Sistema Realimentados

EP29 - Projeto do controlador proporcional derivativo em frequência

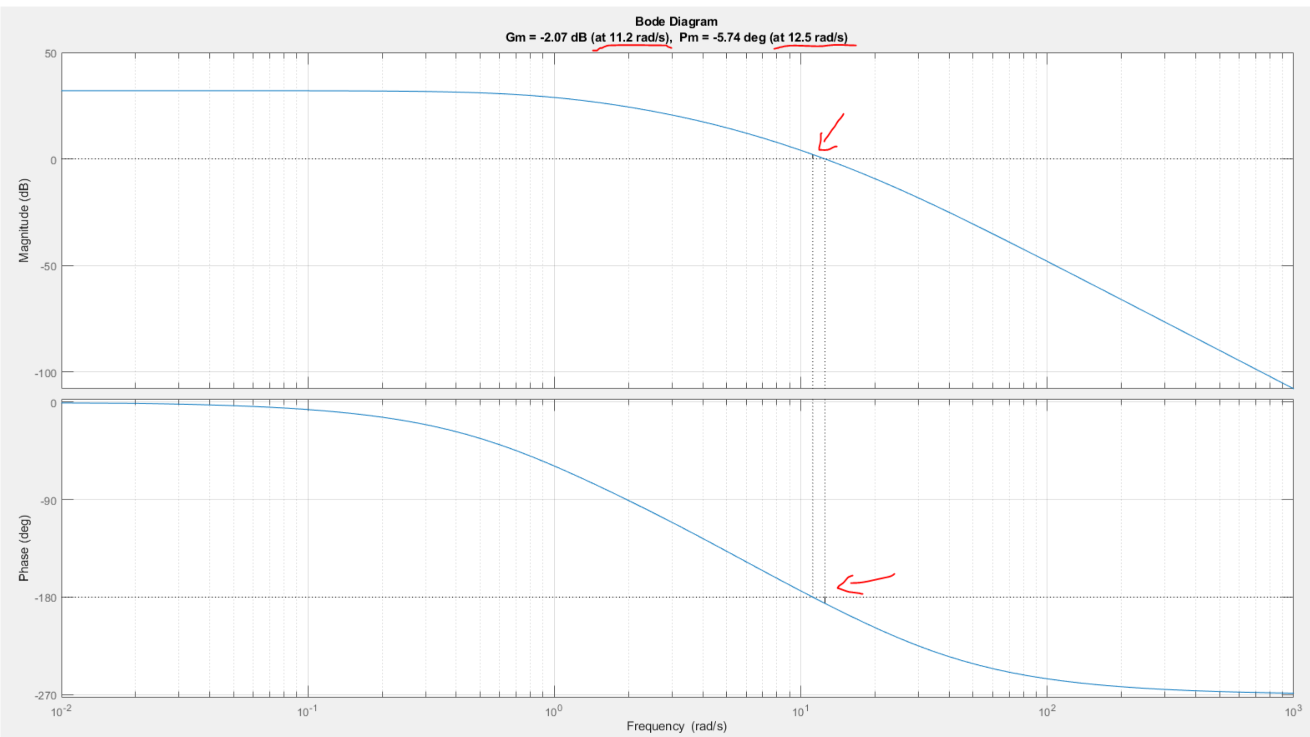
Data: 20 de junho

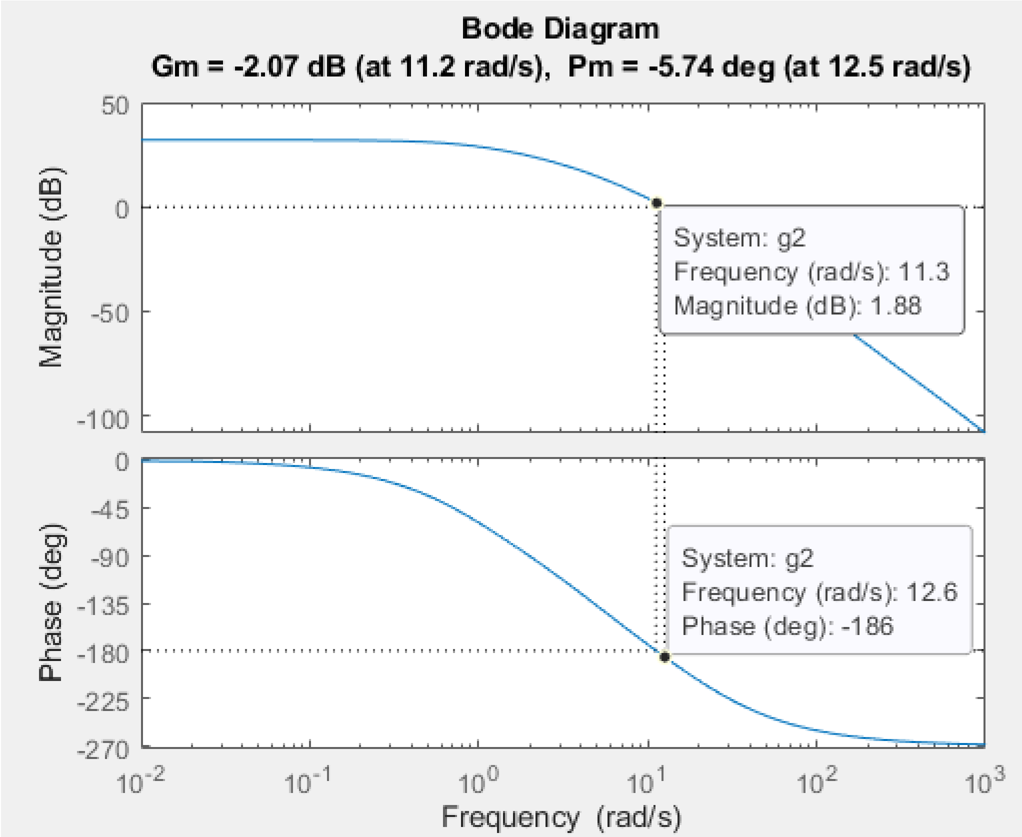
DIONATAS SANTOS BRITO

FILIPE FERREIRA DE OLIVEIRA

1) Verifique se o sistema cujo gráfico de Bode mostrado é estável em malha fechada

