) = \frac{y(s)}{r(s)} = \frac{W_1(s)}{1 + \underbrace{W_1(s)W_2(s)}_{W_0(s)}} =: \frac{W_1(s)}{1 + W_0(s)}$$

$$W(s) = \frac{num}{den}$$

$$W_1(s) = \frac{num1}{den1}$$

$$W_2(s) = \frac{num2}{den2}$$

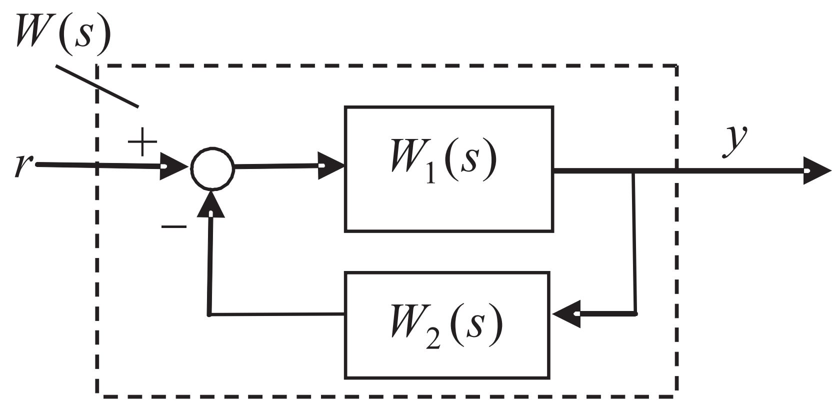
- CST függvénnyel:

```
[num,den]=feedback(num1,den1,num2,den2,sign);
```

- LTI:

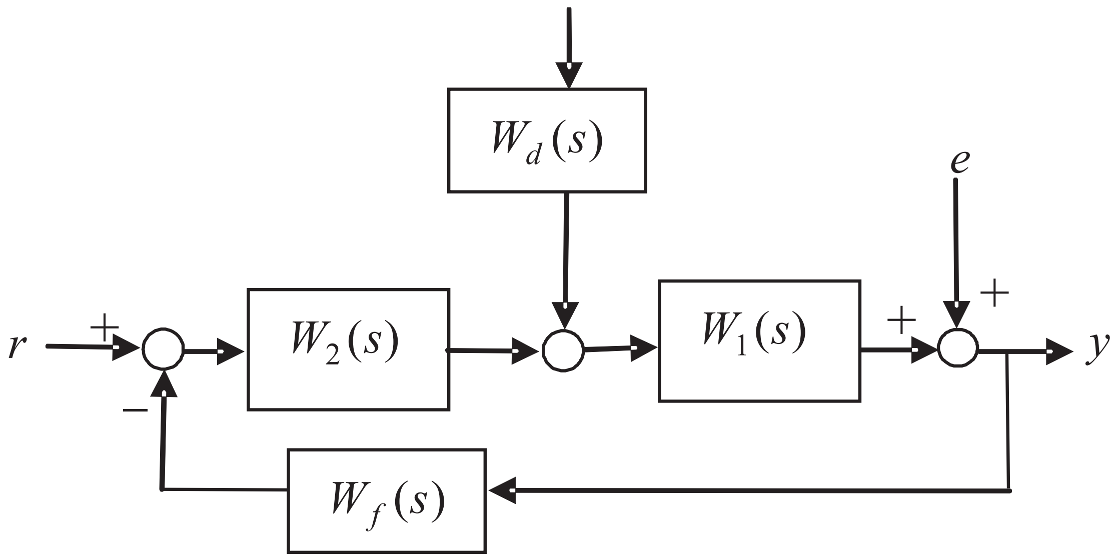
```
W1=tf(num1,den1);
W2=tf(num2,den2);
W=feedback(sys1,sys2,sign);
num=W.num{1}; den=W.den{1);
```

Visszacsatolás



$$W(s) = \frac{W_1(s)}{1+W_0(s)}$$ ="előre vezető ág/(1 plusz a hurok)"

Eredő átviteli függvény meghatározása



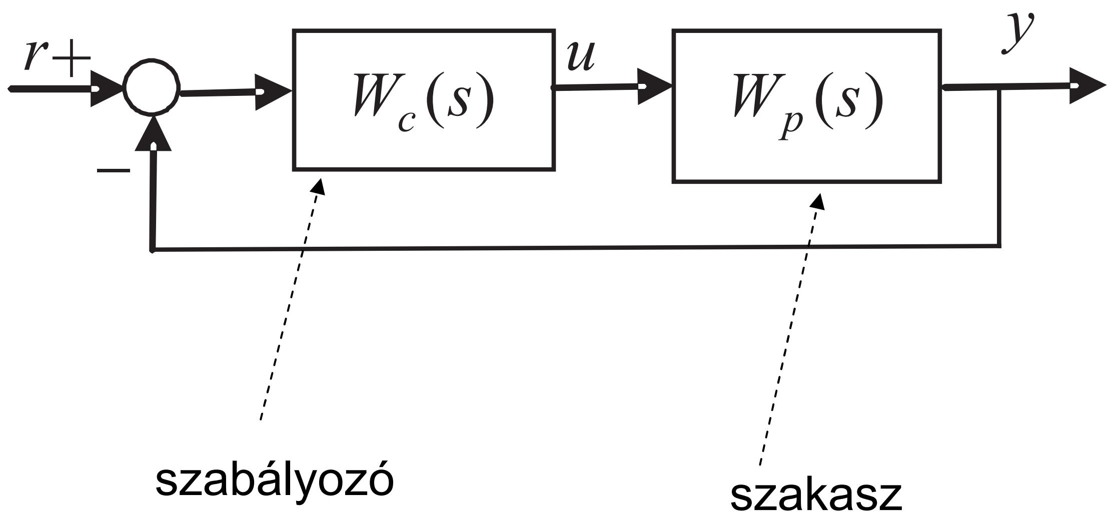
$$W_{yr} = \frac{W_1 W_2}{1 + W_1 W_2 W_f}$$

$$W_{ye} = \frac{1}{1 + W_1 W_2 W_f}$$

$$W_{yd} = \frac{W_1 W_d}{1 + W_1 W_2 W_f}$$

$$Y(s) = W_{yr}(s) R(s) + W_{yd} D(s) + W_{ye}(s) E(s)$$

A zárt minta rendszer



A szakasz

$$W_p(s) = \frac{A}{(1+sT_1)(1+sT_2)(1+sT_3)}$$

$$A = 5$$

$$T_1 = 10 \text{ sec}$$

$$T_2 = 4 \text{ sec}$$

$$T_3 = 1 \text{ sec}$$

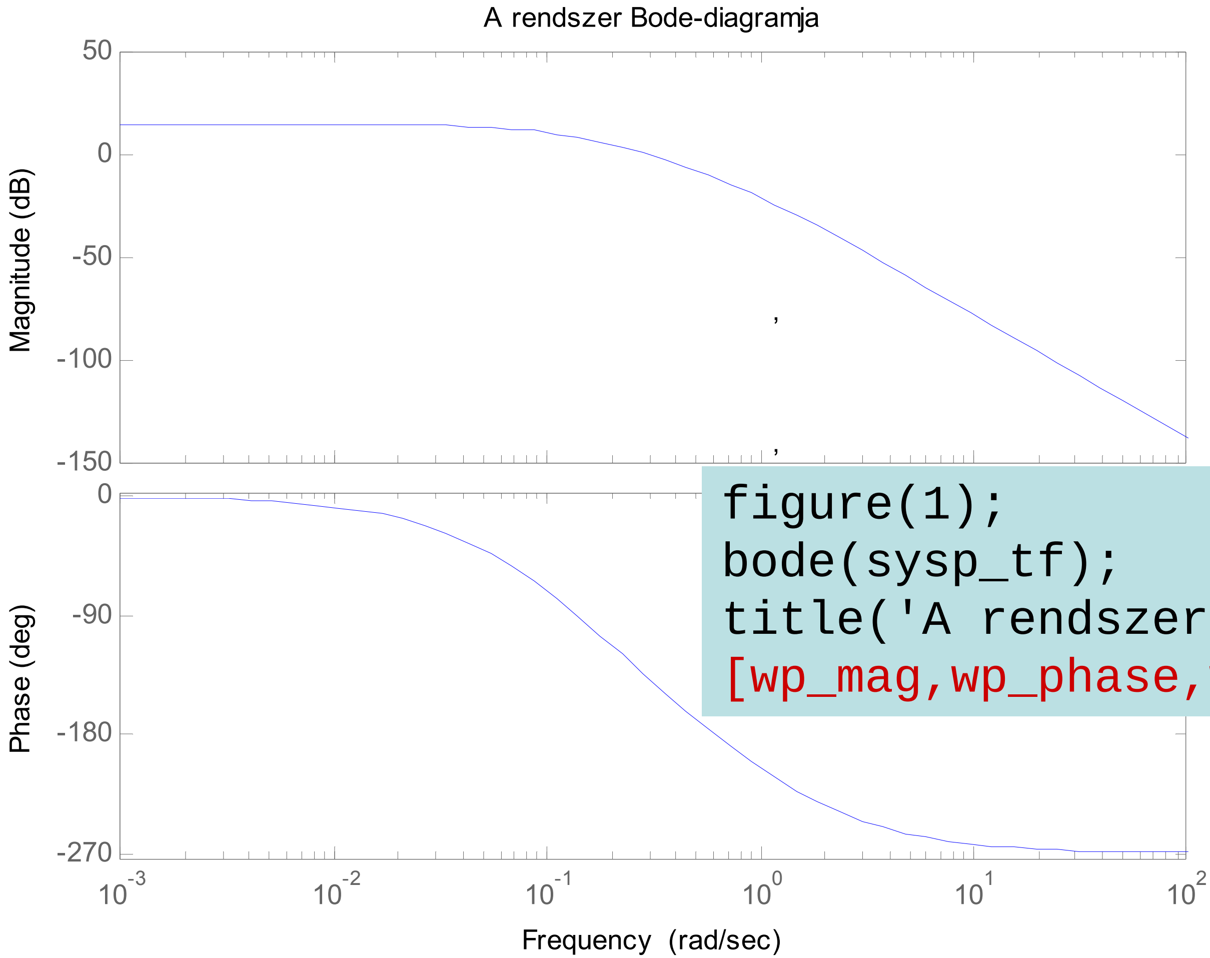
```
% Szakasz Átviteli függvény
    A=5; T1=10; T2=4; T3=1;
    numps=A;
    denps=conv(conv([T1 1],[T2 1]),[T3 1]);
    sysp_tf=tf(numps,denps)

sysp_tf.num{1}
sysp_tf.den{1}

sysp_zpk=zpk(sysp_tf)

sysp_ss=ss(sysp_tf)
```

