

Sistemas Realimentados - 2023/2

Nome: Guilherme Goes Zanetti

Data limite para entrega: 4/10, 6h da manhã.

Trabalho 3 - Projeto de controladores PID via método do lugar das raízes.

```
I=16; % Seu valor de I
[G1,G2,G3, iae_G1, iae_G3, ts_G2]=ini_t3(I);
datetime('now')
```

```
ans = datetime
      03-Oct-2023 09:58:17
```

Atividade 1: Projeto de um controlador PI para sistema de primeira ordem + tempo morto (G1(s)).

Projetar um controlador PI via método do lugar das raízes usando a FT G1. O controlador resultante C1 deve resultar em um valor de $IAE \leq iae_{G1}$ e erro nulo para entrada degrau.

Mostrar o controlador e o LR utilizado, explicar as escolhas da localização do zero do controlador para atender a especificação e a obtenção de Kp e Ki do LR.

G1

G1 =

$$\exp(-1.75s) * \frac{s^3}{7s + 1}$$

Continuous-time transfer function.
Model Properties

G1_pade = pade(G1, 1)

G1_pade =

$$\frac{-3s + 3.429}{7s^2 + 9s + 1.143}$$

Continuous-time transfer function.
Model Properties

iae_G1

iae_G1 = 3.9183

```
%rltool(G1_pade)
s = tf('s');
C1 = 0.79726*(s+0.1317)/s
```

C1 =

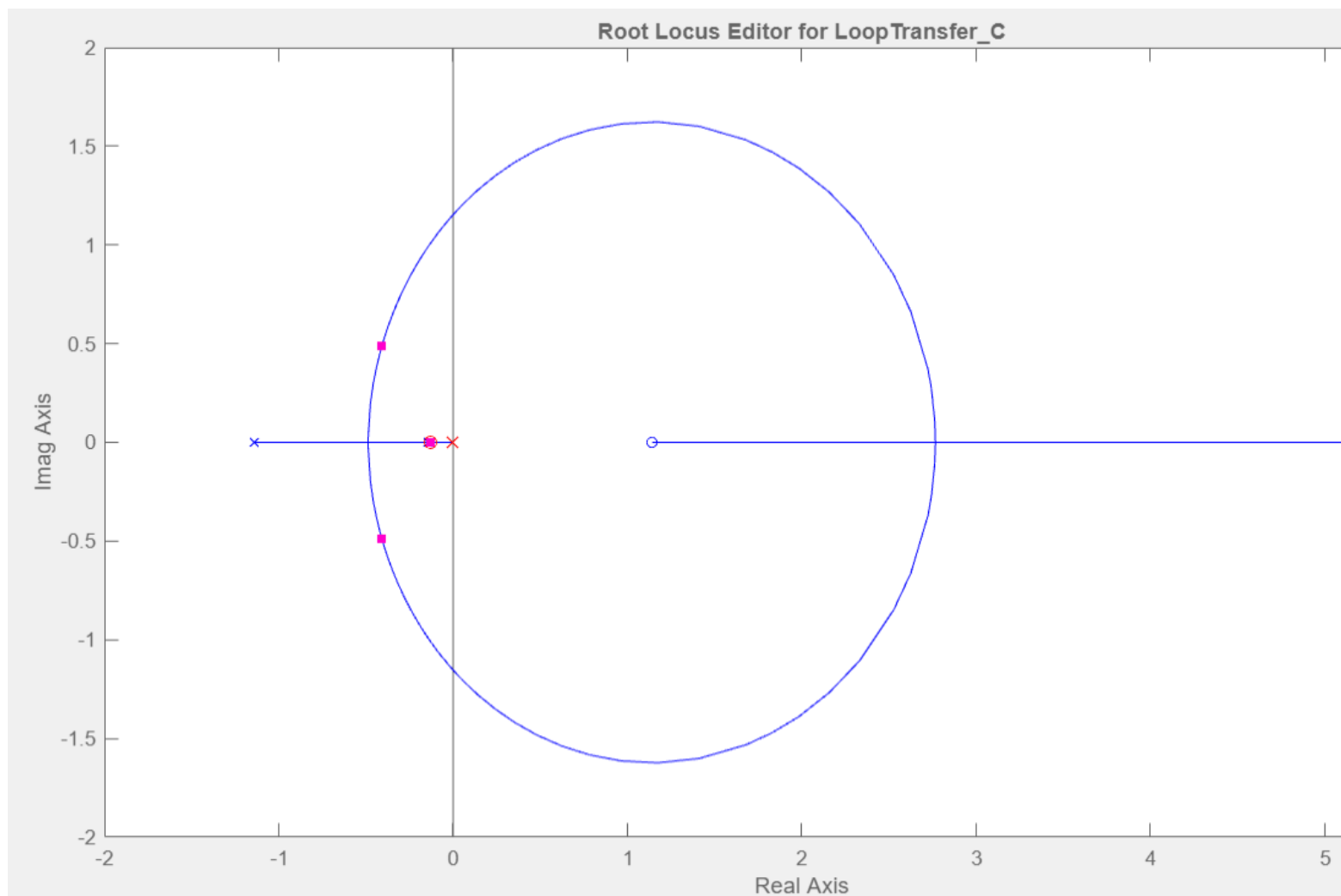
$$0.7973 s + 0.105$$

s

Continuous-time transfer function.
Model Properties

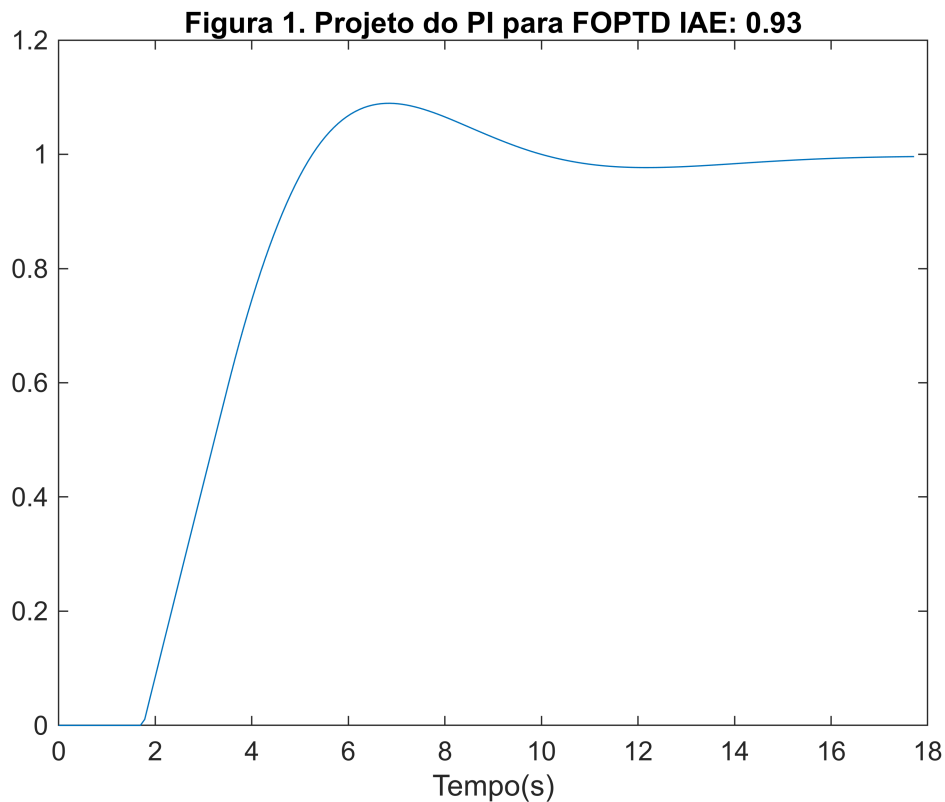
Resposta:

O projeto do controlador PI se dá por meio da adição de um polo na origem (integrador) e a adição de um zero em algum ponto do eixo real que possibilite uma boa resposta ao degrau. Por meio do RLtools foi adicionado o polo na origem e um zero em -0.1317, um valor próximo do polo do meio e entre os dois polos mais a direita do Lugar das Raízes. Esse valor foi escolhido para afastar as raízes da origem, tendo um valor real com módulo maior e tendendo a uma resposta mais rápida. Depois disso, foi escolhido um ganho proporcional que resultasse numa boa resposta olhando para a simulação da resposta ao degrau. O controlador escolhido teve o valor de $K_p=0.79726$ que resulta em um $K_i=0.1049$. Ao se calcular a razão entre o IAE calculado com o IAE pedido, obteve-se o valor de 0.93, que indica que o controlador projetado resulta em um IAE menor ao requerido. Com a adição do polo na origem, o erro de regime foi eliminado como pedido devido ao aumento do tipo do sistema.



Apresentação do resultado: simulação e o cálculo do IAE usando o controlador C1 projetado.

```
M1=feedback(C1*G1,1);
[y,t]=step(M1);
t=linspace(0,max(t),200);
y=step(M1,t);
plot(t,y);xlabel('Tempo(s)');
iae1=trapz(t,abs(1-y));
ss=sprintf('Figura 1. Projeto do PI para FOPTD IAE: %.2f', iae1/iae_G1);
title(ss);
```



Atividade 2: Projeto de um controlador C2 tipo PD via método do LR para o modelo de ordem 2 $G_2(s)$ que permita obter o tempo de estabilização $t_s \leq t_{sG2}$ e com sobrelevação menor que 1%.

Mostrar o controlador e o LR utilizado, explicar as escolhas da localização do zero do controlador para atender a especificação e a obtenção de K_p e K_d do LR.

