Sistemas Realimentados - 2024/1

Nome: Arthur Lorencini Bergamaschi

Data limite para entrega: 14/5

Trabalhos atrasados: a nota é multiplicada por $e^{-h/48}$,onde h são as horas de atraso.

Entrega no link do google class em formato PDF!

Trabalho 1 - O método do lugar das raízes e projeto de PID via LR

Veja aqui seu valor de I

```
I=2 % Coloque seu valor de I
```

```
I = 2
```

```
[g1,g2,g3,g4]=init1(I);
datetime('now')
```

```
ans = datetime
   14-May-2024 23:20:36
```

```
s = tf('s')
```

```
s =

  s

Continuous-time transfer function.
Model Properties
```

Atividade 1: Esboçar o lugar das raízes de 1+KG1(s)=0 para K>0 e K<0. Desenhe à mão, usando as propriedades de construção do LR, digitalize e coloque abaixo. Incluir no esboço:

1.1 Raizes para $K=0$ e $K \longrightarrow \infty$.

1.2 Pontos de passagem no eixo imaginário se houver.

1.3 As assintotas e seus ângulos.

1.4 Ponto de interseção das assíntotas

1.5 Localização dos pontos de raízes múltiplas (encontro de polos)

```
g1
```

```
g1 =

  s^2 + 2 s + 0.75
  ----------------
        s^3
```

```
Continuous-time transfer function.
Model Properties
```

① Lugar das raízes para $G(s) = \dfrac{s^2 + 2s + 0{,}75}{s^3}$

$K = 0 \rightarrow$ polos de $G(s) = 0$

$K \rightarrow \infty \rightarrow$ zeros de $G(s) = -1{,}5$ e $-0{,}5$

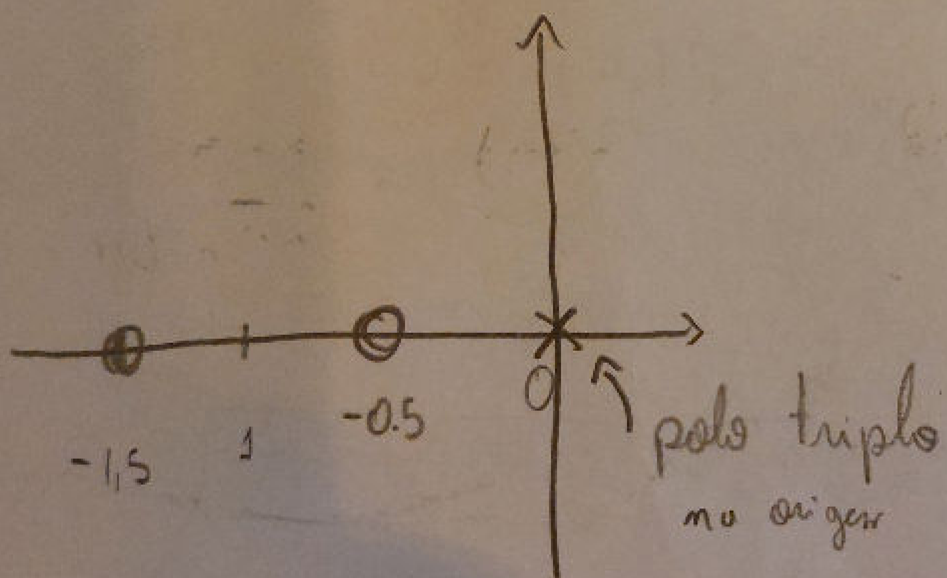
Passo 1:

$$1 + KG(s) = 0 \rightarrow 1 + K\left(\frac{s^2 + 2s + 0{,}75}{s^2}\right)$$

2:

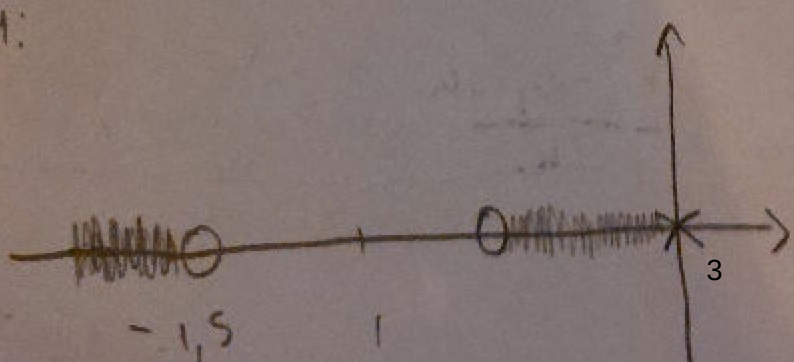
$$1 + K\frac{\Pi(s+z)}{\Pi(s+p)} = 0 \rightarrow 1 + k\,\frac{(s+1{,}5)(s+0{,}5)}{s^3}$$

3:



O número de trajetórias é igual ao número de polos = 3.