$$s_1 = -\frac{1}{T_1}$$

$$s_2 = -\frac{1}{T_2}$$

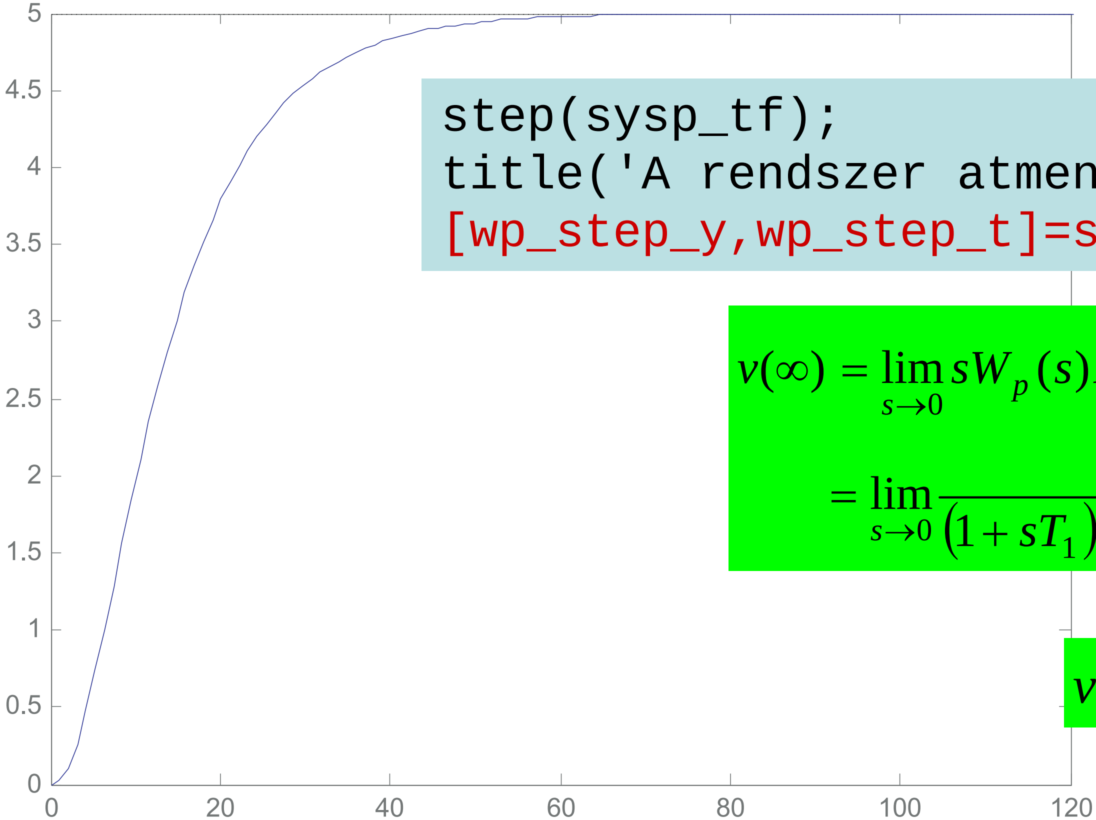
$$s_3 = -\frac{1}{T_3}$$

A szakasz Bode diagramja




```
figure(1);
bode(sysp_tf);
title('A rendszer Bode-diagramja');
[wp_mag,wp_phase,wp_w]=bode(sysp_tf);
```

A szakasz átmeneti függvénye




```
step(sysp_tf);
title('A rendszer atmeneti fuggvenye');
[wp_step_y,wp_step_t]=step(sysp_tf)
```

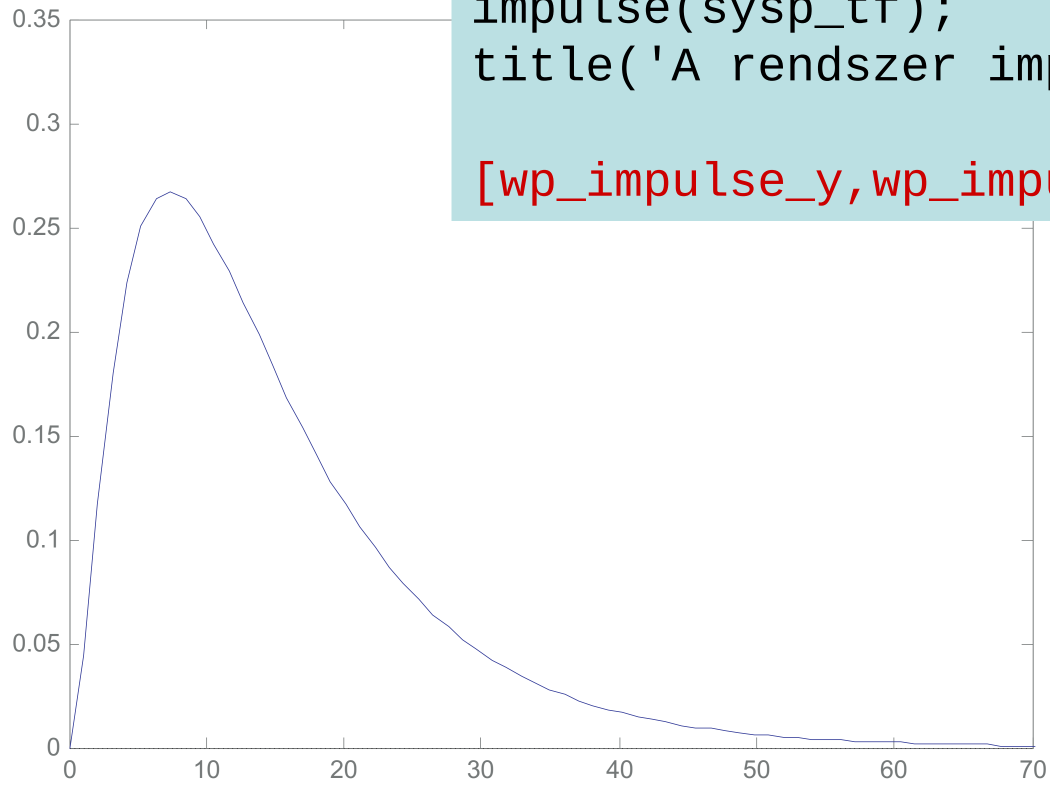
$$v(\infty) = \lim_{s\to 0} sW_p(s)L\{1(t)\} = \lim_{s\to 0} sW_p(s)\frac{1}{s} = \lim_{s\to 0} W_p(s)$$

$$= \lim_{s\to 0} \frac{A}{(1+sT_1)(1+sT_2)(1+sT_3)} = A$$

$$v(t) = a_1 + a_2 e^{s_1 t} + a_3 e^{s_2 t} + a_4 e^{s_3 t}$$

Az együtthatók a $W_P(s)/s$ részlettörtekre bontásával határozhatók meg.

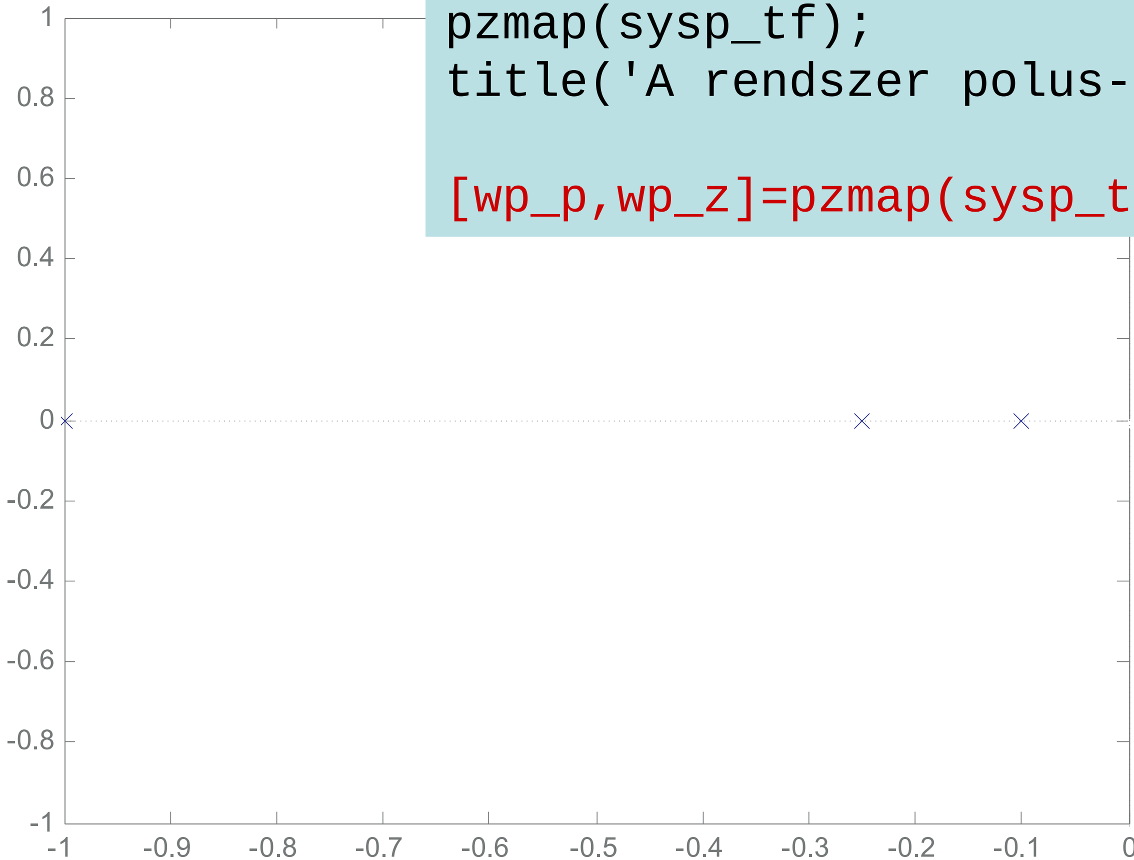
A szakasz impulzusválasza




```
impulse(sysp_tf);
title('A rendszer impulzusvalasza');

[wp_impulse_y,wp_impulse_t]=impulse(sysp_tf);
```