- Os **diagramas de Bode** mostram a resposta em frequência, ou seja, as alterações de **magnitude** e **fase** em função da frequência.
- A informação em um diagrama de Bode pode ser utilizada para quantificar a estabilidade de um sistema de malha fechada ao utilizar as margens de fase e de ganho.
- Margens de ganho e de fase representam a distância entre os pontos em que a instabilidade pode ocorrer. Quanto maior a distância ou a margem, melhor; pois maiores margens de ganho e fase significam mais estabilidade.
- MF = -2.07 dB e MF = -5.47°





A margem de ganho é definida como **"O quanto se deve adicionar em dB para que o sistema se torne instável (cruzar o -1)"**, olhando para a questão vemos que:

- MG = 0 - 1.88dB = -1.88dB aproximadamente.

- MG ultrapassou o 0db, se conclui que cruzou o ponto -1.

- A margem de ganho negativa indica que, se o ganho do sistema for aumentado, o sistema se tornará instável antes mesmo de alcançar o ganho unitário (0 dB)

- Para a estabilidade devemos diminuir o ganho.

A margem de fase é definida como **"O quanto que o ângulo da curva deve ser rotacionada (no sentido horário) de modo a cruzar o -1"**, oque nos leva a pensar que:

- MF = (-186°)-(-180°) = -6°

- MF ultrapassou o -180, na frequência onde a magnitude é 0 dB, a fase do sistema é menor que -180° indicando que já cruzou o -1 uma vez.

- Para a estabilidade devemos diminuir o ganho afim de aumentar a fase.

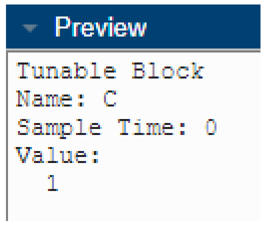
Portanto esse sistema **é instável** devido ao excesso de ganho e a uma fase excessivamente negativa**.**

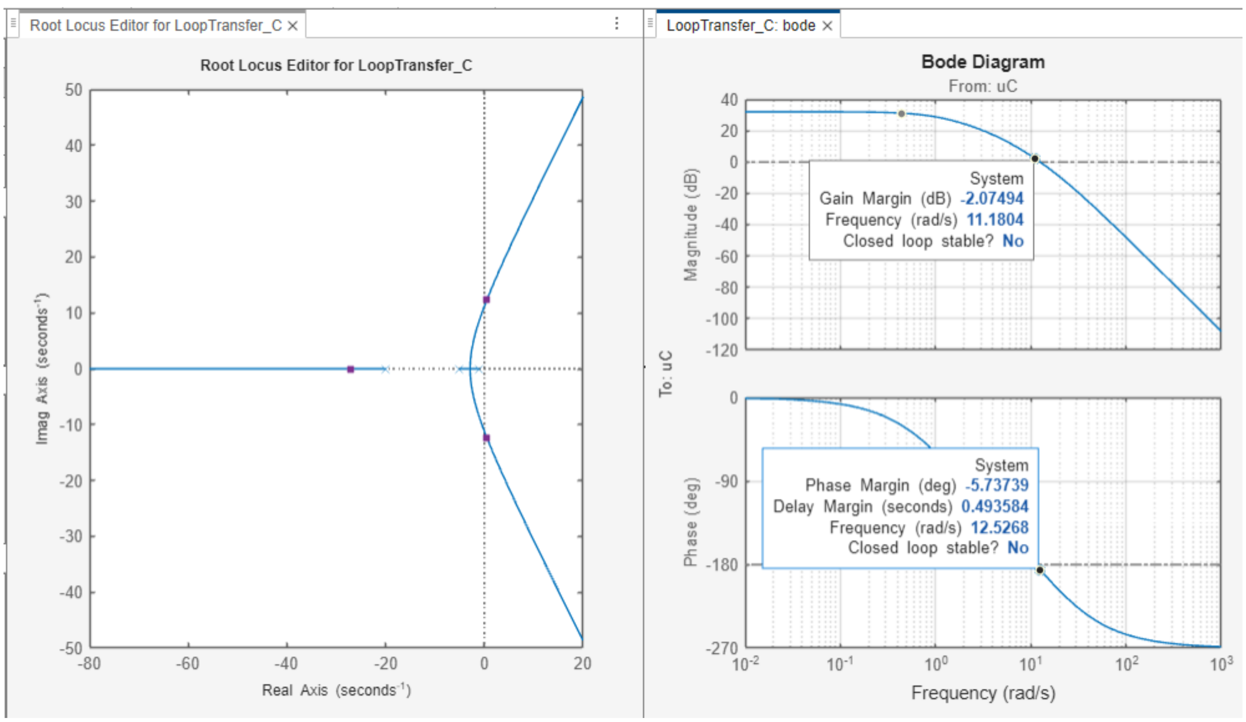
2) Analise o efeito de um ganho proporcional sobre as margens de fase e ganho deste sistema.

Seja a FT $G(s) = \dfrac{4000}{s^3 + 26s^2 + 125s + 100}$

Como vimos na questão 1 o sistema se torna é instável e agora iremos variar o valor de Kp e ver o seu efeito.

