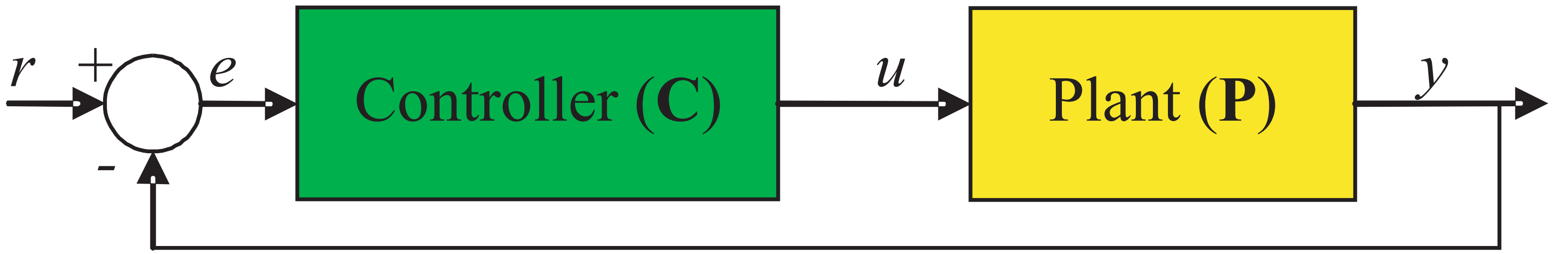
Szabályozástechnika

Tantermi gyakorlat 3

Soros kapcsolás



A hurokátviteli függvény:

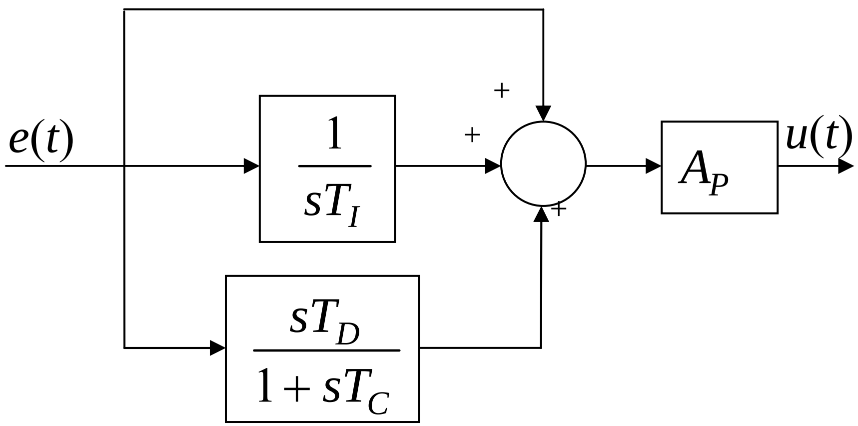
$$W_o(s) = W_c(s)W_p(s) = \frac{K}{s^i}W_{o1}(s), \quad W_{o1}(0) = 1$$

A K körerősítés és az *i* típusszám befolyásolja a szabályozási kör követési és zavarelnyomási tulajdonságait

Soros kompenzálás alaptagjai

Jelölés	Típus	Időtartománybeli összefüggés	Átviteli függvény	Paraméterek
P	Arányos	$u(t) = A_p e(t)$	$W_P(s) = A_p$	A_p erősítés
I	Integráló	$u(t) = \frac{1}{T_I} \int_{\tau=0}^{t} e(\tau) d\tau$	$W_I(s) = \frac{1}{sT_I}$	T_I integrálási időállandó
D_i	ideális Deriváló	$u(t) = T_D \frac{d}{dt} e(t)$	$W_{D_i}(s) = sT_D$	T_D deriválási időállandó
D	közelítő Deriváló	$T_D \dot{e}(t) = u(t) + T_C \dot{u}(t)$	$W_D(s) = \frac{sT_D}{1 + sT_C}$	T_D (deriválási) T_C időállandó

Soros kompenzálás típusai:



A szabályzók átviteli függvényei: $W_P(s)$ $W_{PI}(s)$ $W_{PD}(s)$ $W_{PID}(s)$

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=tf(5,conv(conv([10 1],[4 1]),[1 1]));
```

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

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

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

P szabályozó

Cél egy adott fázistartalék elérése: $\varphi_t = 60$

Megoldás:

1. Induljunk ki egy olyan P szabályozóból, aminek az erősítése: $A_p = 1$

2. Keressük meg azt az ω_1 frekvenciát, ahol $\varphi = 180 - \varphi_t = 180 - 60 = 120$

Legyen itt a felnyitott kör erősítése: A_1

3. A szabályozó: $A_p = \dfrac{1}{A_1}$

Korábbi analízisnél láthattuk:
a kis maradó hiba és a stabilitás ellentmondó követelmények, ha a típusszám nulla

Matlabban:

```
>> felnyitottkor_1=series(tf(1,1),szakasz);
>> ltiview
```

1. Beimportáljuk a felnyitottkor_1 átviteli függvényt
2. Megnézzük a Bode diagramot ltiviewban
3. Az egérrel a fázisdiagrammra kattintva megnézzük, hol 120 fok a fázis
4. Megnézzük, hogy ezen a frekvencián mennyi az amplitúdó
5. A szabályozó:

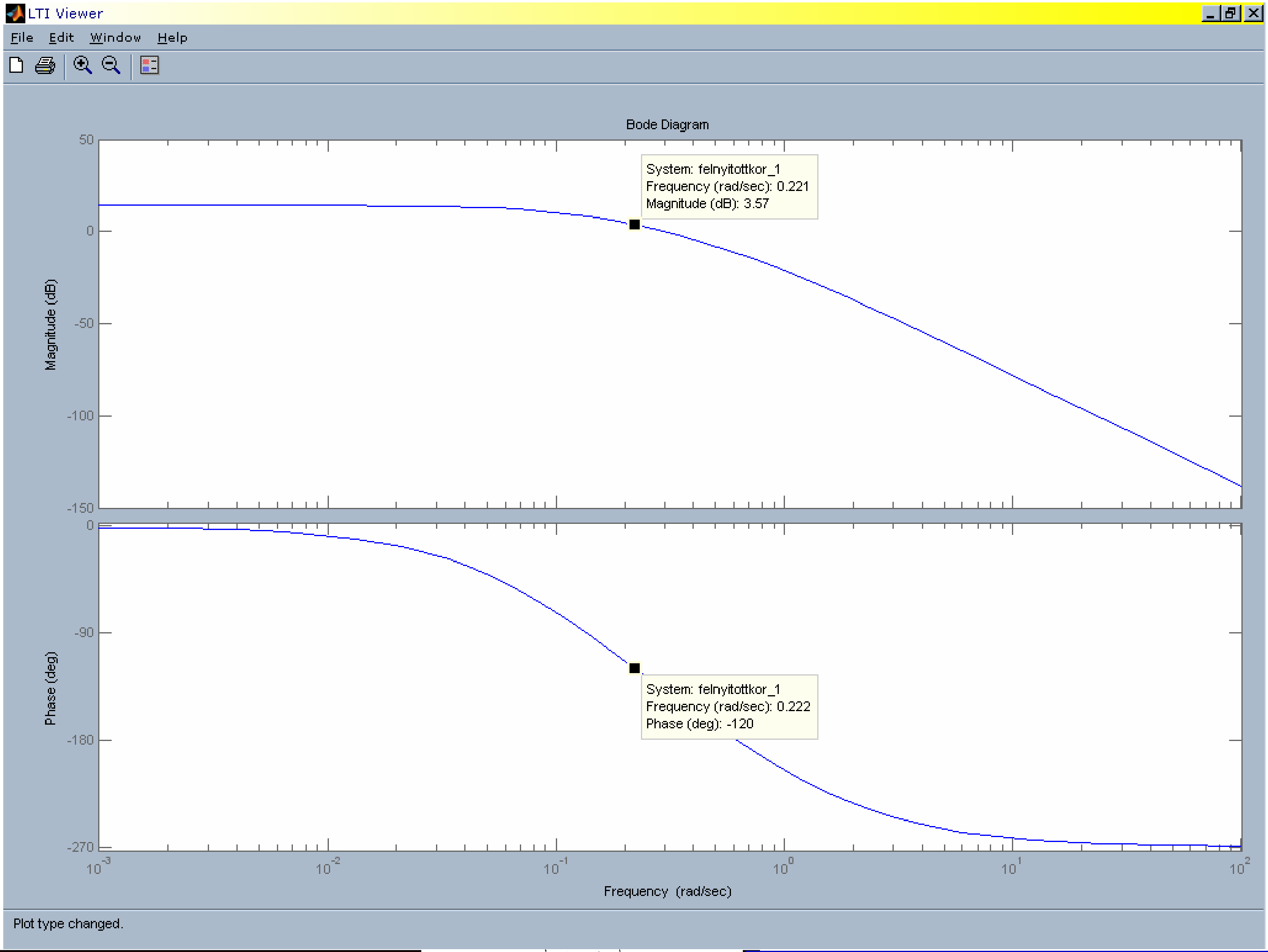
$$A_p = \frac{1}{10^{a_{dB}(\omega_c)/20}} = \frac{1}{10^{\frac{3.57}{20}}} = 0.663$$

Ellenőrzés:

```
>>felnyitottkor_p=series(tf(0.663,1),szakasz)
```

LtiView-ban beimportálás után ellenőrizhető a fázistartalék

P szabályozó



Közelítő PD szabályozó

$$W_{PD}(s) = A_P\left(1+\frac{sT_D}{1+sT_C}\right) = A_P\frac{1+s(T_D+T_C)}{1+sT_C}$$

$$v_{PD}(t) = A_P\left(1+\frac{T_D}{T_C}e^{-t/T_C}\right) = A_P(1+Ne^{-t/T_C})$$

$$N = \frac{T_D}{T_C}$$

Stratégia:

- Kiejtünk egy lassú pólust a szabályozó zérusával
- A szabályozó pólusa a felnyitott körben is egy pólus lesz, ezt gyorsra választjuk
- Az erősítést úgy állítjuk be, hogy a fázistartalék biztosított legyen

```
>> PD_T1 = tf([10 1],[10/11 1]);  % T1 = 10 pólus kiejtése
>> felnyitottKor_T1 = series(PD_T1,szakasz);
>> rlocus(felnyitottKor_T1); hold on;
>> PD_T2 = tf([4 1],[4/11 1]);            % T2 = 4 pólus kiejtése
>> felnyitottKor_T2 = series(PD_T2,szakasz);
>> rlocus(felnyitottKor_T2);
>> PD_T3 = tf([1 1],[1/11 1]);            % T3 = 1 pólus kiejtése
>> felnyitottKor_T3 = series(PD_T3,szakasz);
>> rlocus(felnyitottKor_T3);
```