$$w(t) = Be^{s_1 t} + Ce^{s_2 t} + De^{s_3 t}$$

A szakasz Pólus-Zérus eloszlása




```
pzmap(sysp_tf);
title('A rendszer polus-zerus eloszlasa');

[wp_p,wp_z]=pzmap(sysp_tf)
```

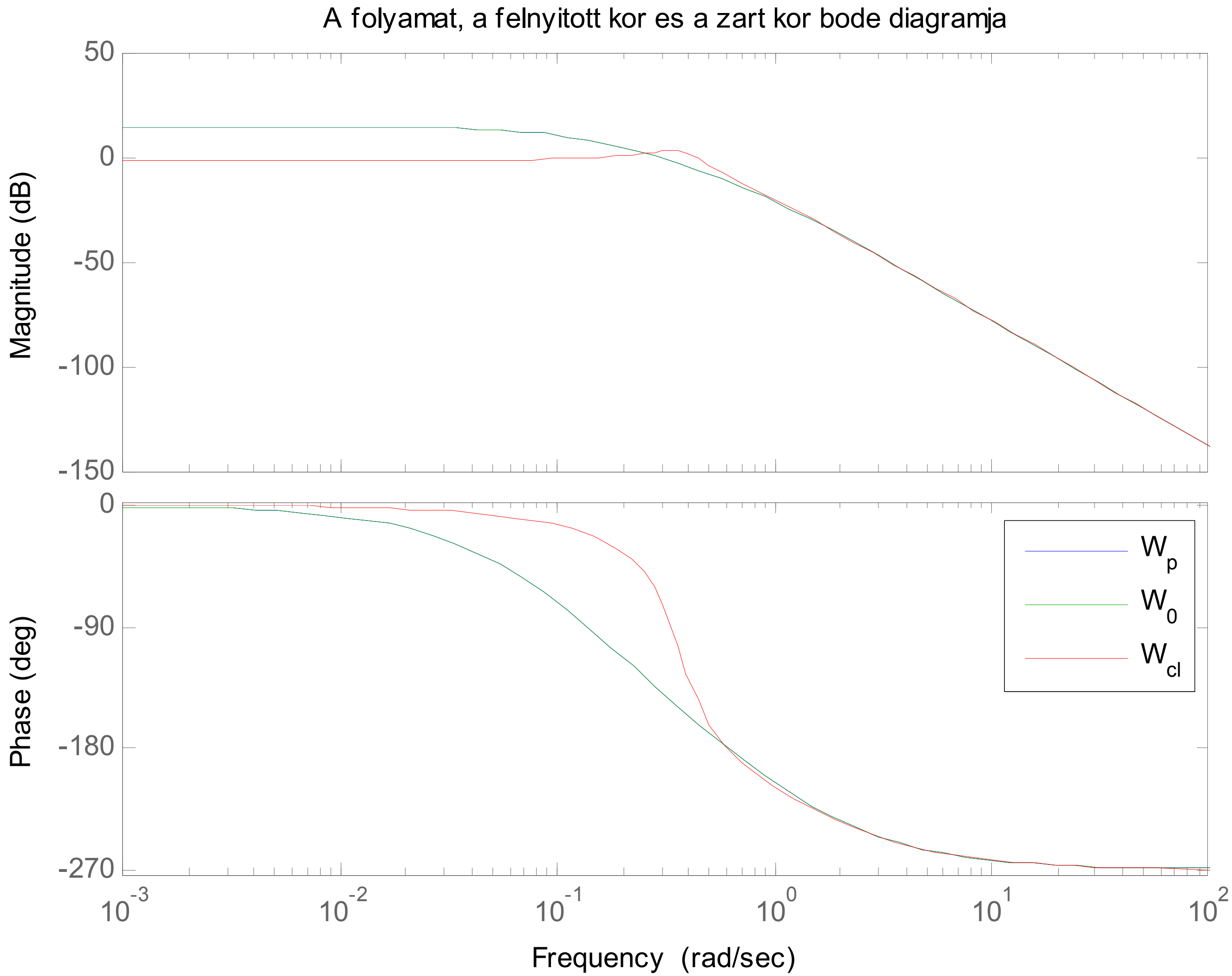
A zárt RE Bode diagramja $W_c(s)=1$

```
% a felnyitott kor eloallitasa
sysw0=series(sysp_tf,sysc_tf)

% Egy sima “drotdarab”
sys_drot=tf(1,1);

% A zart rendszer
sys_cl=feedback(sysw0,sys_drot)

%A felnyitott es zart kor bode diagramja
figure(1)
hold on
bode(sysw0)
bode(sys_cl)
hold off;
title('A folyamat, a felnyitott kor es a zart kor bode
diagramja');
legend('W_p','W_0','W_{cl}');
```

A visszacsatolt RE tulajdonságai

$W_c(s) = 1$

Bode diagram



$\omega << \omega_c \qquad |W_0(j\omega)| >> 1$

$$|W_{cl}(j\omega)| = \left|\frac{W_0(j\omega)}{1+W_0(j\omega)}\right| \approx \frac{|W_0(j\omega)|}{|W_0(j\omega)|} = 1$$

$$\arg W_{cl}(j\omega) \approx 0$$

$\omega >> \omega_c \qquad |W_0(j\omega)| << 1$

$$|W_{cl}(j\omega)| = \left|\frac{W_0(j\omega)}{1+W_0(j\omega)}\right| \approx \frac{|W_0(j\omega)|}{1} = |W_0(j\omega)|$$

$$\arg W_{cl}(j\omega) \approx \arg W_0(j\omega)$$

Ideális szabályozási kör: $W_{cl}(j\omega) \equiv 1$

Ezért:

- **A visszacsatolás $\omega < \omega_c$ frekvencián az ideális szabályozást jól közelíti**
- **Cél az ω_c növelése**

Az ω_c nem növelhető büntetlenül, mert:

• Nem lehetséges végtelen nagy beavatkozó jelek kiadása
(pl. egy beavatkozó szervként működő szervo motor nem tud végtelen nyomatékot kiadni és a meghajtott rendszer sem lenne képes ilyen jelet fogadni).

•Stabilitási problémák merülhetnek fel.

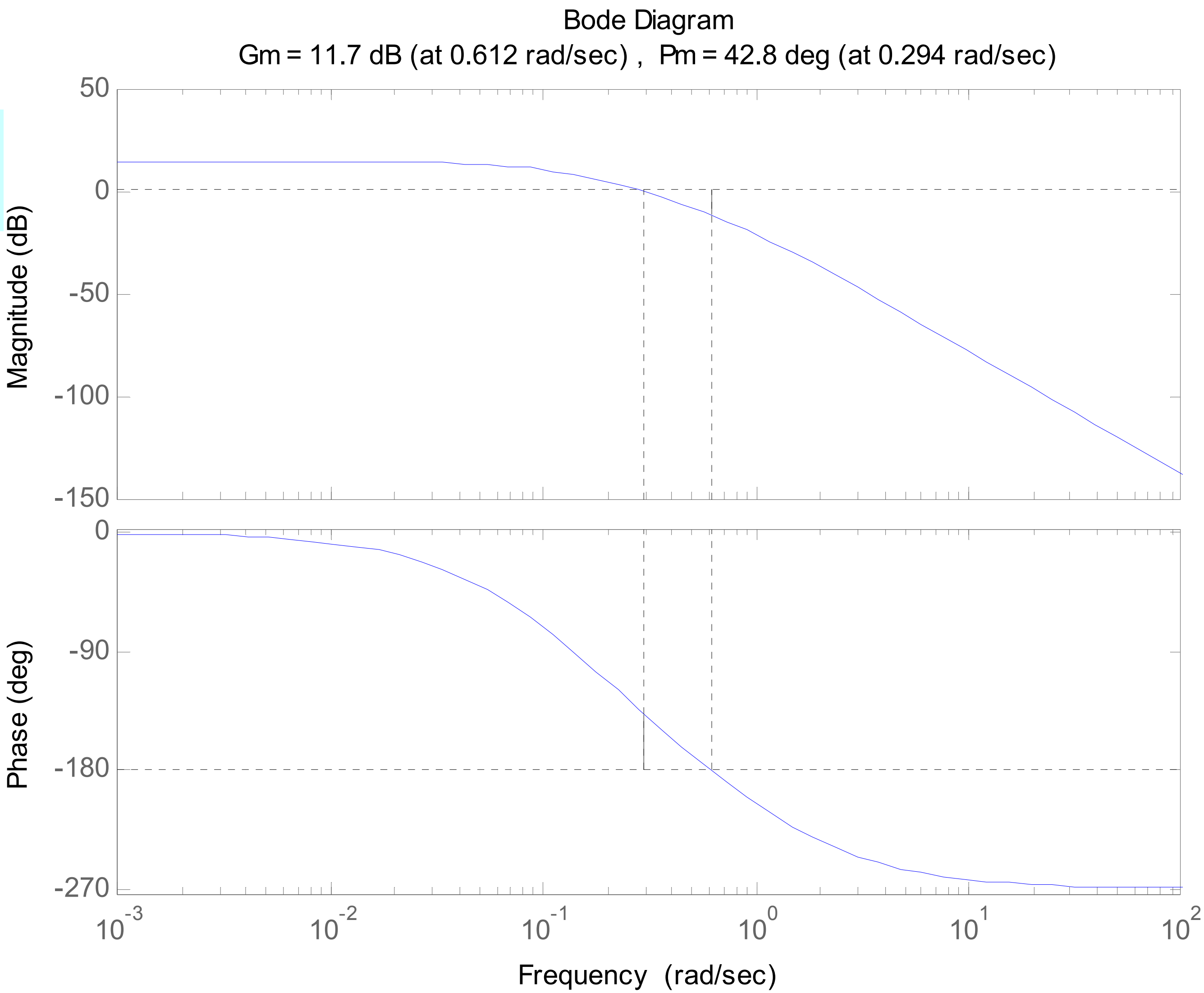
$W_0(j\omega_1) \leq -1$ esetén instabilitás. Ekkor:

•a felnyitott kör Nyquist diagramja metszi a negatív valós tengelyt a $(-\infty,-1]$ intervallumban.

• A Bode diagramban a „fázistartalék": $\arg W_0(j\omega_c) \leq -\pi \Leftrightarrow \pi + \varphi(\omega_c) \leq 0$

Fázistartalék

```
figure(10)
margin(sysw0)
```

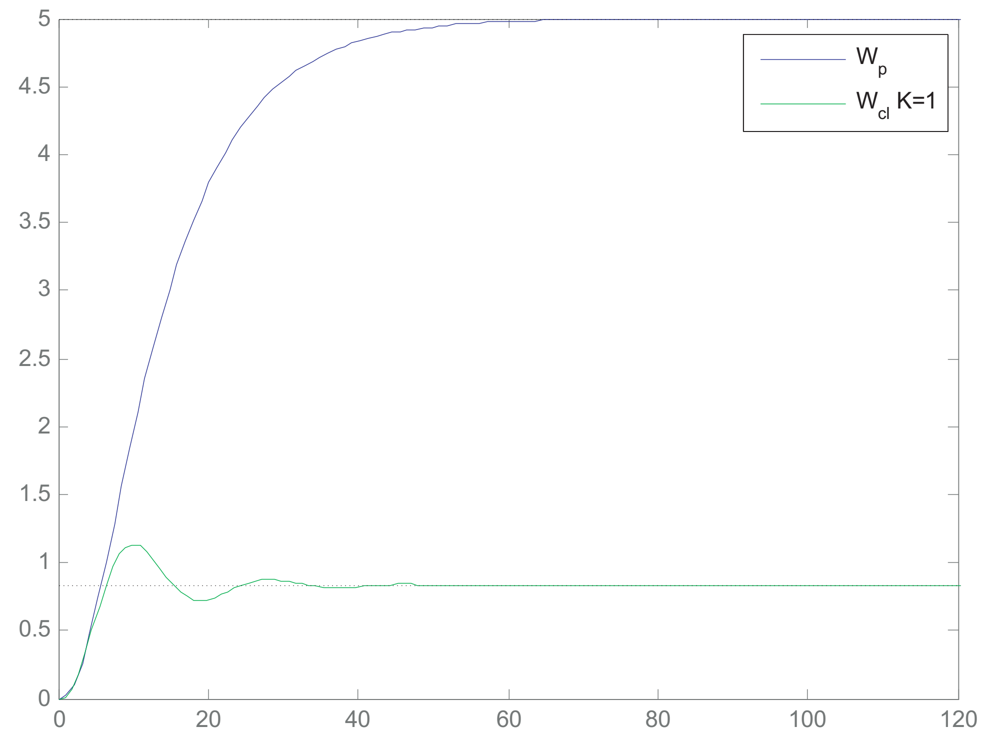


$W_c(s) = 1$

Az átmeneti függvényben lengések lesznek, mivel a zárt kör karakterisztikus polinomja komplex konjugált gyököket ad.

$$W_0(s) + 1 = 0$$

```
>> roots(sys_cl.den{1})
ans =
   -1.1361
   -0.1069 + 0.3473i
   -0.1069 - 0.3473i
```



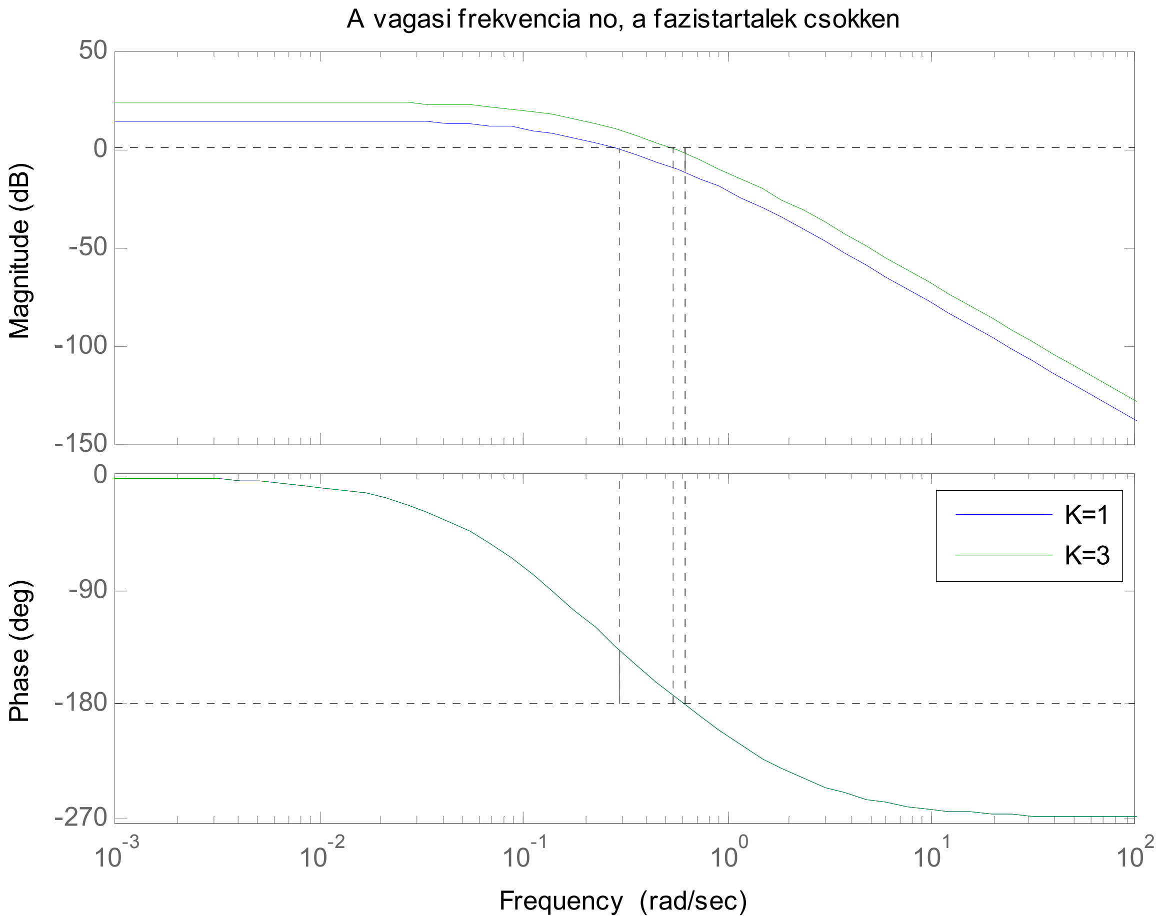
$W_c(s)=3$

Növeljük a hurokerősítést 3-szorosára!

```
% 2. Zart rendszer viselkedese P taggal,
K=5
%szabalyozo eloallitasa
numcs2=3;
dencs2=1;
sysc2_tf=tf(numcs2,dencs2)
% a felnyitott kor eloallitasa
sysw0_2=series(sysp_tf,sysc2_tf)
% A zart rendszer
sys_cl2=feedback(sysw0_2,sys_drot)
%vagasi frekvencia, fazistobblet
figure(22)
hold on
margin(sysw0)
margin(sysw0_2)
hold off
title('A vagasi frekvencia no, a
fazistartalek
csokken')
legend('K=1',['K=',num2str(numcs2)])
pause
```

```
clc %parancsablak törlése
%vagasi frekvencia, fazistobblet
figure(23)
hold on
nyquist(sysw0)
nyquist(sysw0_2)
hold off
legend('K=1',['K=',num2str(numcs2)])
pause
clc
%zart kor atmeneti fuggvenye
figure(24)
hold on
step(sysp_tf);
step(sys_cl);
step(sys_cl2);
legend('W_p','W_{cl} K=1',['W_{cl},
K=',num2str(numcs2)])
hold off;
pause
clc
```