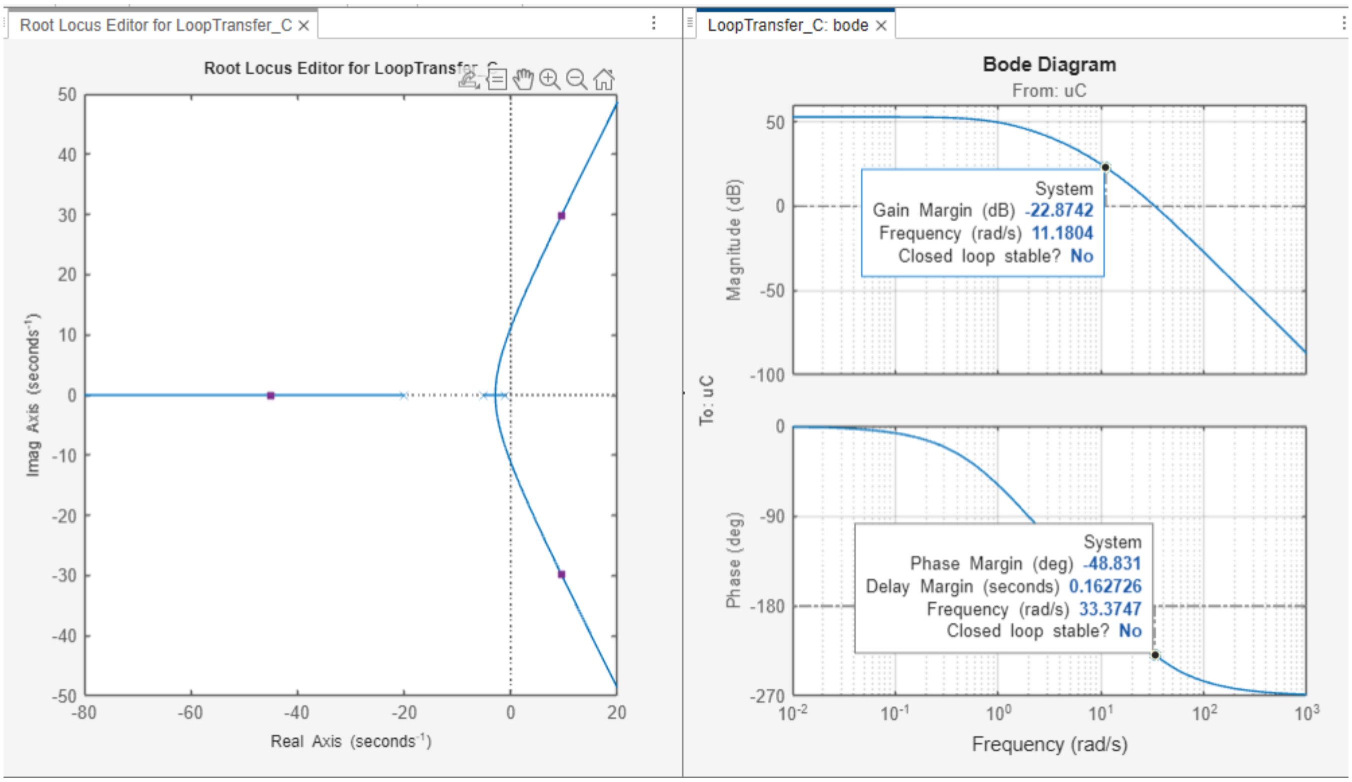
Abaixo está o LR da equação a ser análisada.

