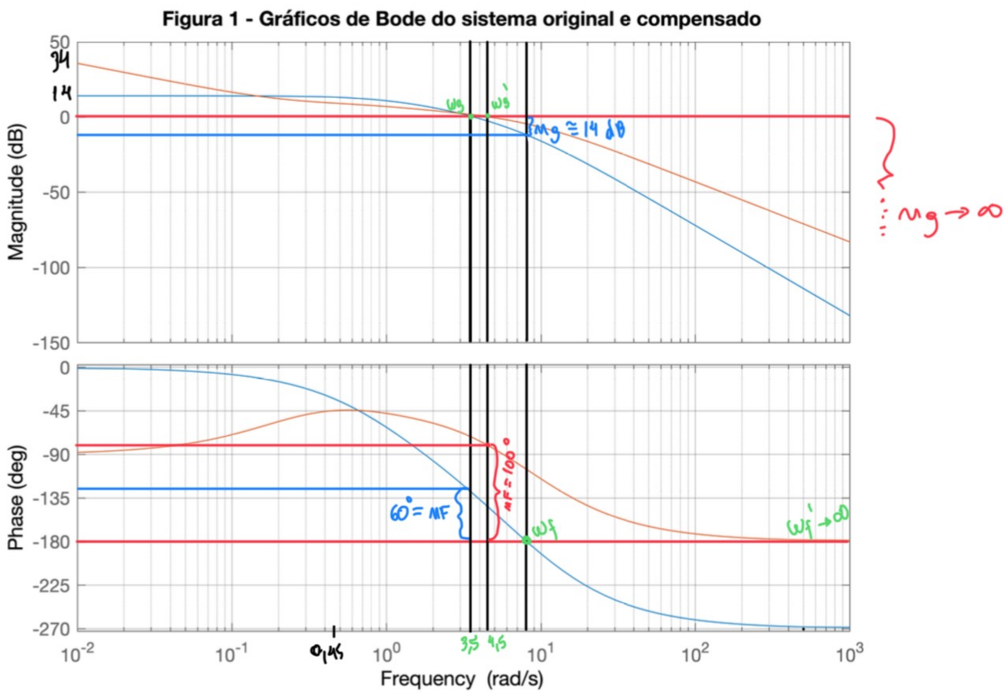
Sistemas Realimentados - 2024/1

EP27 - Projeto do controlador proporcional derivativo

Nome: Jacy Antonio Caser Junior e Thiago Henrique Genaio Mai

Data: 18 de junho

1) Margens de Fase e de Ganho do Sistema Original G(s) e Compensado C1(s)C2(s)G(s):



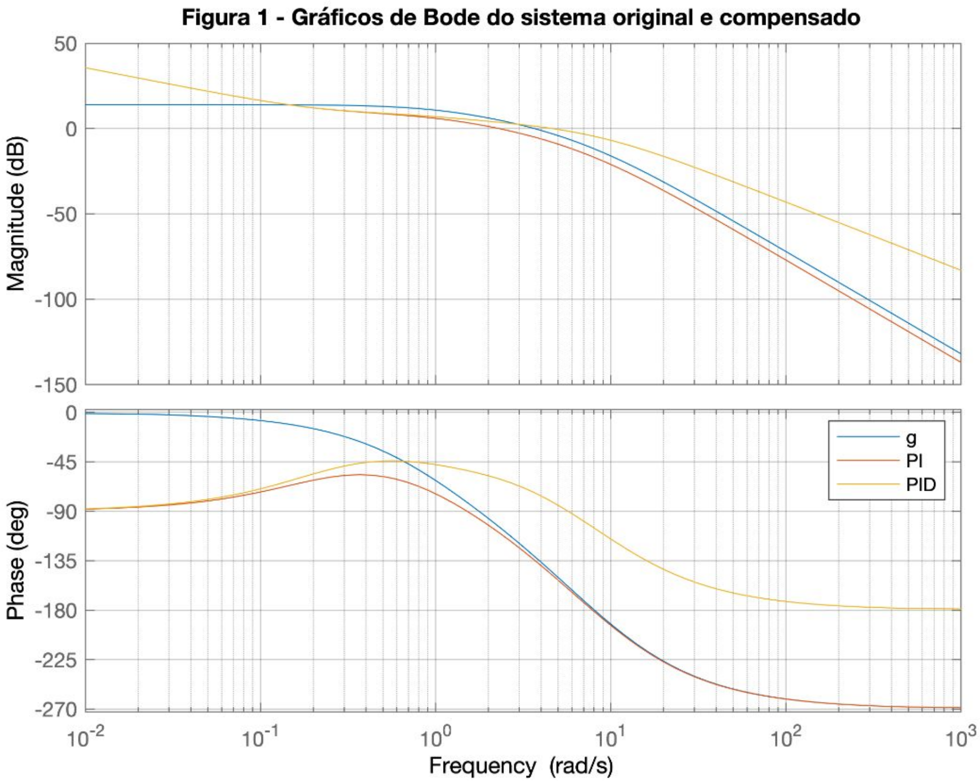
A margem de ganho do sistema original é de aproximadamente 14 dB, quando a fase é -180°. Já a margem de ganho do sistema compensado é infinita, uma vez que a fase nunca chega a -180°.