Bode diagrammal magyarázva:

- A vágási frekvenciának a -20db/dekád egyenesen kell lennie, hogy legalább 45 fokos fázistartalék legyen (minél közelebb vagyunk a 2. törésponti frekvenciához, annál kisebb a fázistartalék).

- A második törésponti frekvencia után 1 dekáddal már a stabilitás határhelyzetére Kerülünk (sőt, ha a 3. törésponti frekvencia közelebb van a 2 törésponti frekvenciához, mint két dekád, akkor hamarabb.

- Ha N=10, akkor a leglassabb pólust eltolva egy dekáddal, az eltolt polús könnyen a szakasz legnagyobb törésponti frekvenciája elé jön még be, ezáltal a -20db/D egyenes nem lesz olyan hosszú, mint amilyet szeretnénk.

- Legtöbbször a második pólust toljuk el a PD szabályozóval

2. Leglassabb pólust kiejtve a 45 fokos fázistartalék az erősítéssel biztosítható:

$$W_o(s) = 5A_P \frac{1+4s}{1+\frac{4}{11}s} \cdot \frac{1}{(1+10s)(1+4s)(1+s)}$$

$$T_D + T_C = 4$$

$$N = 10$$

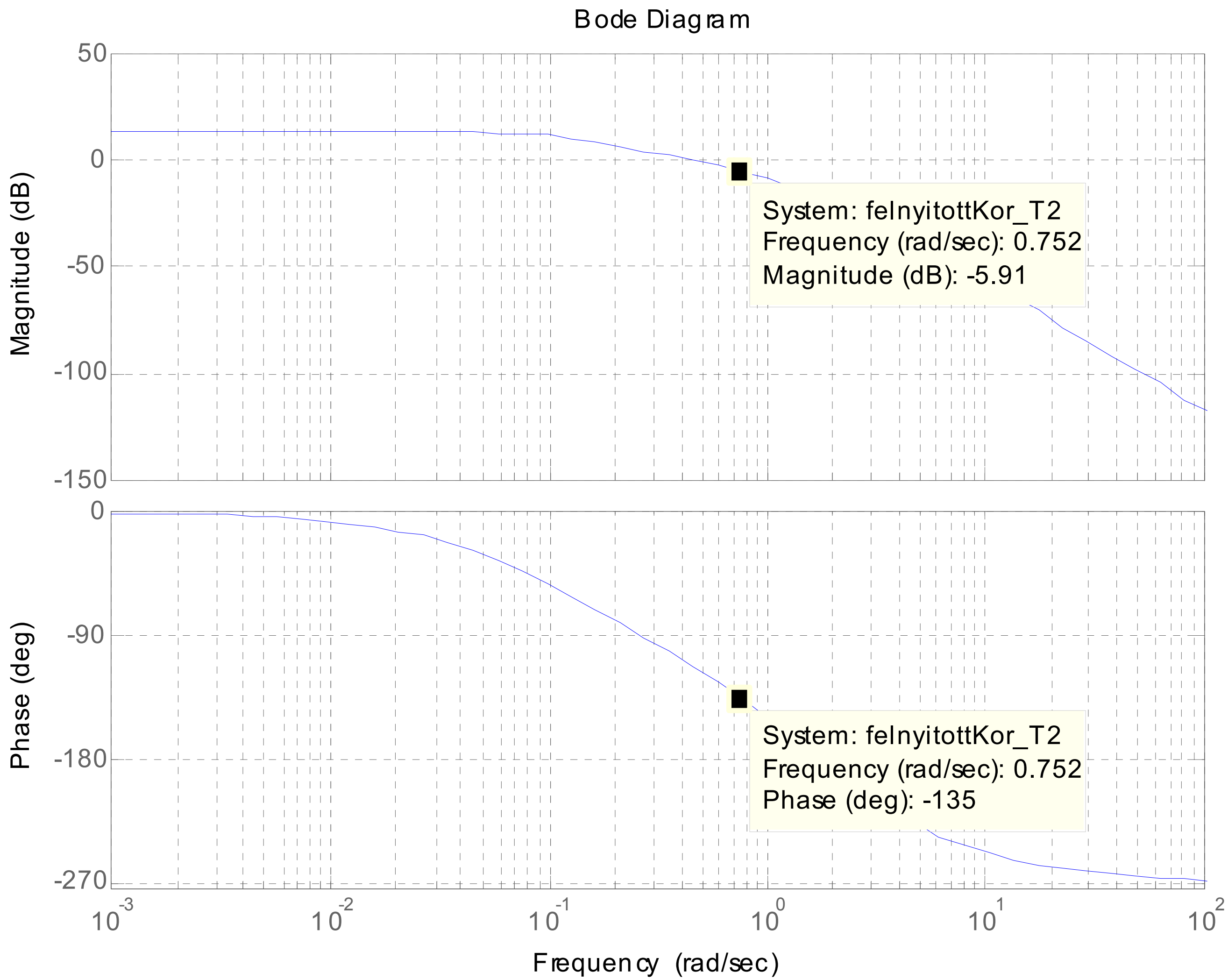
$$T_C = \frac{4}{11}$$

$$T_D = \frac{10 \cdot 4}{11} = \frac{40}{11}$$