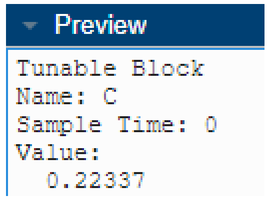


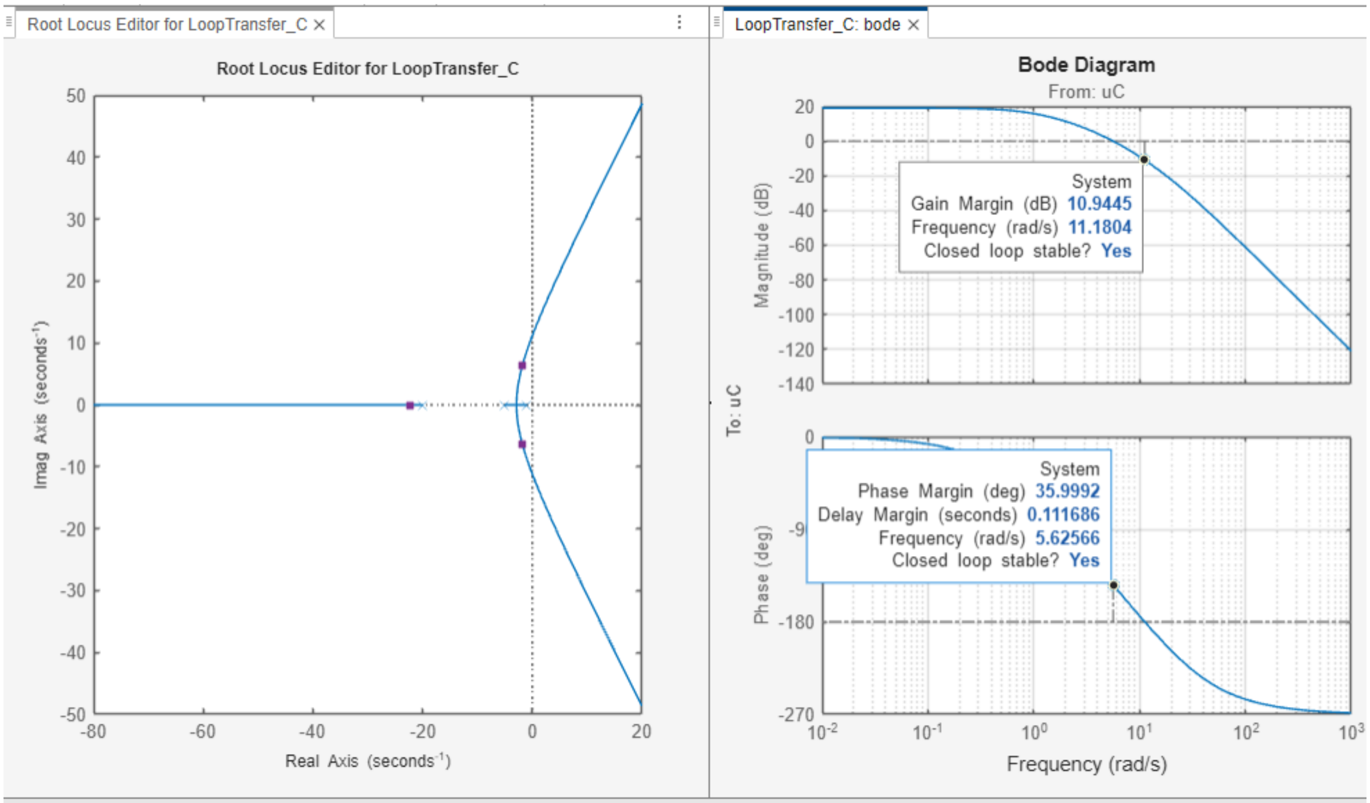


Preview

```
Tunable Block
Name: C
Sample Time: 0
Value:
  10.964
```







Feito as análises acima, é possivel concluir que:

- A medida que o Ganho Proporcional (Kp) é aumentado, o sistema fica mais instável.
- A medida que ele é diminuido, se torna estável.
- Quanto menor é o Kp, mais lento se torna o sistema por conta dos polos estarem se afastando do eixo jw.

Esse comportamento era esperado, visto que anteriormente na questão 1) e no LR, o sistema se encontra instável e qualquer acrescimo no ganho iria levar o sistema a uma maior instabilidade, sendo assim, o ùnico meio para que sistema atinja Estabilidade era reduzindo o ganho Kp, aumentando assim a MF e MG.

3) Projete um controlador PI para estabilizar o sistema e ter margem de fase > 45 graus.

Analise UP, ts, BW resultantes do projeto.

Projeto Controlador PI

$$G(s) = \frac{4000}{s^3 + 26s^2 + 125s + 100}$$

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s}$$

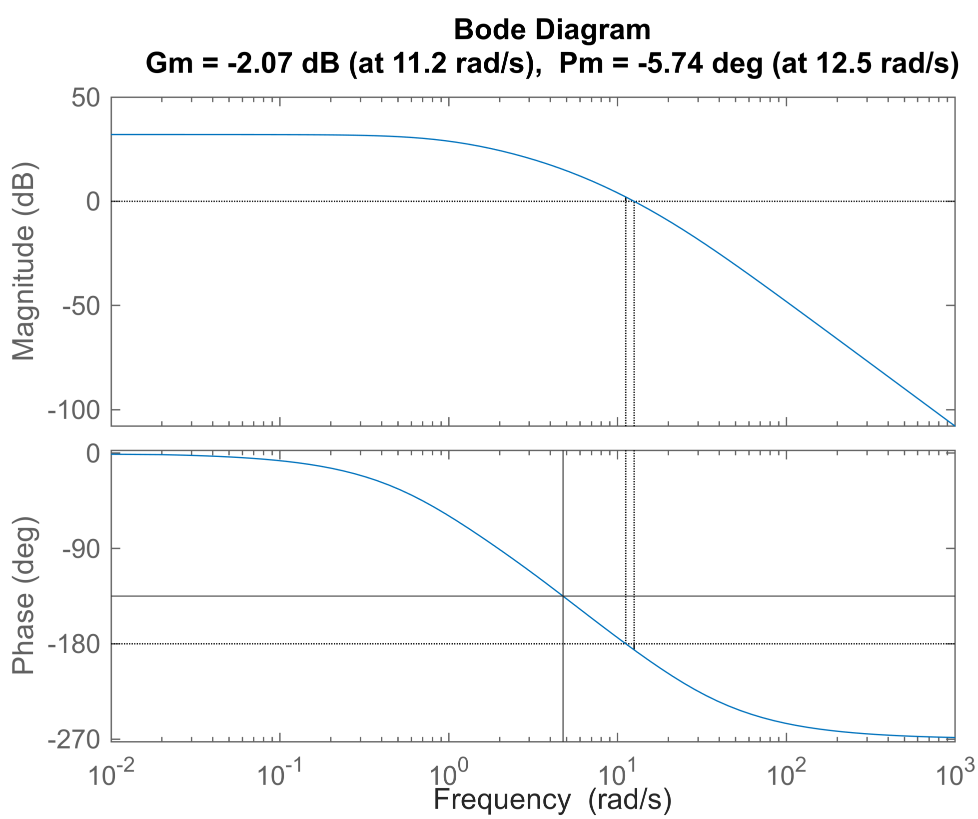
```
num = 4000;
den = [1, 26, 125, 100];
G = tf(num, den);
```

Ao se adicionar o controlador, o erro de regime ao degrau será nulo, já que o sistema se torna de tipo 1.

Para que a MF seja maior que 45 graus, precisamos que fase em $\omega_g^{'}$ seja maior que -135 graus. Observando o gráfico de fase de, nota-se que sua fase atinge -135 graus

quando a frequência é cerca de $\omega_g^{'} = 4.74 \ \ rad/s$

```
margin(G);
hold on
xline(4.75);
yline(45-180);
hold off
```



Portanto o gráfico de módulo precisa cruzar 0db em $\omega_g^{'} = 4.74 \ \ rad/s$. Para isso, ele deve diminuir cerca de 17dB, pois para $\omega = 4.74 \ \ rad/s$ o módulo é de aproximadamente 17dB.