A margem de fase do sistema original é de aproximadamente 60°, quando a magnitude é 0 dB. Já a margem de fase do sistema compensado é cerca de 100°.

2) Parâmetros do Controlador PI:

São dados a função transferência não compensada $G(s)$ e o gráfico de Bode do sistema:

$$G(s) = \frac{250}{(s+1)(s+5)(s+10)}$$

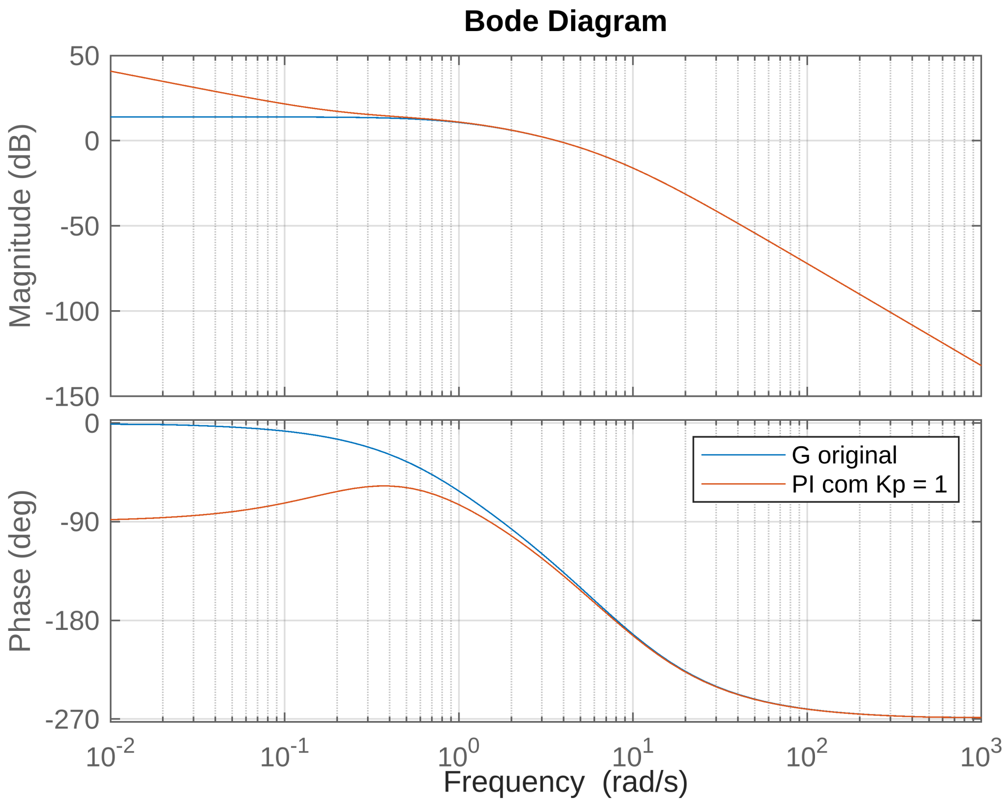


Pela análise do gráfico de Bode acima, coloca-se o zero do PI uma década antes de $\omega_g{}' = 2,2 \; rad/s$, que é a frequência de cruzamento em 0 dB do sistema com o controlador PI. Se $C_1(s)$ é a função transferência do controlador PI, então

$$C_1(s) = K_p \frac{s + K_i / K_p}{s} = K_p \frac{s + 0,22}{s}$$, onde $K_i / K_p = 2,2 / 10 = 0,22$.