```
>> bode(felnyitottKor_T2); grid on;
```

(Lásd köv. ábra)

$$A_p = \frac{1}{10^{a_{dB}(\omega_c)/20}} = \frac{1}{10^{-\frac{5.91}{20}}} = 1.975$$


Bode Diagram
Magnitude (dB)
50
0
-50
-100
-150
System: felnyitottKor_T2
Frequency (rad/sec): 0.752
Magnitude (dB): -5.91
Phase (deg)
0
-90
-180
-270
System: felnyitottKor_T2
Frequency (rad/sec): 0.752
Phase (deg): -135
10^{-3}
10^{-2}
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
Frequency (rad/sec)

PI szabályozó

$$W_{PI}(s) = A_P\left(1+\frac{1}{sT_I}\right) = \frac{A_P}{T_I}\frac{1+sT_I}{s}$$

Stratégia:
- Kiejtünk egy lassú pólust a szabályozó zérusával
- Az erősítést úgy állítjuk be, hogy a fázistartalék biztosított legyen

Az integrátor biztosítja az egységugrás alapjel követését nulla maradó hibával:

$$v(\infty) = \lim_{s\to 0} W_{cl}(s) = \lim_{s\to 0}\frac{\frac{1}{s}W_cW_p}{1+\frac{1}{s}W_cW_p} = \lim_{s\to 0}\frac{W_cW_p}{s+W_cW_p} = \lim_{s\to 0}\frac{W_cW_p}{s+W_cW_p} = 1$$

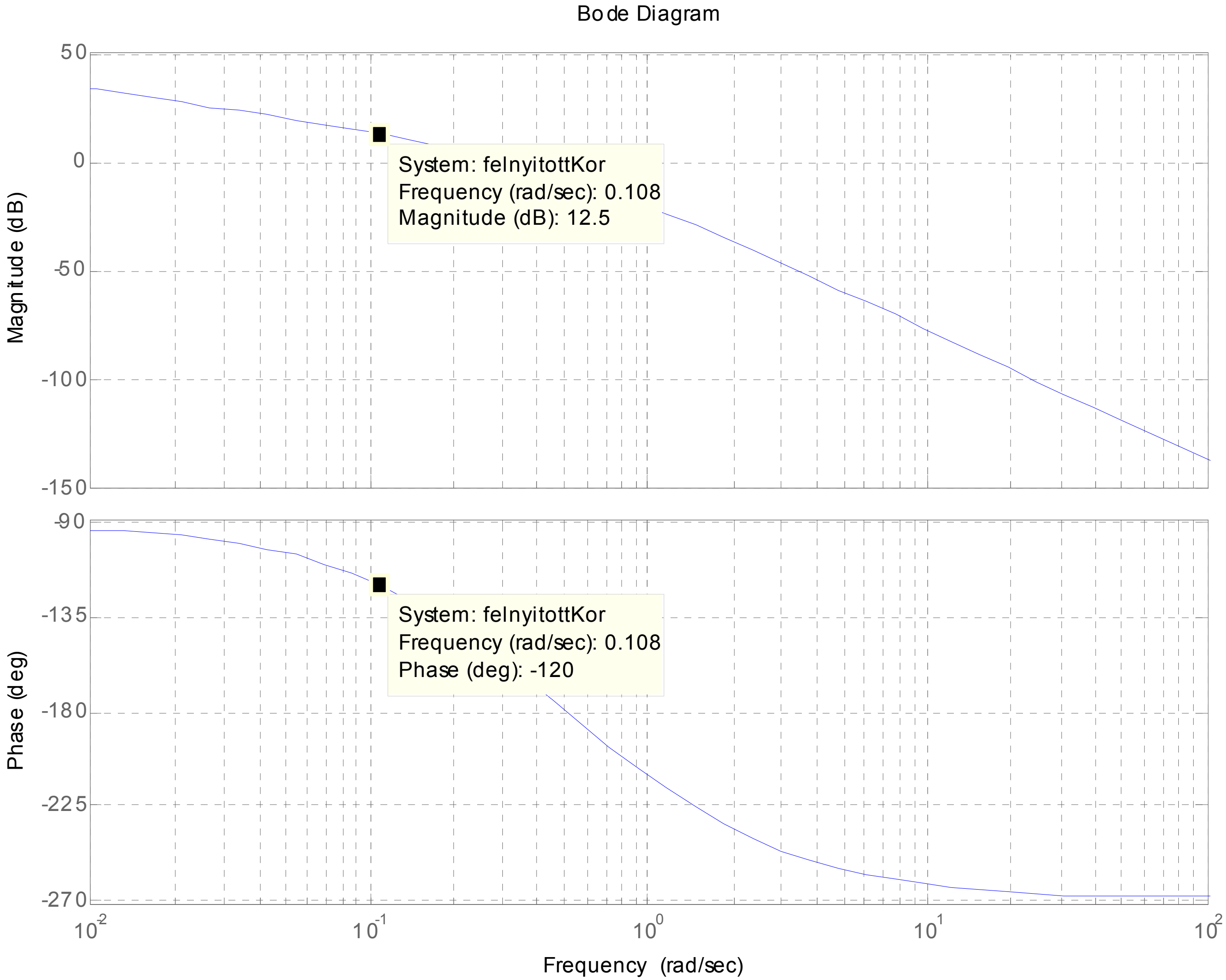
Az integrátor biztosítja az egységugrás kimeneti zavarjel elnyomását:

$$v(\infty) = \lim_{s\to 0} W_{cl}(s) = \lim_{s\to 0}\frac{1}{1+\frac{1}{s}W_cW_p} = \lim_{s\to 0}\frac{s}{s+W_cW_p} = \lim_{s\to 0}\frac{s}{s+W_cW_p} = 0$$