Calcular o ganho K_p para abaixar a curva de módulo

Calculando K_p:

$$K_p = 10^{-\frac{|G(j\omega_g)|}{20}}$$

$$K_p = 10^{-\frac{17}{20}}$$

$$K_p = 0.14$$

Calcular K_i de modo que $\frac{K_i}{K_p} = \frac{\omega_g^{'}}{10}$

Substituindo $K_p = 0.14$:

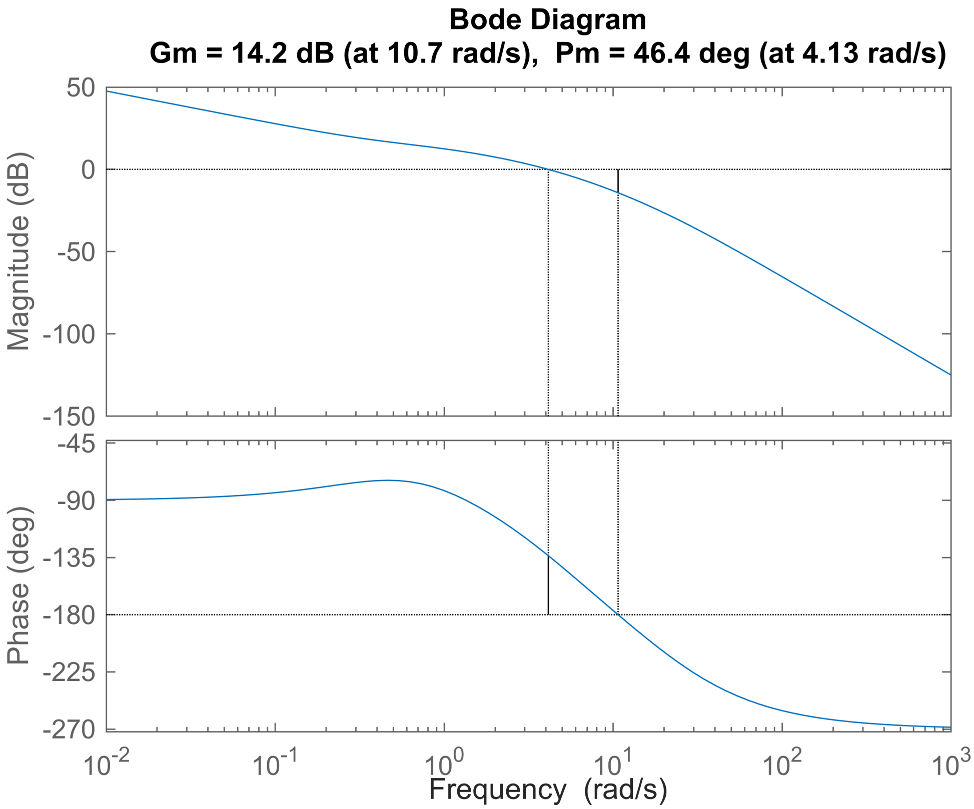
$$K_i = 0.14 \times \frac{4.74}{10}$$

$$K_i = 0.066$$

```
Kp_pi=0.14;
Ki=0.06;
s=tf('s');
PI=Kp_pi + (Ki/s)
```

```
PI =

  0.14 s + 0.06
  -------------
        s

Continuous-time transfer function.
Model Properties
```