Considerando $K_p = 1$, pode-se observar no gráfico a seguir que $\omega_g{}' = \omega_g = 3,5 \; rad/s$.

```
G = 250/((s+1)*(s+5)*(s+10));
C1 = (s+.22)/s;
bode(G, G*C1)
grid on
legend("G original", "PI com Kp = 1")
```



Contudo, precisa-se de $\omega_g{}' = 2,2\ rad/s$. Para isso, é necessário ajustar o K_p. Observa-se que, em 2,2 rad/s, a magnitude está 5,38 dB acima de 0 dB. Portanto, o parâmetro K_p poderá ser calculado da seguinte maneira:

$$K_p = 10^{-5,38/20} = 0,538$$

Tendo o valor de K_p e o zero do PI, calcula-se o parâmetro K_i:

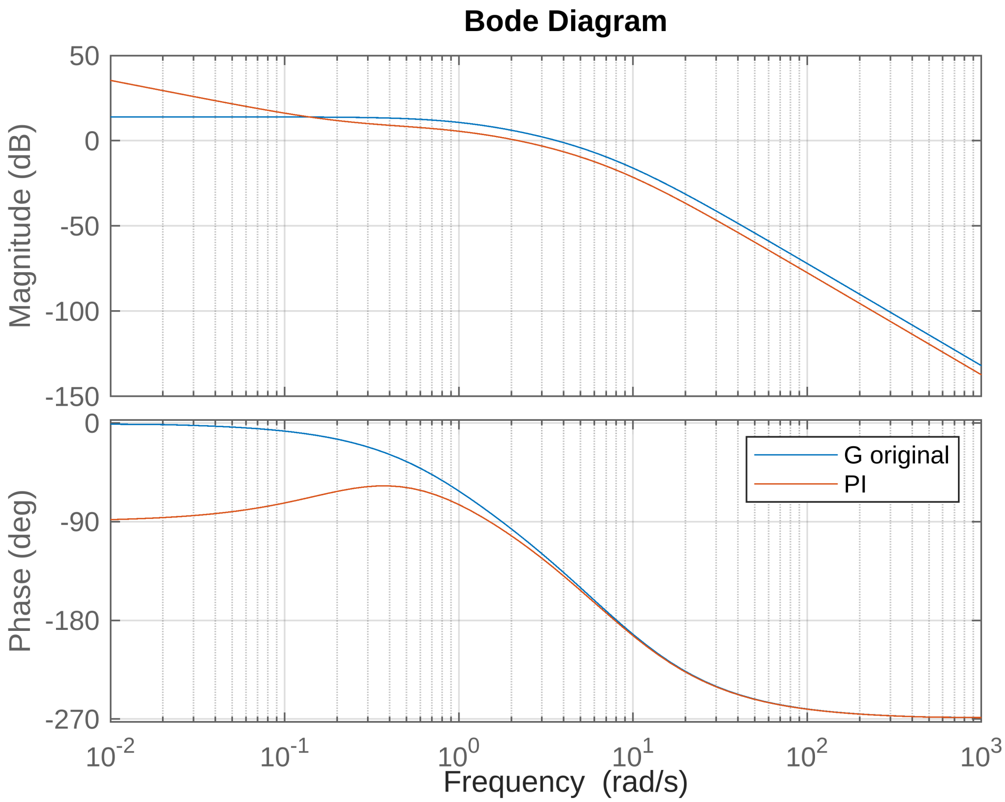
$$\frac{K_i}{K_p} = 0,22 \quad \Rightarrow \quad K_i = K_p \cdot 0,22 = 0,538 \cdot 0,22 = 0,118$$