G2

G2 =

16

$$s^3 + 57 s^2 + 350 s$$

Continuous-time transfer function.
Model Properties

ts_G2

$$ts_G2 = 0.2334$$

```
%rltool(G2)
C2 = 51.027*(s+7)
```

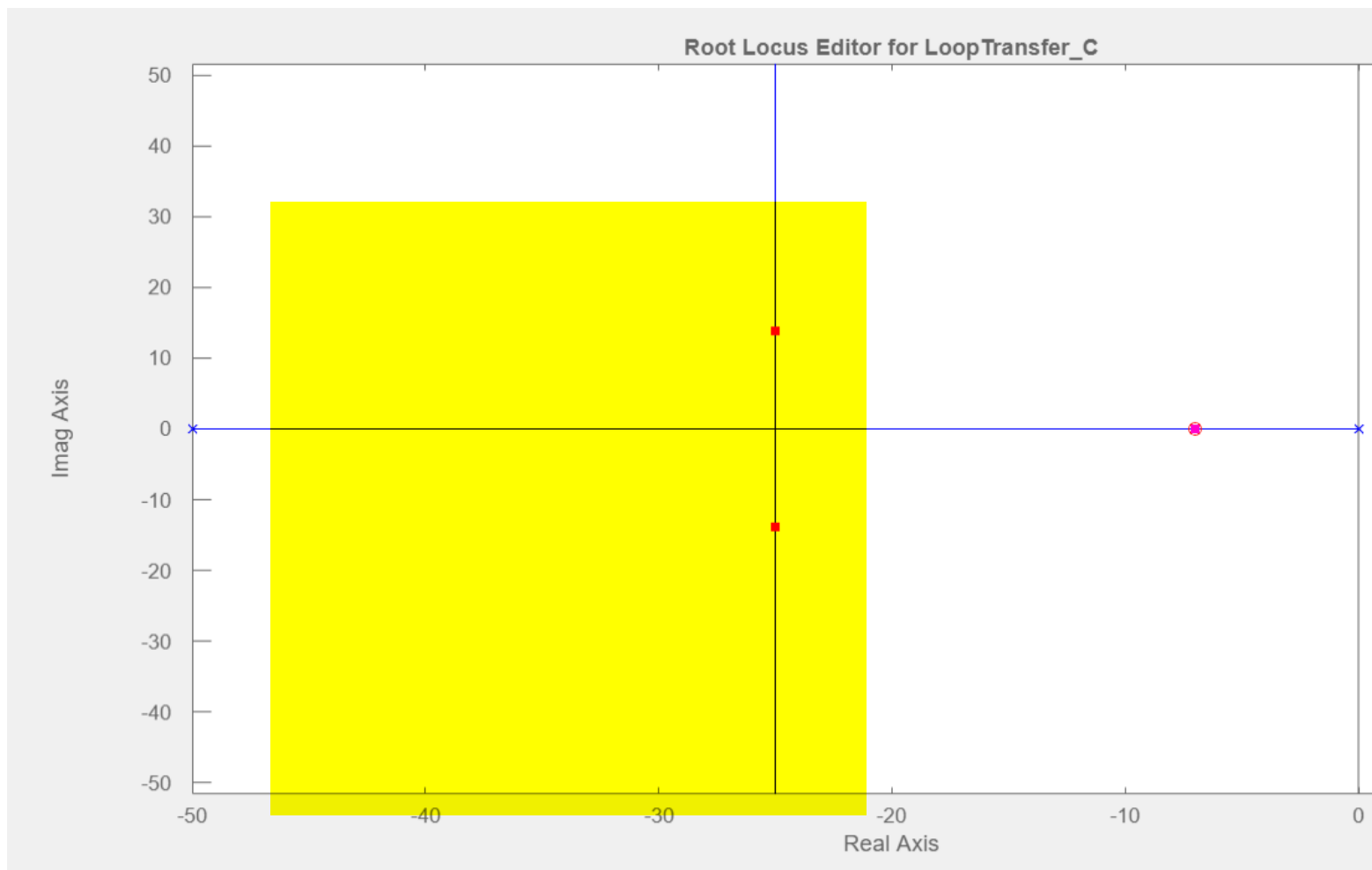
C2 =

$$51.03 s + 357.2$$

Continuous-time transfer function.
Model Properties

Resposta:

Para o projeto do controlador PD, de maneira semelhante ao PI, é adicionado um zero no Lugar das Raízes de G2 na posição Kp/Kd e ajustado o valor de Kd para que o sistema tenha uma boa resposta. Essa análise foi feita no RLtool e o zero foi adicionado em cima do polo em -7, cancelando-o. Desse modo, uma das raízes tende a esse zero em -7 e as outras duas tornam-se imaginários com a parte real igual a -15. Ao se escolher o ganho Kd=51.027 (resultando no Kp=357.189) a resposta ao degrau foi satisfatória, resultando em um tempo de estabelecimento de 0.1552s (menor do que os 0.2334s requeridos) e um overshoot de 0.34%.