```
>> PI = tf(1/10*[10 1],[1 0]);
>> felnyitottKor = series(PI,szakasz);
>> bode(felnyitottKor);grid;
```

Tervezzünk 60 fokos fázistöbbletre. Ekkor a következő ábra alapján:

$$A_p = \frac{1}{10^{a_{dB}(\omega_c)/20}} = \frac{1}{10^{\frac{12.3}{20}}} = 0.2371$$


Bode Diagram
System: felnyitottKor
Frequency (rad/sec): 0.108
Magnitude (dB): 12.5
System: felnyitottKor
Frequency (rad/sec): 0.108
Phase (deg): -120
Magnitude (dB)
Phase (deg)
50
0
-50
-100
-150
-90
-135
-180
-225
-270
10^{-2}
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
Frequency (rad/sec)

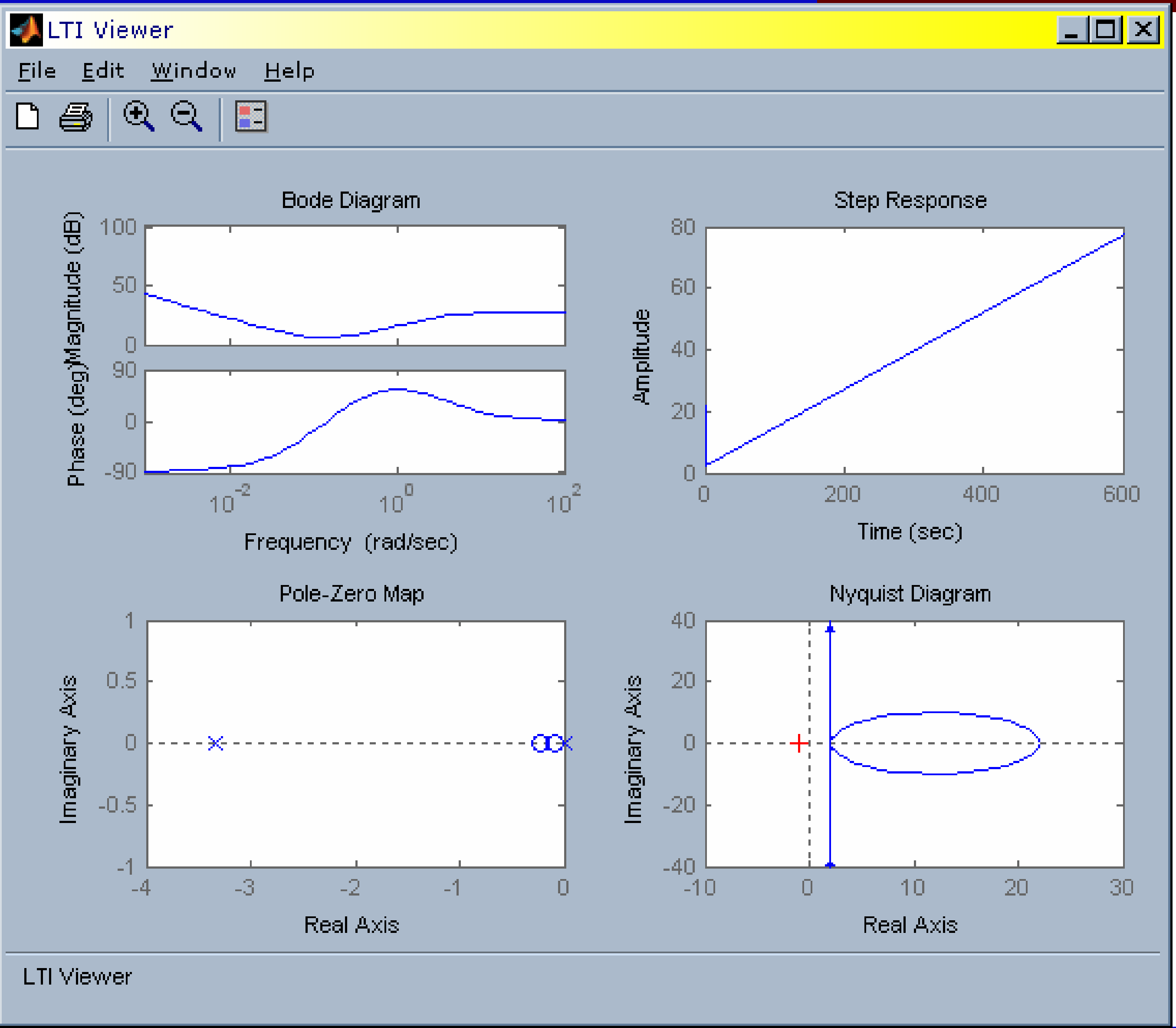
PID szabályozó

A P, I, D, tagok előnyös tulajdonságait egyesíti

$$W_{PID}(s) = A_P\left(1+\frac{1}{sT_I}+\frac{sT_D}{1+sT_C}\right) = \frac{A_P}{T_I}\cdot\frac{1+(T_I+T_C)s+T_I(T_D+T_C)s^2}{s(1+sT_C)}$$