Logo, o controlador PI será:

$$C_1(s) = K_p + \frac{K_i}{s} = 0,538 + \frac{0,118}{s}$$

O diagrama de Bode resultante pode ser visto logo a seguir.

```
C1 = .538 + .118/s;
bode(G, G*C1)
grid on
legend("G original", "PI")
```



3) Parâmetros do Controlador PD:

O zero do PD é colocado próximo de $\omega_g{}' = 2,2 \; rad/s$. Por conveniência, escolhe-se a localização do zero do PD justamente em 2,2 rad/s. Se $C_2(s)$ é a função transferência do controlador PD, então

$C_1(s) = K_p\,[(K_d\,/\,K_p)\,s + 1] = 0,455\,s + 1$, onde $K_p = 1$ e $K_d/K_p = 1\,/\,2,2 = 0,455$.

Logo, $K_d = 0,455$.

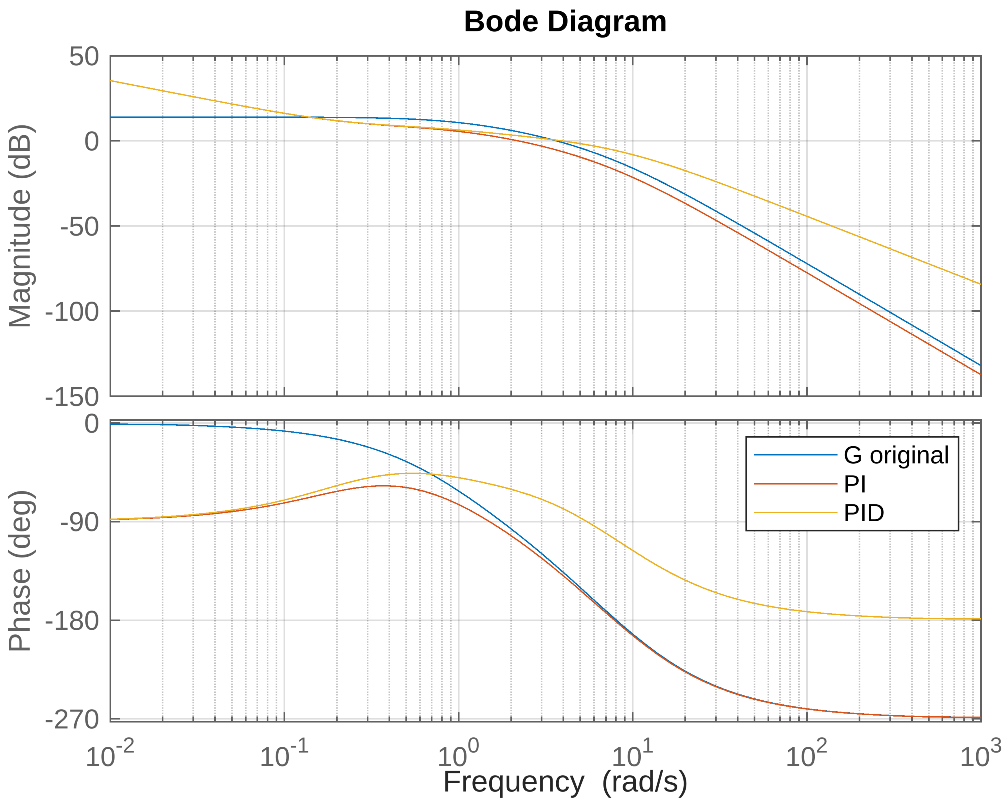
4) Função Transferência do Controlador PID

Juntando os controladores obtidos nos itens anteriores, obtém-se o seguinte controlador PID:

$$C(s) = C_1(s) \cdot C_2(s) = \left(0,538 + \frac{0,118}{s}\right) \cdot (0,455\,s + 1) = \frac{0,245\,s^2 + 0,592\,s + 0,118}{s}$$

O diagrama de Bode resultante pode ser visto logo a seguir.