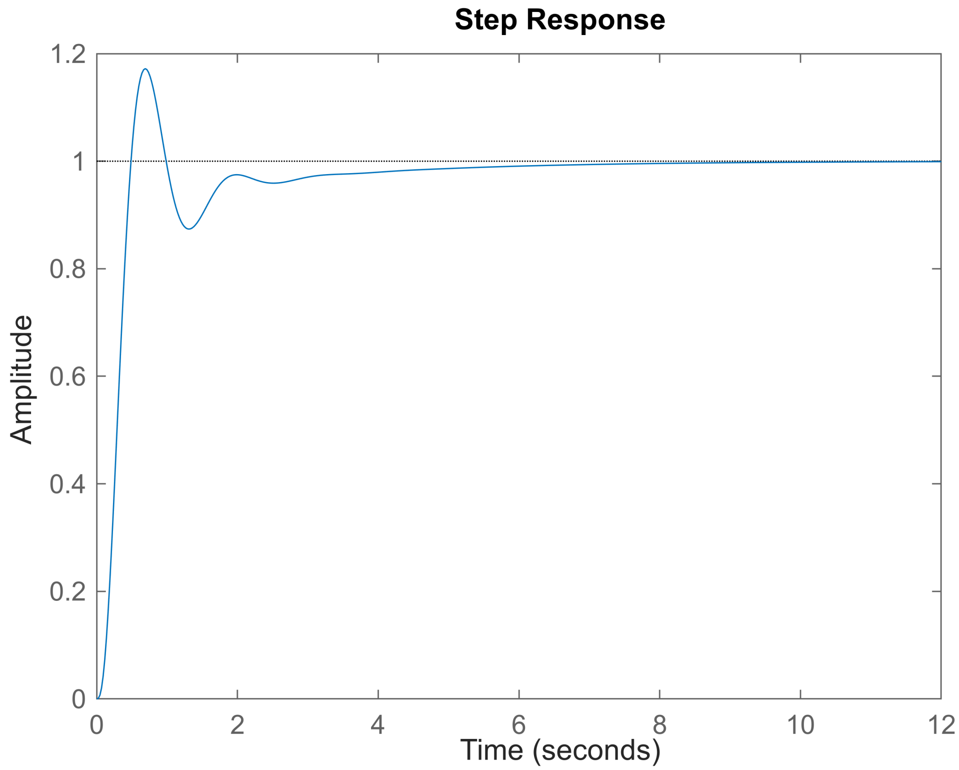
```
margin(G*PI)
```



Temos então a condição de margem de fase atendida

Analisando UP,ts e BW

```
MF_pi = feedback(G*PI, 1);
step(MF_pi)
```



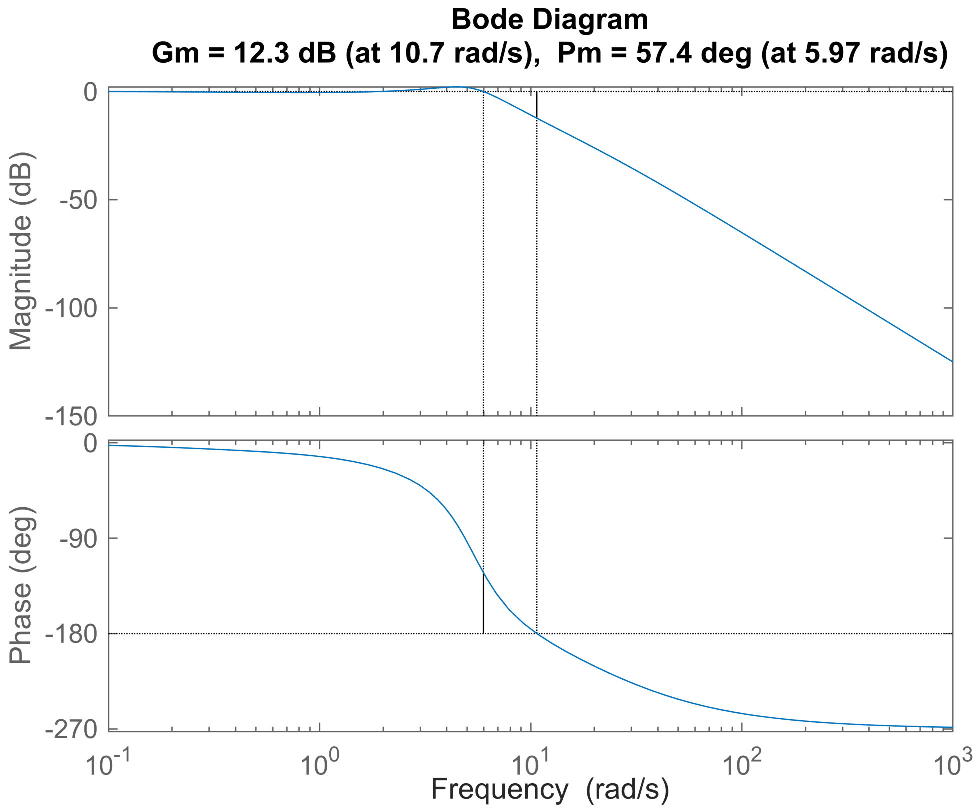

```
si_pi = stepinfo(MF_pi);
ts_pi = si_pi.SettlingTime
```

```
ts_pi = 4.0550
```

```
UP_pi = si_pi.Overshoot
```

```
UP_pi = 17.2012
```

```
margin(MF_pi)
```




```
BW_pi = bandwidth(MF_pi)
```

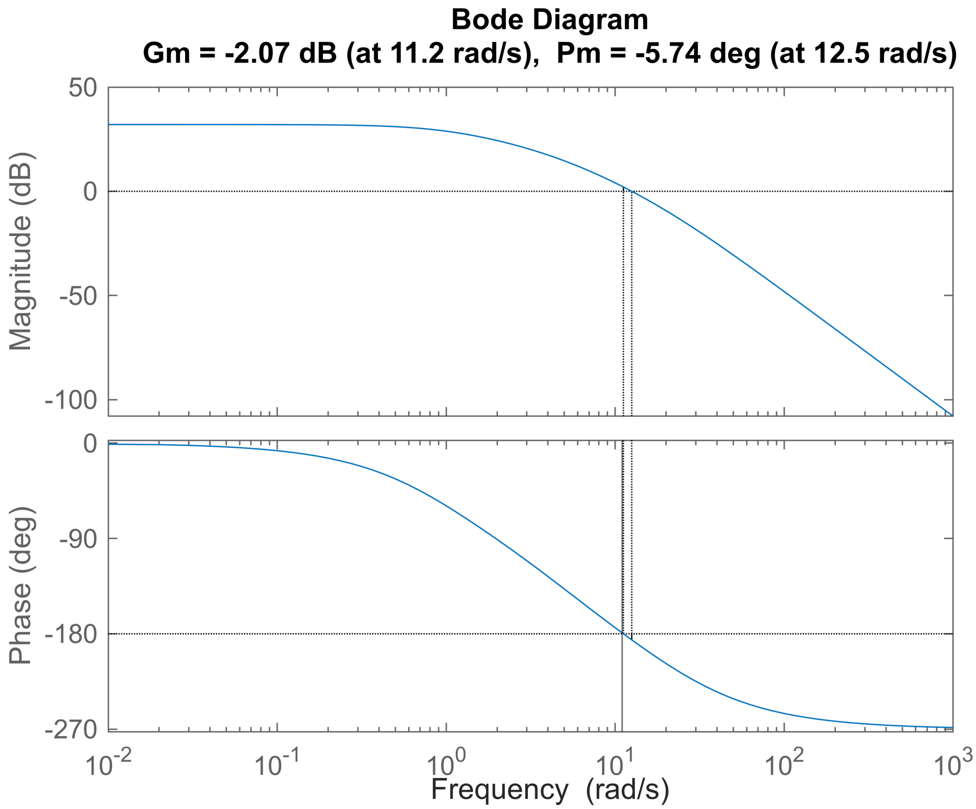
```
BW_pi = 7.0077
```

4) Projete um controlador PD (sem PI) para estabilizar o sistema e ter margem de fase > 45 graus.

Analise UP, ts, BW resultantes do projeto.