```
>> Ap=2; Td = 3; Tc = 3/10; Ti = 16;
>> PID = tf(Ap/Ti*[Ti*(Td+Tc) Ti+Tc 1],[Tc 1 0]);
>>  ltiview({'bode';'step';'pzmap';'nyquist'},PID)
```

Tervezése az előzőekhez hasonló, azonban itt a két leglassabb pólus kiejtésére van lehetőség


LTI Viewer
File Edit Window Help
Bode Diagram
Magnitude (dB)
Phase (deg)
Frequency (rad/sec)
Step Response
Amplitude
Time (sec)
Pole-Zero Map
Imaginary Axis
Real Axis
Nyquist Diagram
Imaginary Axis
Real Axis
LTI Viewer

PID szabályozó beavatkozó jel korlátozással

A gyors működés, az előírt fázistartalék biztosítása mellett a beavatkozó jel is korlátozva van.

$$W_{PID}(s) = A_P\left(1 + \frac{1}{sT_I} + \frac{sT_D}{1+sT_C}\right) = \frac{A_P}{T_I}\cdot\frac{1+(T_I+T_C)s+T_I(T_D+T_C)s^2}{s(1+sT_C)}$$

A $\frac{T_D}{T_C}$ arány itt már nem fix.

PID szabályozó beavatkozó jel korlátozással

A gyors működés, az előírt fázistartalék biztosítása mellett a beavatkozó jel is korlátozva van.

$$W_{PID}(s) = A_P\left(1+\frac{1}{sT_I}+\frac{sT_D}{1+sT_C}\right) = \frac{A_P}{T_I}\cdot\frac{1+(T_I+T_C)s+T_I(T_D+T_C)s^2}{s(1+sT_C)}$$

A $\frac{T_D}{T_C}$ arány itt már nem fix.

A szabályozó felírható a következő alakban is:

$$W_{PID}(s) = \frac{A_p}{T_i} \cdot \frac{(1+s\tau_1)(1+s\tau_2)}{s(1+sT_c)}$$

$$\tau_1 + \tau_2 = T_i + T_c$$
$$\tau_1 \tau_2 = T_i(T_d + T_c)$$

A gyors kör eléréséhez a két leglassabb pólust ejtjük ki:

$$\tau_1 = T_1$$
$$\tau_2 = T_2$$

Ezzel a szabályozó 4 szabad paraméteréből kettőt meghatározhatunk (ha T_c paramétert ismernénk):

$$T_i = \tau_1 + \tau_2 - T_c$$

$$T_d = \frac{\tau_1 \tau_2}{T_i} - T_c$$

A T_c és A_p paraméterek meghatározásához a következő

nemlineáris egyenletrendszert oldjuk meg:

$$\left|W_0(j\omega_c)\right| - 1 = 0$$

$$\pi + \varphi(\omega_c) - \varphi_m = 0$$

$$v_{pid}(0) - u_{\max} = 0$$

Itt a φ_m fázistartalék és az $u_{\max}$ megengedett maximális beavatkozó jel ismert,

hisz elő van írva. Ismeretlen viszont az ω_c vágási frekvencia.

Így három egyenlet és három ismeretlen van. Megoldása: fsolve

Az fsolve Nemlineáris egyenletrendszerek megoldására használható.