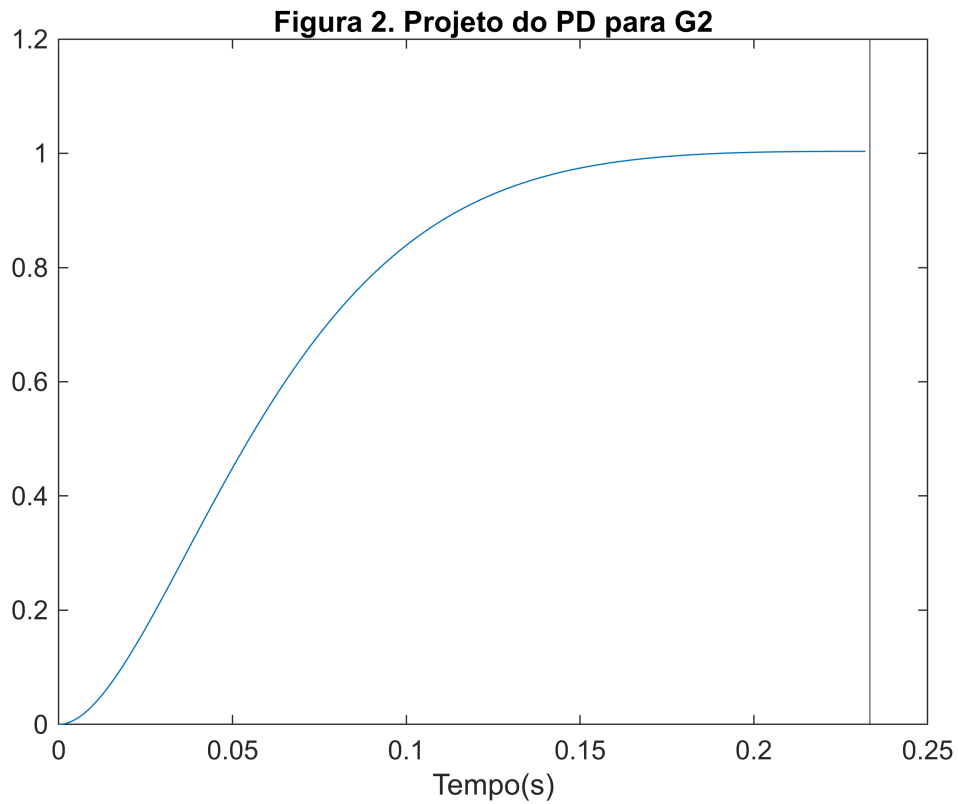


Abaixo a simulação com o controlador C2 projetado.

```
M2=feedback(C2*G2,1);
stepinfo(M2)
```

```
ans = struct with fields:
    RiseTime: 0.0970
    TransientTime: 0.1552
    SettlingTime: 0.1552
    SettlingMin: 0.9027
    SettlingMax: 1.0034
    Overshoot: 0.3425
    Undershoot: 0
    Peak: 1.0034
    PeakTime: 0.2266
```

```
[y,t]=step(M2);
t=linspace(0,max(t),200);
y=step(M2,t);
plot(t,y);xline(ts_G2);
xlabel('Tempo(s)');title('Figura 2. Projeto do PD para G2')
```



Atividade 3: Projeto de um controlador C3 PI ou PID para o modelo de ordem 4 $G3(s)$ tal que se tenha $IAE \leq iae_{G3}$.

Mostrar o(s) LR utilizado(s), explicar as escolhas para obter o controlador e atender a especificação e a obtenção dos ganhos do PID no LR.