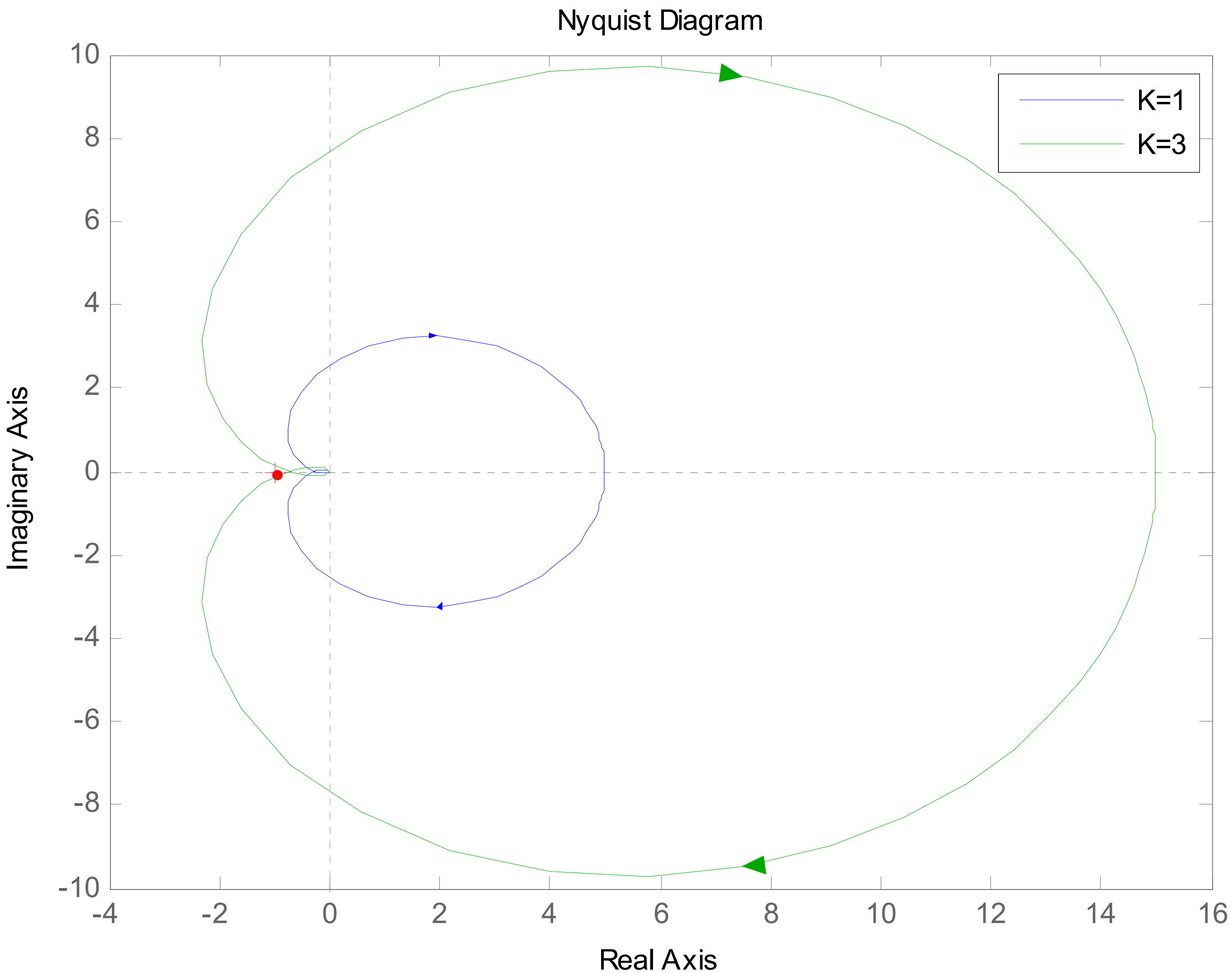
$W_c(s) = 3$



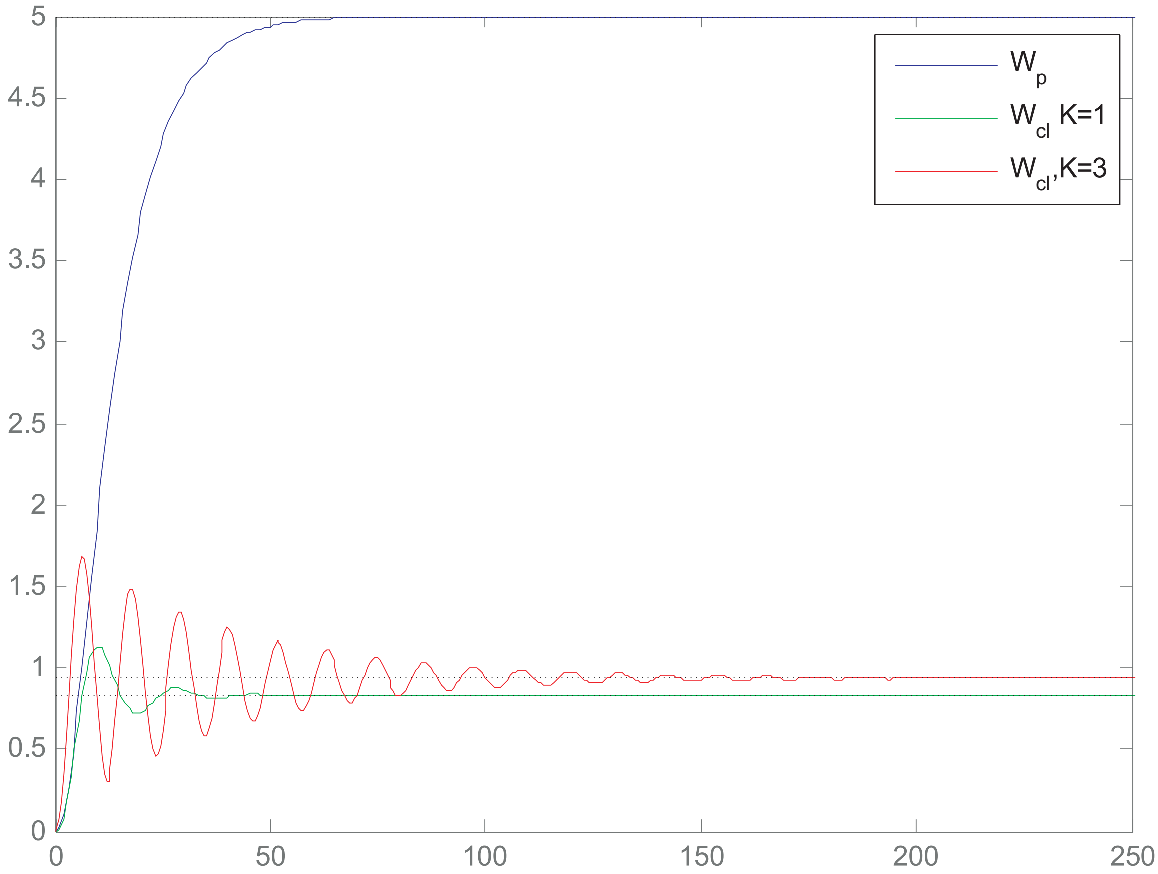
- Vágási frekvencia nő
- Fázistartalék csökken
- Amplitúdódiagram feltolódik
- Fázis diagram változatlan
- Nyquist diagram felfúvódik

$W_c(s)=3$

- Nyquist diagram felfúvódik

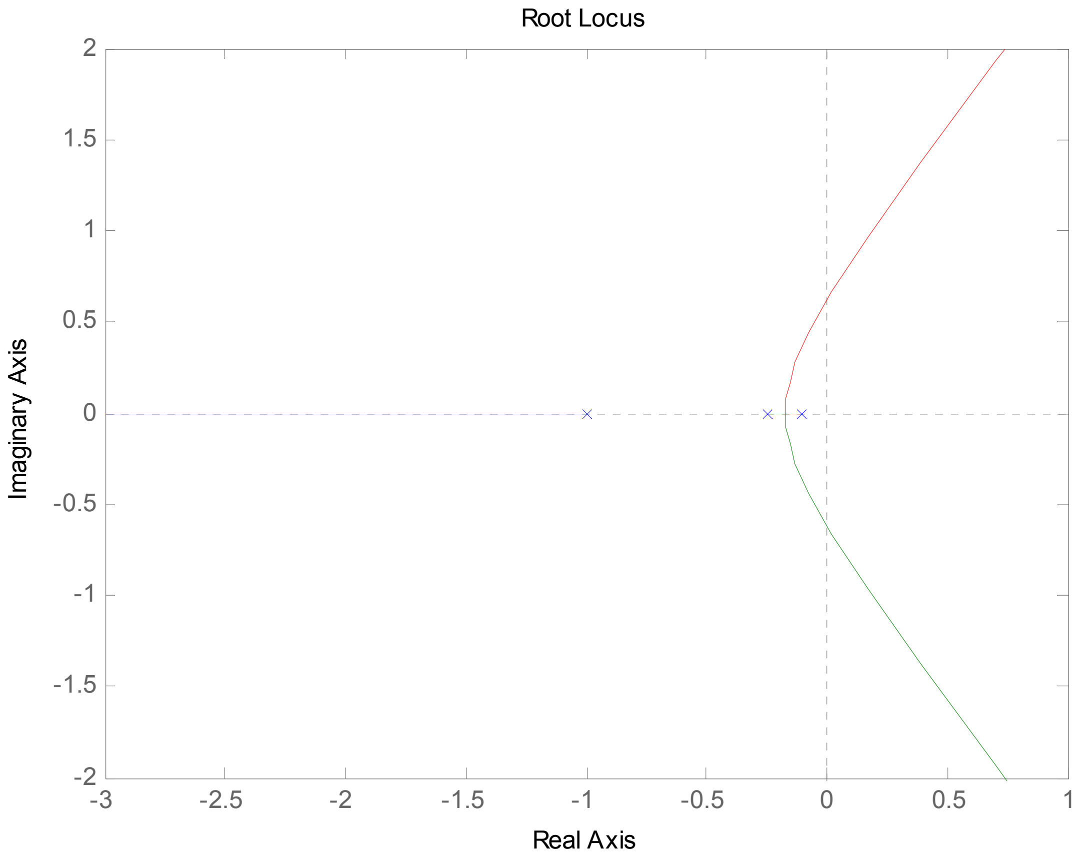


$W_c(s)=3$



A nagyobb hurokerősítés
Nagyobb vágási
Frekvenciát okoz,
ezért
Kisebb lesz a tranziens
felfutási ideje
De csökken a fázistartalék
És lengések alakulnak ki