Assim como no projeto do PI, temos que olhar para o redor do **wg:**

```
margin(G);
hold on
xline(11);
hold off
```



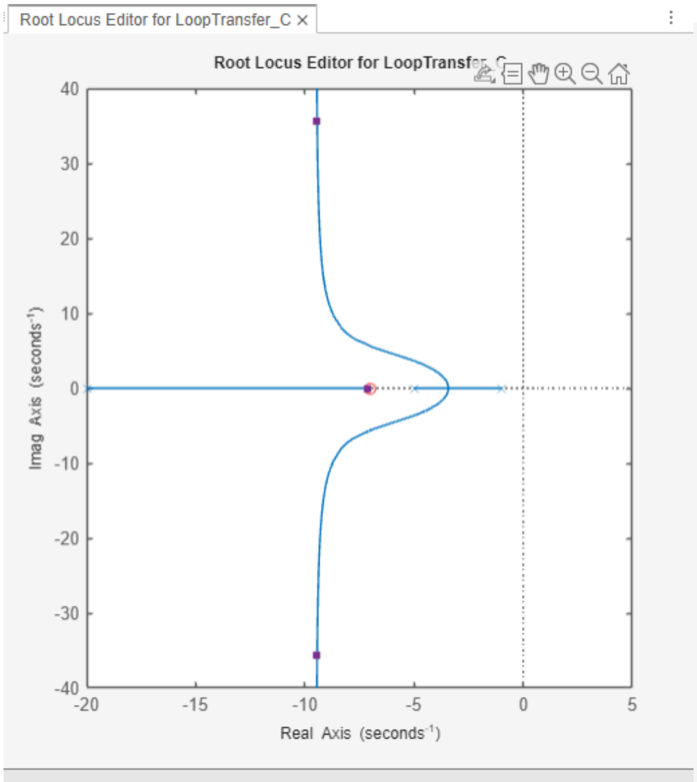
Para analisar somente o PD com o zero adicionado, plotei utilizando a função projpd os seguintes pontos de frequência:

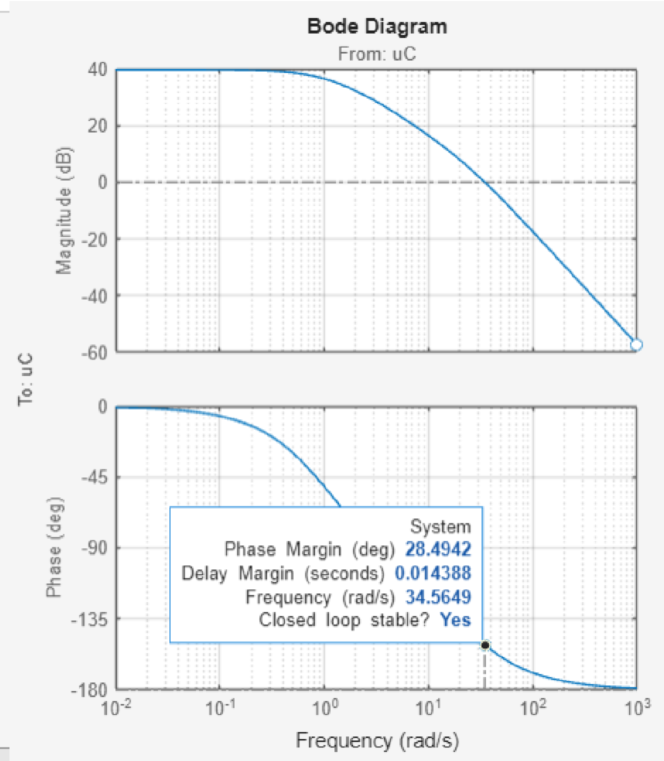
```
%F=[6,7,8,9,10,11];
%[ c4_1, MF41 ] =projpd( G1, F )
```

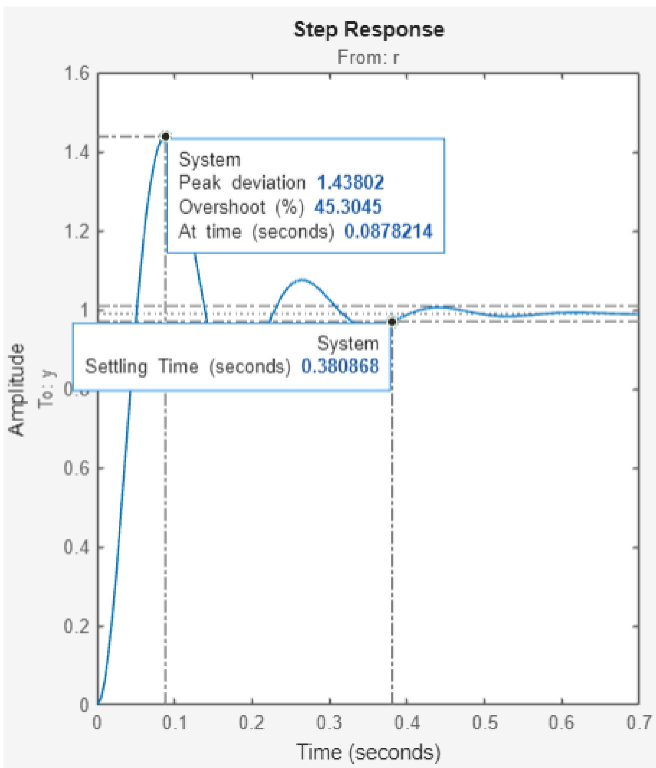
```
c4_1 =

  0.09091 s + 1

Continuous-time transfer function.
Model Properties
 MF41 = 6×1

      41.8971
      41.9745
      41.3981
      40.3473
      38.9815
      37.4319
```

Analisando eles, podemos deduzir que somente com a adição do zero não foi possível de chegar a MF >45°, então para fazer esse ajuste é necessário mudar o Kp com o zero do PD adicionado em 7rad/s.