G3

G3 =

$$\frac{400}{s^4 + 36 s^3 + 486 s^2 + 2916 s + 6561}$$

Continuous-time transfer function.
Model Properties

iae_G3

iae_G3 = 0.4043

`%rltool(G3)`

$$C3 = 4.6*(s+4.574)*(s+4.079)/s$$

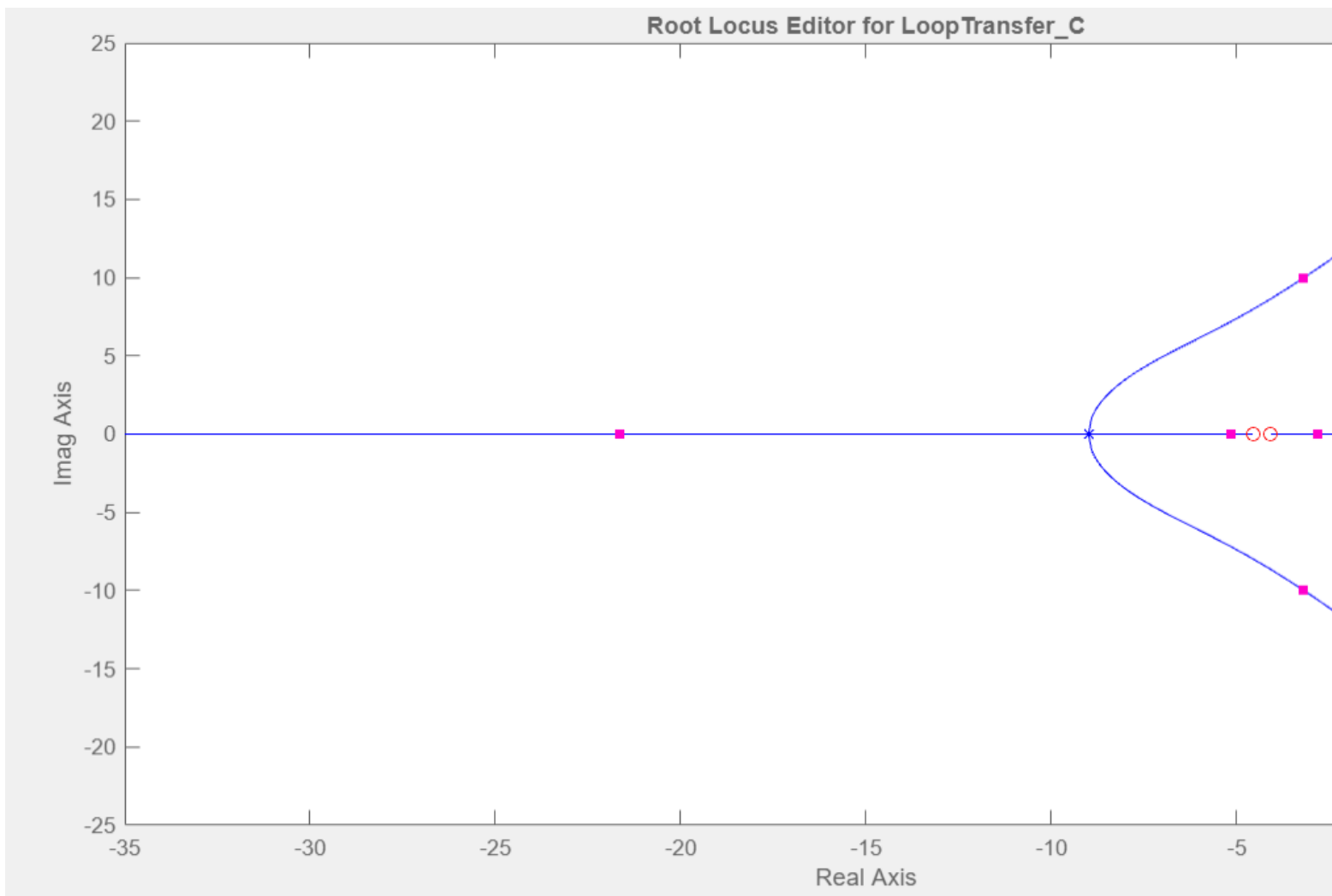
C3 =

$$\frac{4.6 s^2 + 39.8 s + 85.82}{s}$$

Continuous-time transfer function.
Model Properties

Resposta: Primeiramente foi projetado um controlador PI ao se adicionar um polo na origem e um zero em -4.574, entre os polos originais e o polo adicionado na origem. Ao se aumentar o ganho, a resposta fica rápida, porém muito oscilatória com um grande overshoot. Para se atenuar isso, foi adicionado outro zero, representando a componente derivativa no ponto -4.079. Esse ponto foi escolhido próximo ao outro zero para se ter um equilíbrio entre resposta rápida sem muita oscilação. Desse modo, foi escolhido um valor para o ganho K para o qual a resposta fosse boa e se obteve o controlador $K_d = 4.6$, $K_p = 39.8$ e $K_i = 85.82$.

A razão entre o IAE resultante deste sistema e o IAE máximo passado foi de 0.57, mostrando que a resposta está dentro do especificado e com um bom desempenho.



Abaixo a simulação e o cálculo do IAE usando o controlador C3 projetado.

```
M3=feedback(C3*G3,1);
[y,t]=step(M3);
t=linspace(0,max(t),200);
y=step(M3,t);
plot(t,y);xlabel('Tempo(s)');
iae3=trapz(t,abs(1-y));
ss=sprintf('Figura 3. Projeto do PID para G3 IAE: %3.2f', iae3/iae_G3);
title(ss);
```