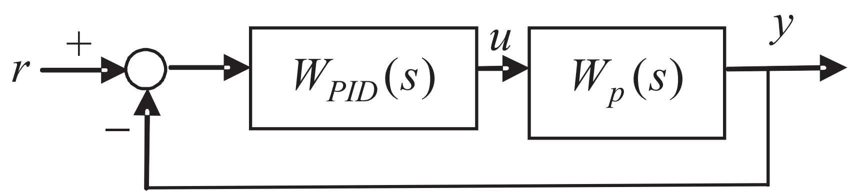
$W_c(s) = 3$



Gyökhelygörbe

- A valós polúsok komplex Konjugált párrá alakulnak
- Egy erősítésnél (erősítéstartalék) Átkerülnek a jobb félsíkra (instabilitás)

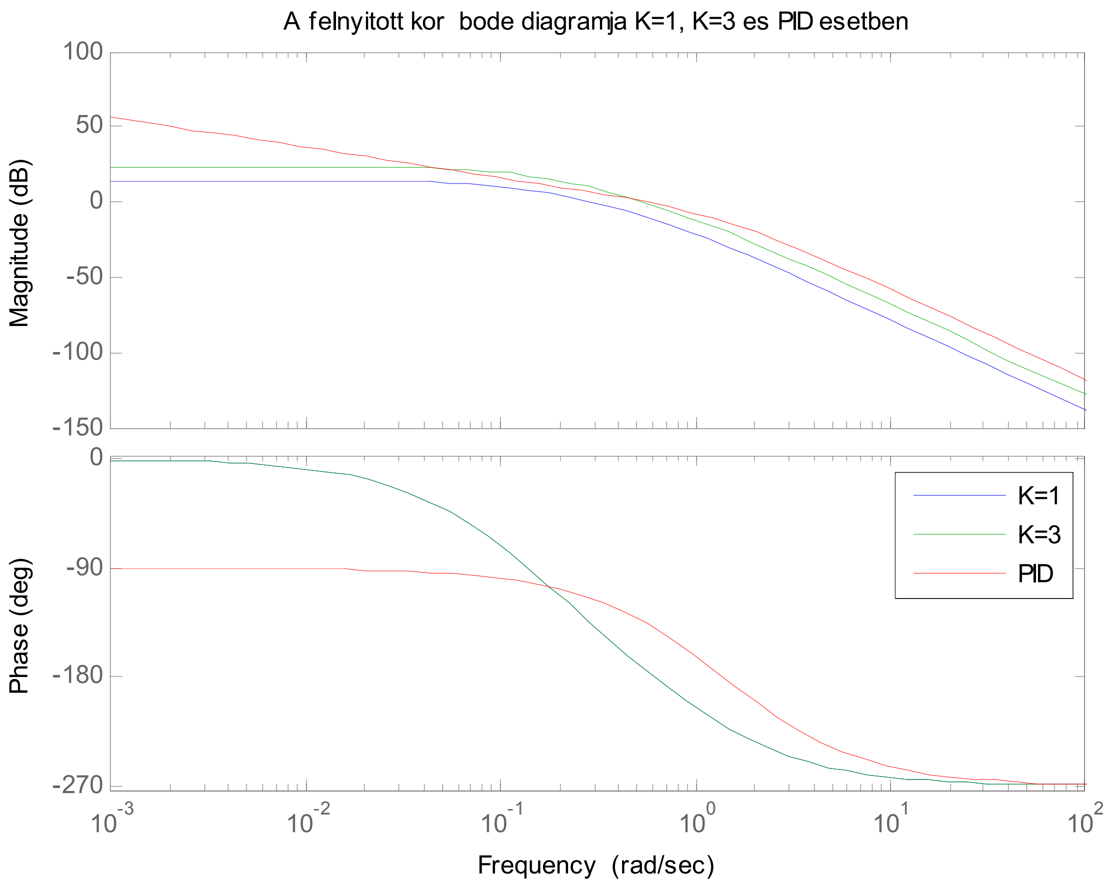
```
figure(25)
rlocus(sysw0)
```



$$A_p = 1.7666$$
$$T_i = 13.4756$$
$$T_D = 2.4439$$
$$T = 0.5244$$

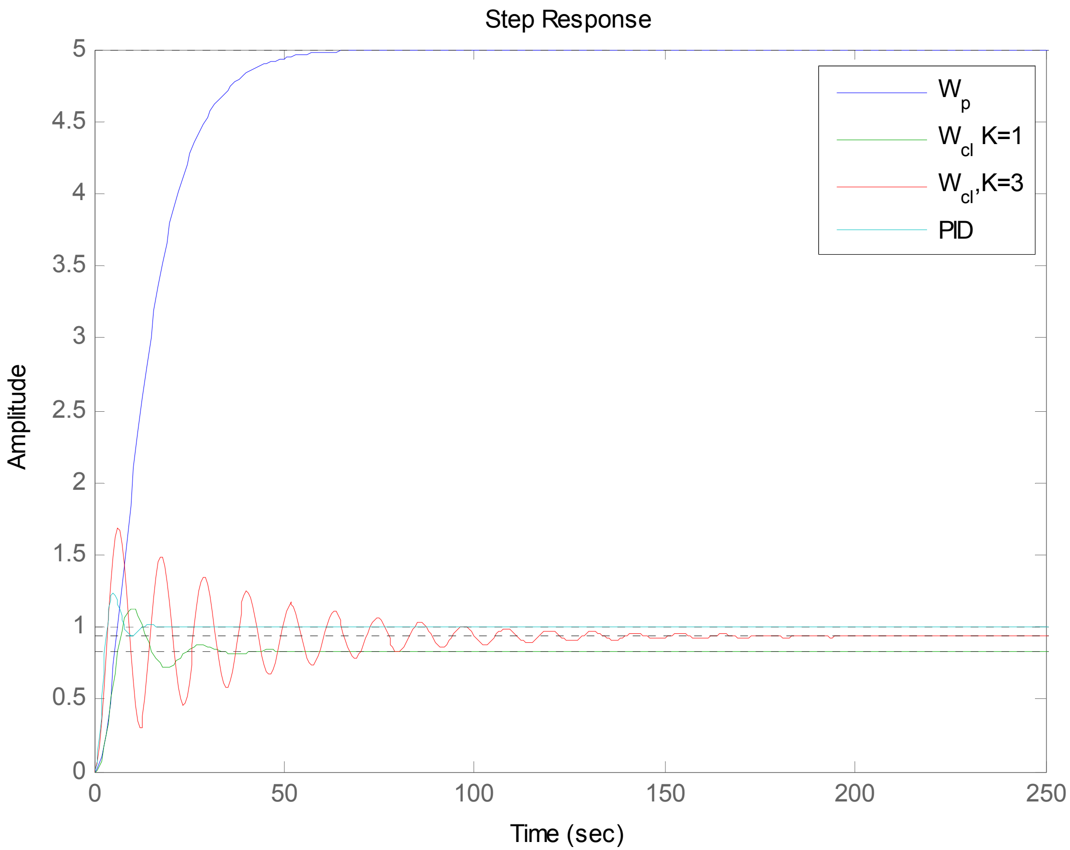
$$W_{PID}(s) = A_p\left(1 + \frac{1}{sT_i} + \frac{sT_d}{1+sT}\right)$$

```
% 3. Zart rendszer viselkedese PID taggal
%szabalyozo eloallitasa
Ap=1.7666; Ti=13.4756; Td=2.4439; T=0.5244;
numcs3=Ap/Ti*[Ti*(Td+T) Ti+T 1];
dencs3=[T 1 0];
sysc3_tf=tf(numcs3,dencs3)
```