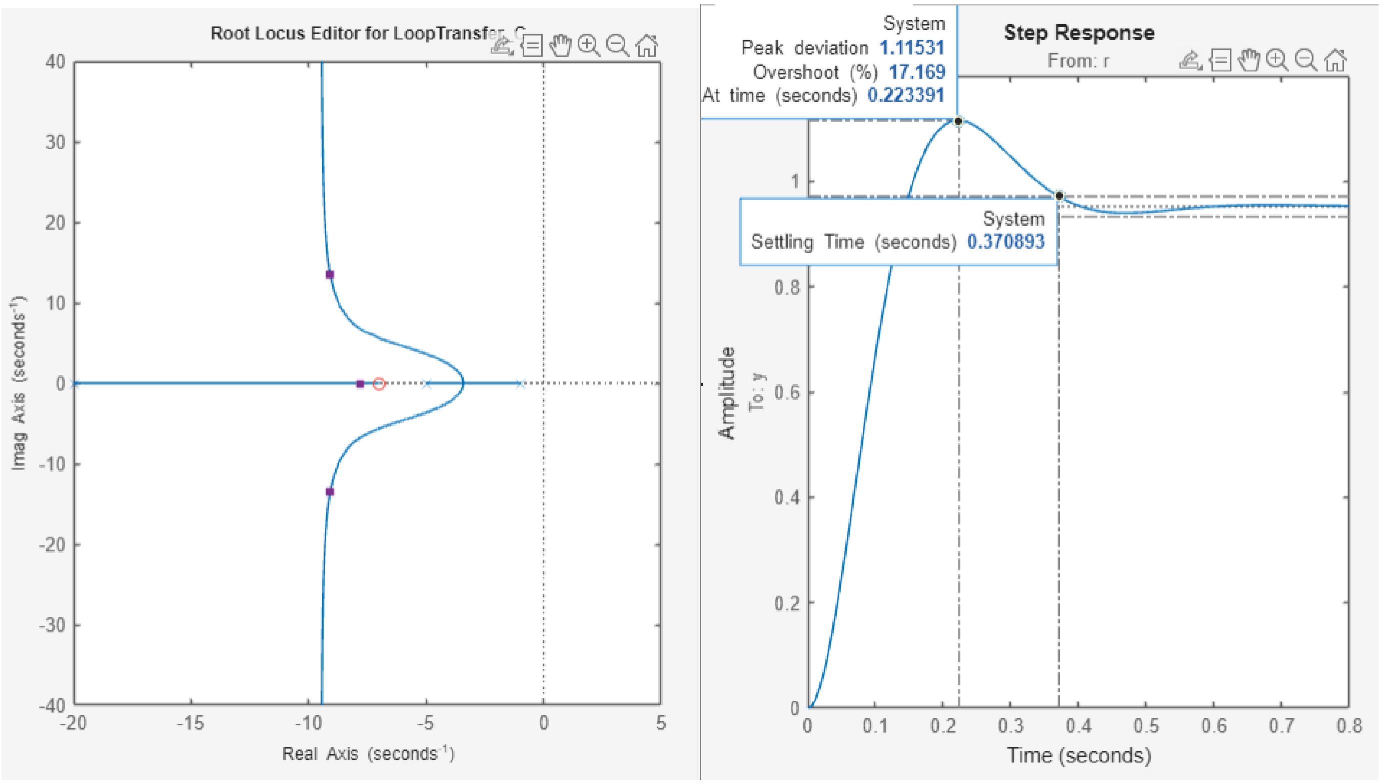
Com o Kp: 0.34188 (s+7)

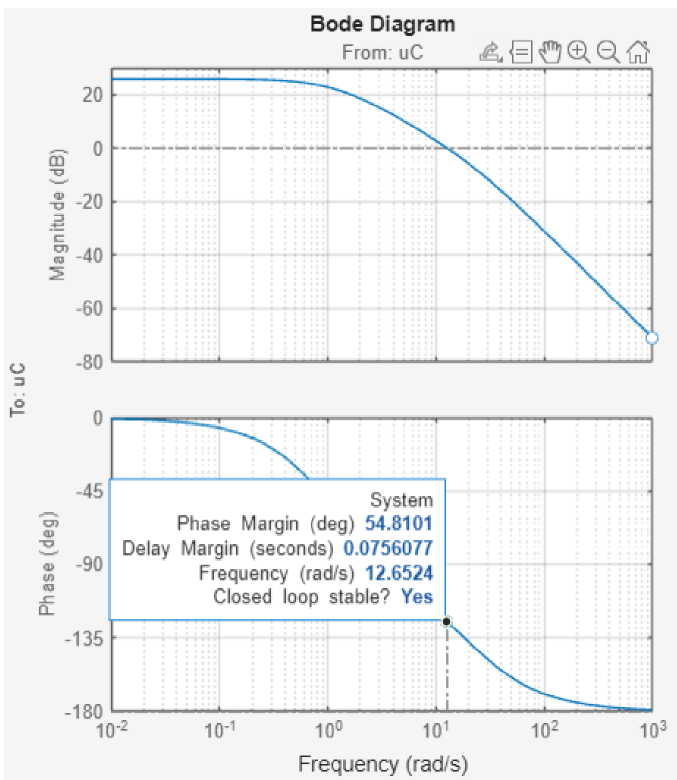






Com o Kp = 0.070651 (s+7)






```
%KP=0.070651
KP_PD= 0.070651;
C_PD= KP_PD*(s+7);
PD_MF=feedback(C_PD*G,1);
```

```
PD_BW = bandwidth(PD_MF)
```

```
PD_BW = 20.8250
```

```
%KP=0.34188
KP_PD2= 0.34188;
C_PD2= KP_PD2*(s+7);
PD_MF2=feedback(C_PD2*G,1);
PD_BW2 = bandwidth(PD_MF2)
```

```
PD_BW2 = 54.8785
```

Análise:

Como podemos observar, a margem de fase esta relacionada ao armotecimento e à sobreelevação no domínio do tempo, aumentar ela significa deixar o sistema menos oscilatório e lento.

Já a largura de faixa (BW) esta relacionada com os tempos de resposta, quanto maior for BW, menores serão os tempos de resposta deixando o sistema mais rápido e oscilatório.