```
 %Specifikációk
A=5;T1=10;T2=4;T3=1;
 pm=pi/4;
 umax=10
  % Polus zerus kiejtes
    tau1=T1;
    tau2=T2;
TT=[T1 T2 T3];
global A TT umax phim
%------ kezdeti ertekek fsolvenak -----
 wc=1/TT(3);
 Ap=umax*(TT(1)+TT(2)-TT(3))*TT(3)/TT(1)/TT(2);
 Tc=TT(3);
 x0=[Ap Tc wc]';
 x=fsolve('gyak2fs',x0);
 Ap=x(1); Tc=x(2); wc=x(3); tau1=T1; tau2=T2;
```

```
%------- PID parametereinek beallitasa
Ti=tau1+tau2-Tc;
    Td=tau1*tau2/Ti-Tc;
    vpid0=Ap*(1+Td/Tc)

    numcs_pid2=Ap/Ti*[Ti*(Td+Tc) Ti+Tc 1];
    dencs_pid2=[Tc 1 0];
    syscs_pid2=tf(numcs_pid2,dencs_pid2)
```

Az fsolve által meghívott függvény, ami az egyenletrendszert reprezentálja:

```
function f=gyak3fs(x)

global A TT umax phim

Ap=x(1); Tc=x(2); wc=x(3);

f1=Ap*A/(TT(1)+TT(2)Tc)/(wc*sqrt((1+wc^2*TT(3)^2)*…
(1+wc^2*Tc^2)))-1;
f2=pi-pi/2-atan(wc*TT(3))-atan(wc*Tc)-phim;
   f3=Ap*TT(1)*TT(2)/(TT(1)+TT(2)-T)c/Tc-umax;
   f=[f1 f2 f3]';
```

Az fsolve egy kezdeti x értékről indulva hivja meg a gyak3fs függvényt.
Mivel az egyenletrendszer baloldalának kiértékelése a kezdeti értéknél nem nulla,
Ezért az x vektort hangolva az fsolve addig hivja a gyak3fs függvényt, amíg az
közel nulla vektorral nem tér vissza.

PID szabályozás holtidővel

A felnyitott kör:

$$W_o(s) = \frac{5A_p}{T_I} \cdot \frac{1 + (T_I + T_C)s + T_I(T_D + T_C)s^2}{(1 + sT_C)s} \cdot \frac{1}{(1+10s)(1+4s)(1+s)} \cdot e^{-sT_h}$$

A megoldandó egyenletrendszer:

$$\frac{5A_P}{(14 - T_C)\omega_c\sqrt{1 + \omega_c^2 T_C^2}\sqrt{1 + \omega_c^2}} - 1 = 0$$

$$\pi - \frac{\pi}{2} - \arctan T_c\omega_c - \arctan \omega_c - \omega_c T_h - \frac{\pi}{3} = 0$$

$$A_p \frac{\frac{40}{14 - T_C}}{T_C} - 10 = 0$$