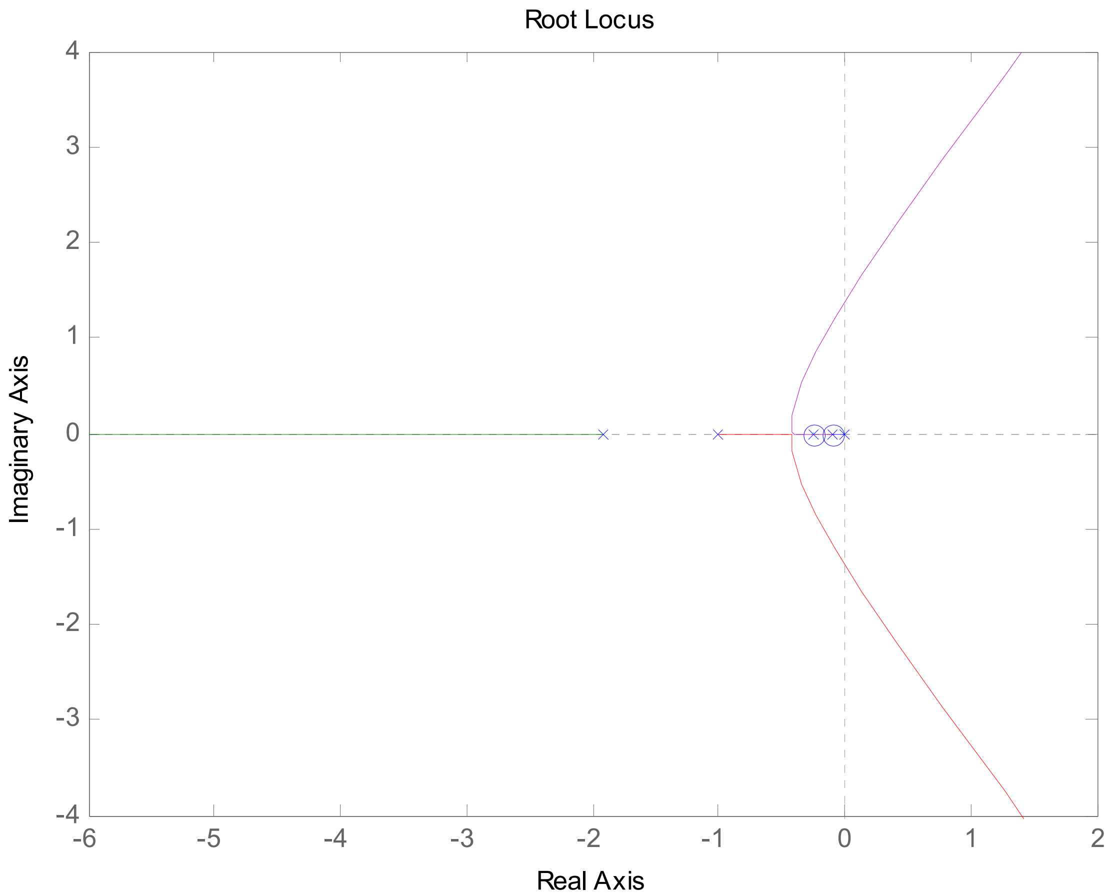


Vágási frekvencia nő,
De fázistartalék nem csökken!

Integrátor kis frekvencián
nagy erősítést okoz
(maradó hiba nulla)



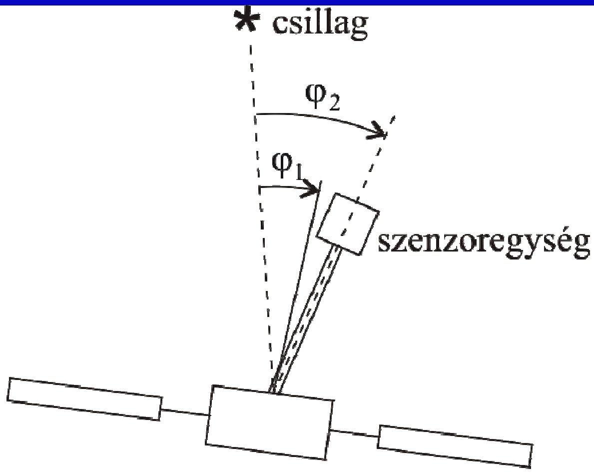
Statikus hiba eltűnik
Kisebb a lengés (nagy fázistart.)
Gyors felfutás



Pólus zérus kiejtés

MATLAB

```
ltiview
```

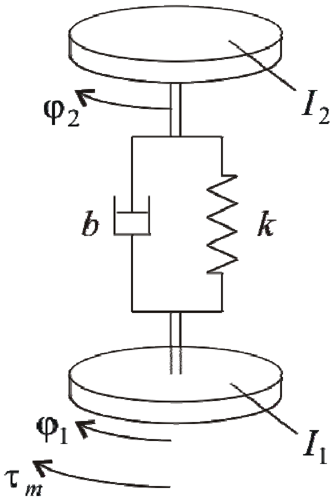


(a)

Követelmények:
az új irányt 20 sec alatt 1%-os pontossággal kell felvenni és a tranziensből adódó túllövés ne legyen nagyobb 15%-nál

$$J_1\ddot{\varphi}_1 + b(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + k(\varphi_1 - \varphi_2) = \tau_m$$

$$J_2\ddot{\varphi}_2 + b(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1) + k(\varphi_2 - \varphi_1) = 0$$



(b)

$J_1 = 1$ $\quad 0.09 \le k \le 0.4$ $\quad k = 0.091$

$J_2 = 0.1$ $\quad 0.038\sqrt{\frac{k}{10}} \le b \le 0.2\sqrt{\frac{k}{10}}$ $\quad b = 0.0036$

$y = \varphi_2$

$u = \tau_m$

$$W(s) = \frac{10bs + 10k}{s^2(s^2 + 11bs + 11k)}$$

$z_1 = -25$

$p_{1,2} = 0$

$p_{3,4} = -0.02 \pm 0.9998\, j$

$$T_{1\%} = 20 \qquad \Delta v = 0.15$$

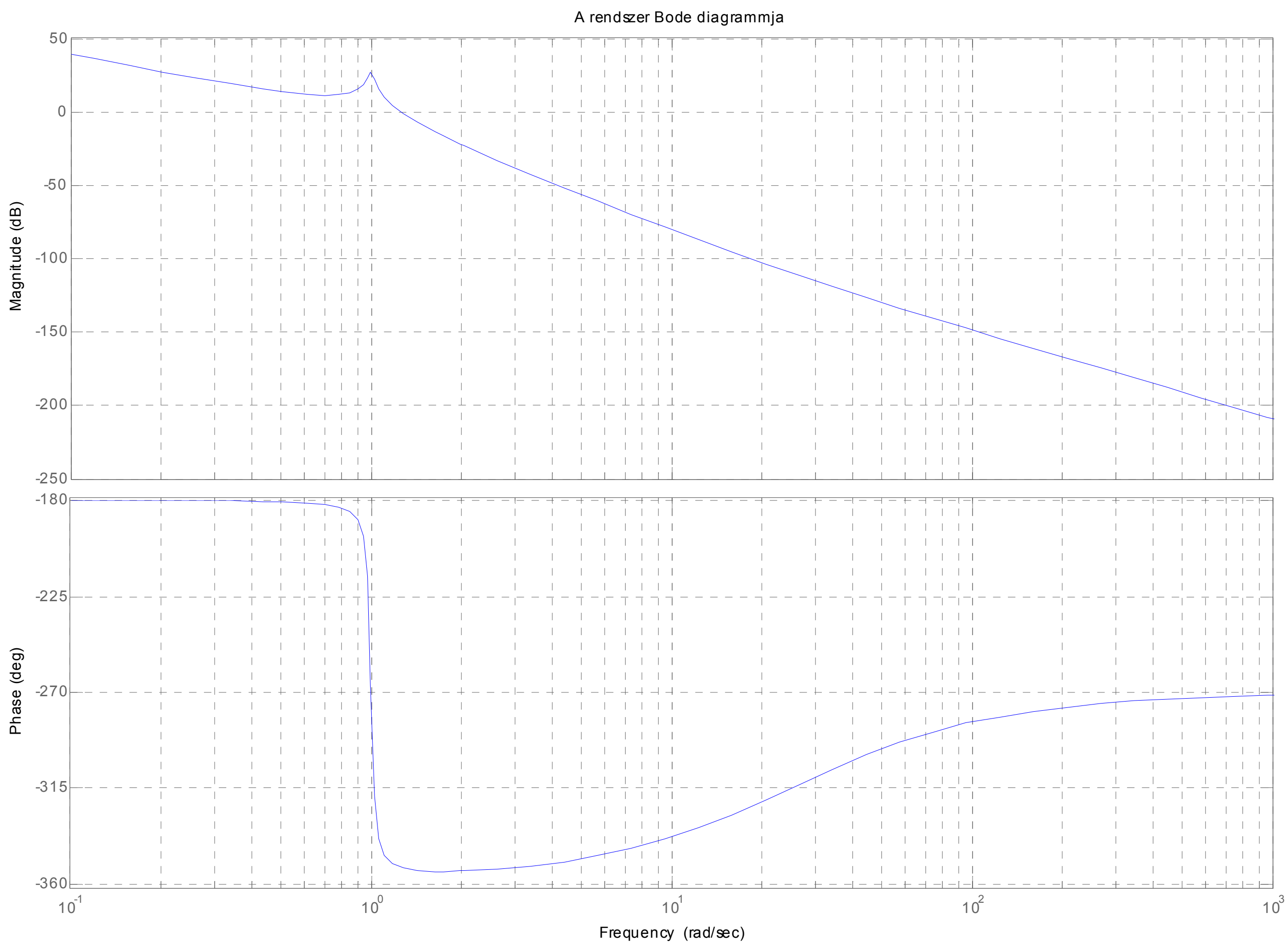
$$\Delta v = \exp\left(-\frac{\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right) = 0.15 \Rightarrow \xi \approx 0.5$$

$$0.01 = \exp(-\xi\omega_0 t_s) = \exp(-0.5\omega_0 20) \Rightarrow \omega_0 \approx 0.5$$