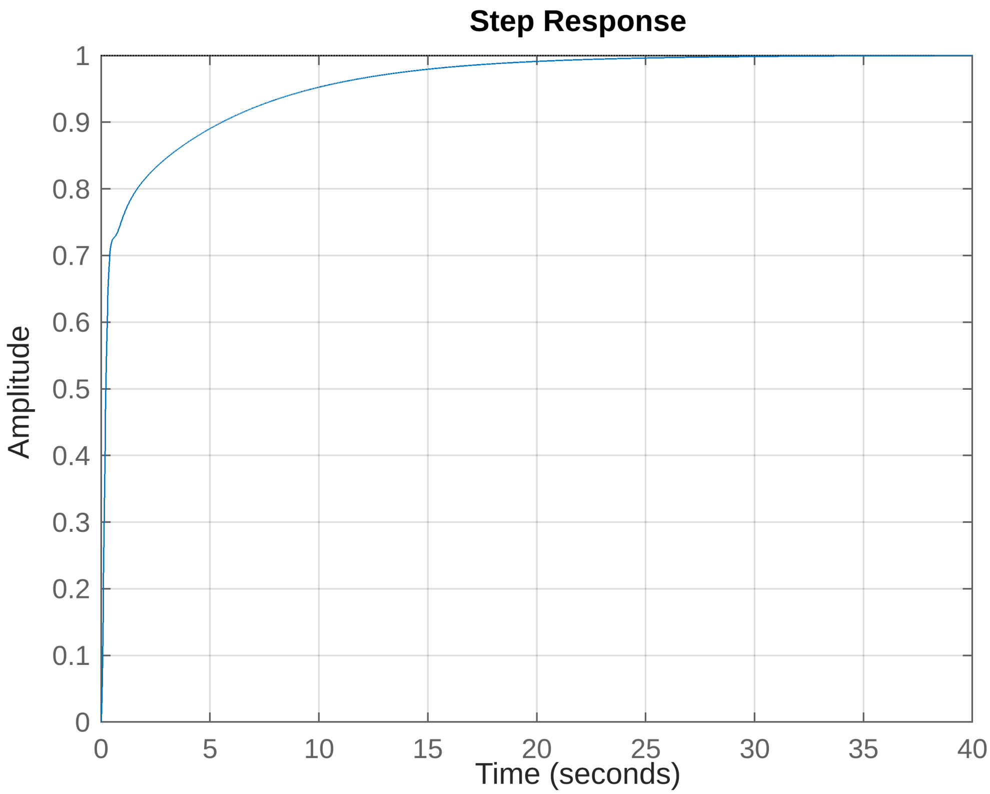
```
C2 = .455*s + 1;
bode(G, G*C1, G*C1*C2)
grid on
legend("G original", "PI", "PID")
```



5) Plotar a resposta do sistema de malha fechada verificando se é igual à da Figura 2:

No documento do EP havia um erro na Figura 2. Embora não a reproduzamos aqui para efeito de comparação, a resposta ao degrau do sistema em malha fechada de acordo com os parâmetros calculados neste EP é apresentada logo abaixo. Levando em consideração que o diagrama de Bode do PID apresentado acima se aproxima muito do que foi proposto no EP, espera-se que a resposta ao degrau também seja muito próxima.

```
step(feedback(G*C1*C2, 1))
grid on
```


Step Response
Amplitude
Time (seconds)
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
0
5
10
15
20
25
30
35
40