Ennek megfelel (Könyv):

$$\varphi_t = 50 \text{ fok}$$

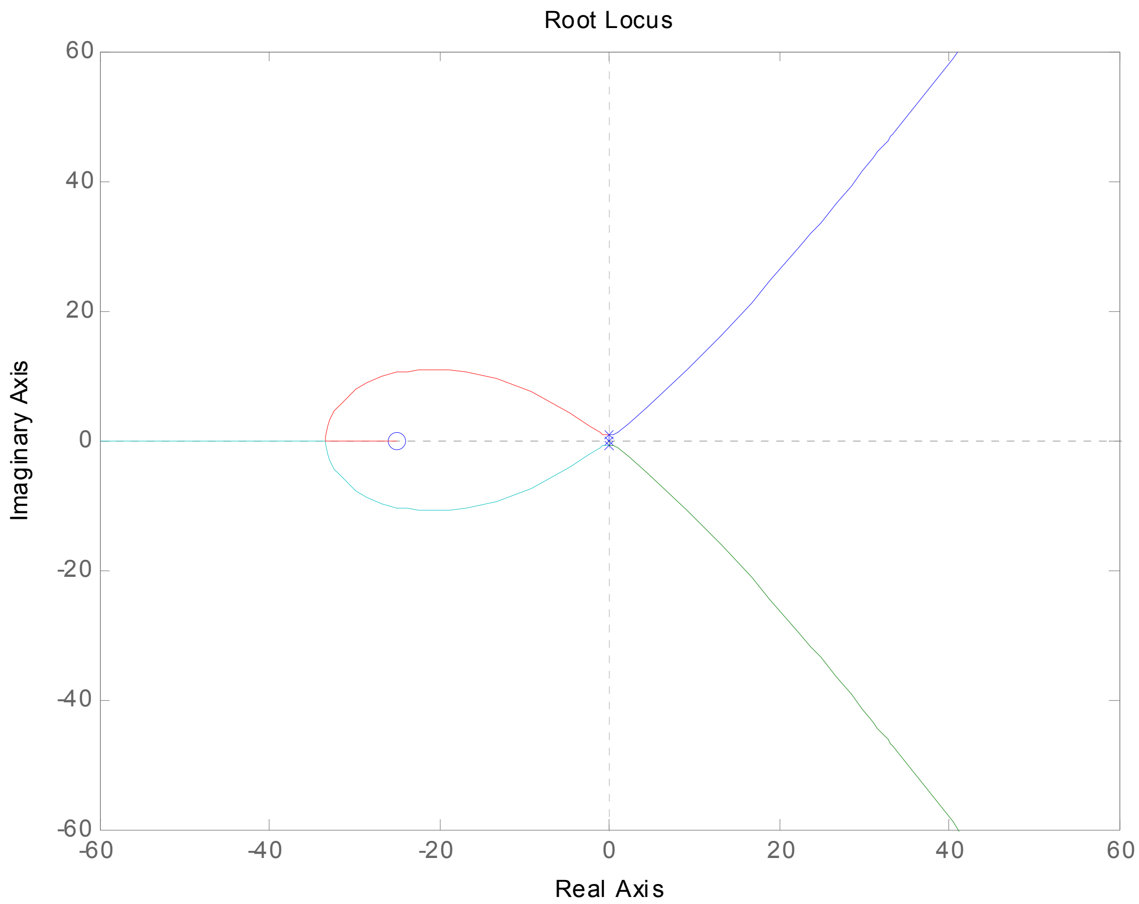
$W_c(s) = 1$



-180 fokról indul!

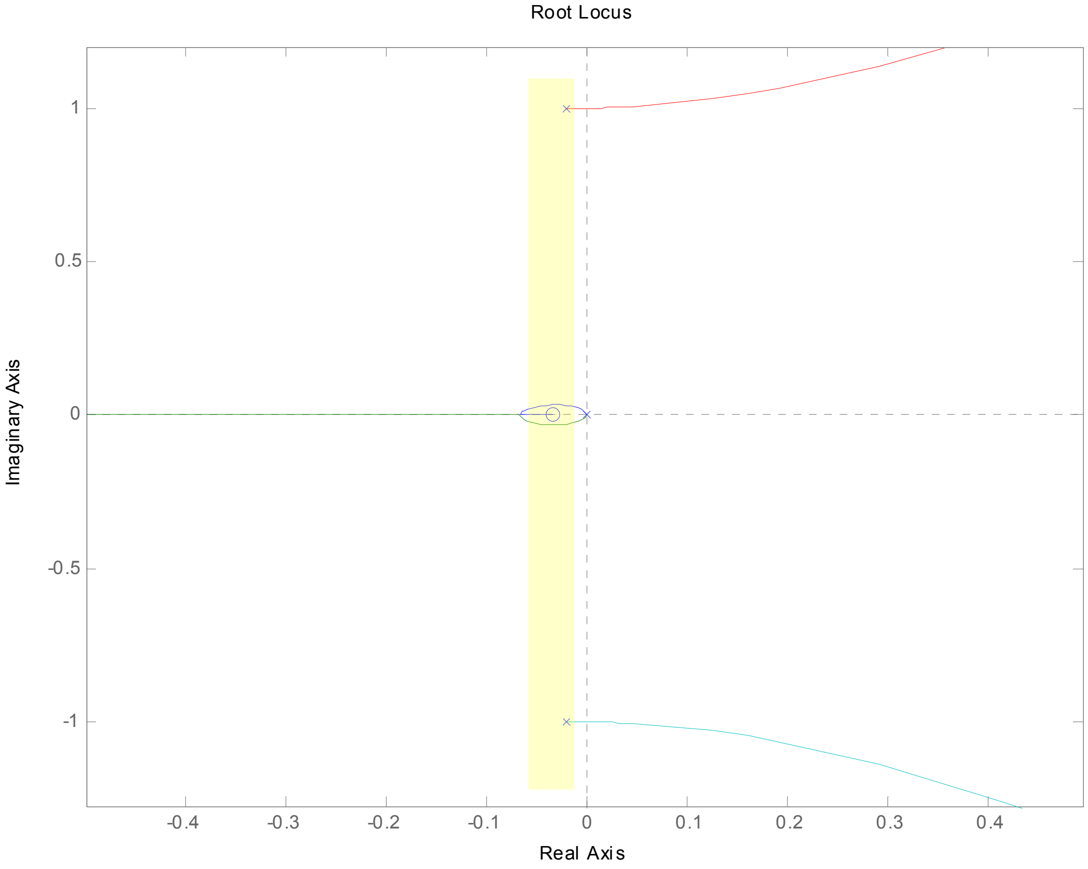
Instabil…

$W_c(s) = 1$

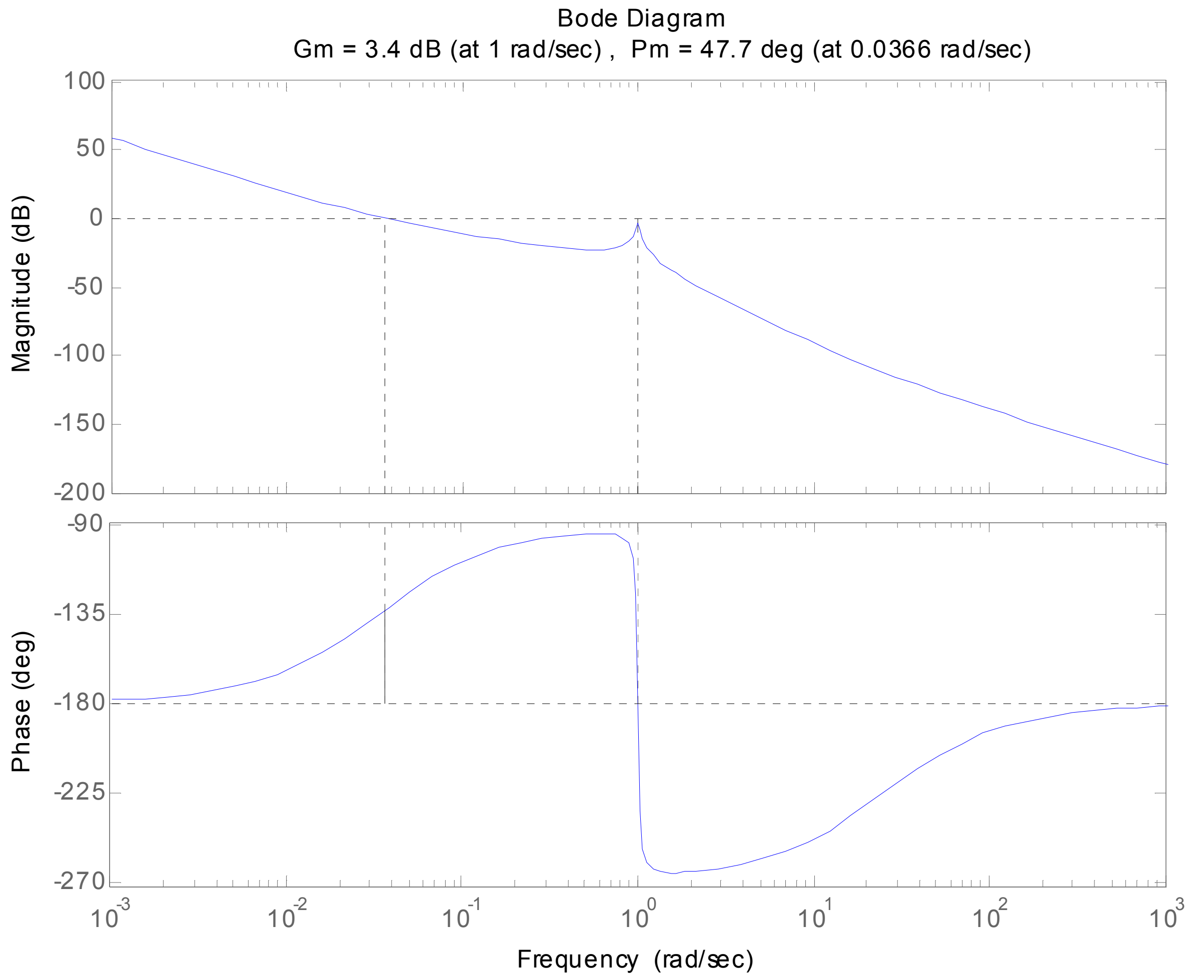


…és P szabályozóval instabil is marad

Bode diagramban soha sem lesz pozitív fázistartalék



Van olyan erősítés, amikor nincs jobboldali pólus



És ekkor persze a fázistartalék is pozitív (50 fok)