4:



$$\theta_1 = \frac{(2i+1)180}{|n-m|};\ i = 0$$

Interseção

$$\boxed{\sigma = \frac{\sum p - \sum z}{n - m} = \frac{0 - (+1,5 + 0,5)}{1} = -2}$$

$j^2 = -1$

$j^3 = -j$

Routh $\rightarrow s^3 + ks^2 + 2ks + 0,75k$

s^3	1	$2k$
s^2	k	$0,75k$
s^1	A	B
s^0	C	

$$A = \frac{2k^2 - 0,75k}{k} > 0$$

$$\boxed{k > 0,375}$$

Ponto no eixo imaginário

$$(jw)^3 + 0,375(jw)^2 + 2(jw)\cdot 0,375 + 0,75 \cdot 0,375$$

$$=$$

$$-jw^3 - 0,375w^2 + 0,75jw + 0,28 = 0$$

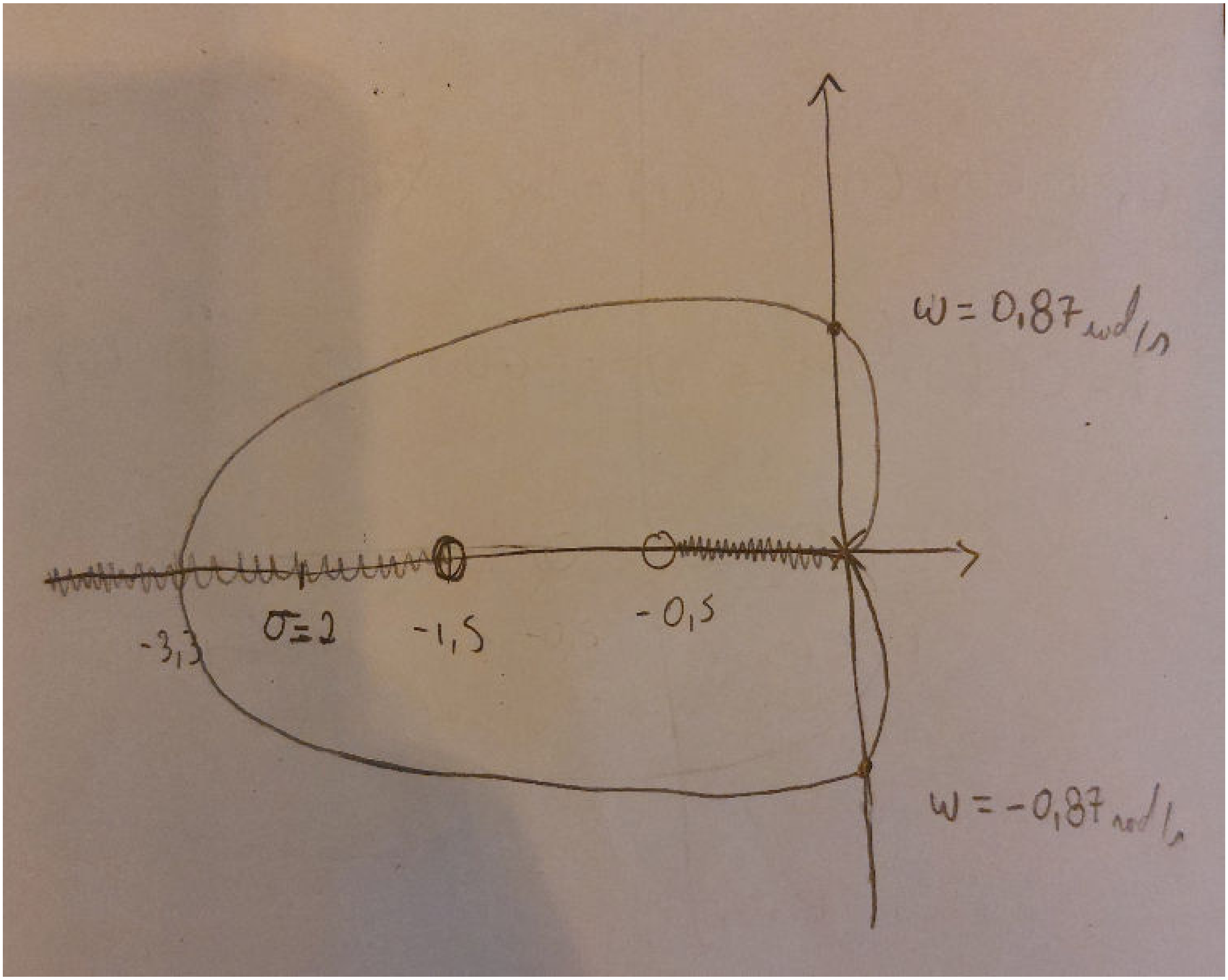
Logo: $0,375w^2 = 0,28 \rightarrow \boxed{w = 0,87 \text{ rad/s}}$

Ponto de encontro:

$$k = \frac{-1}{P(s)} \rightarrow \frac{dk}{ds} = \frac{d}{ds}\left(\frac{s^3}{s^2+2s+0,75}\right) = \frac{3s^2(s^2+2s+0,75) - (2s+2)(s^3)}{(s^2+2s+0,75)^2}$$

$\frac{dk}{ds} = 0 \rightarrow s_1 = -3,3$ } pega-se o de maior módulo.

$s_2 = -0,63$



Atividade 2: Seja o LR de 1+KG2(s)=0 mostrado. Responder as perguntas abaixo, obtendo as informações aproximadas da figura:

2.1 Quais são os polos e zeros de G2(s)?

Os polos estão em -1 (duplo), -4 e o zero está em -4.8. (Utilizei uma régua no monitor)

2.2 Quais são as raízes quando $K = 0$ e $K \longrightarrow \infty$?

G_aprox = $G_{\text{aprox}} = \dfrac{(s + 4.8)}{(s+1)^2 \cdot (s+4)}$. Para K = 0, as raízes são os pólos de G, ou seja, -1 e -4. Para K→Inf, temos os zeros de G, ou seja, -4.8.

2.3 Para que valores de K esse sistema é estável?

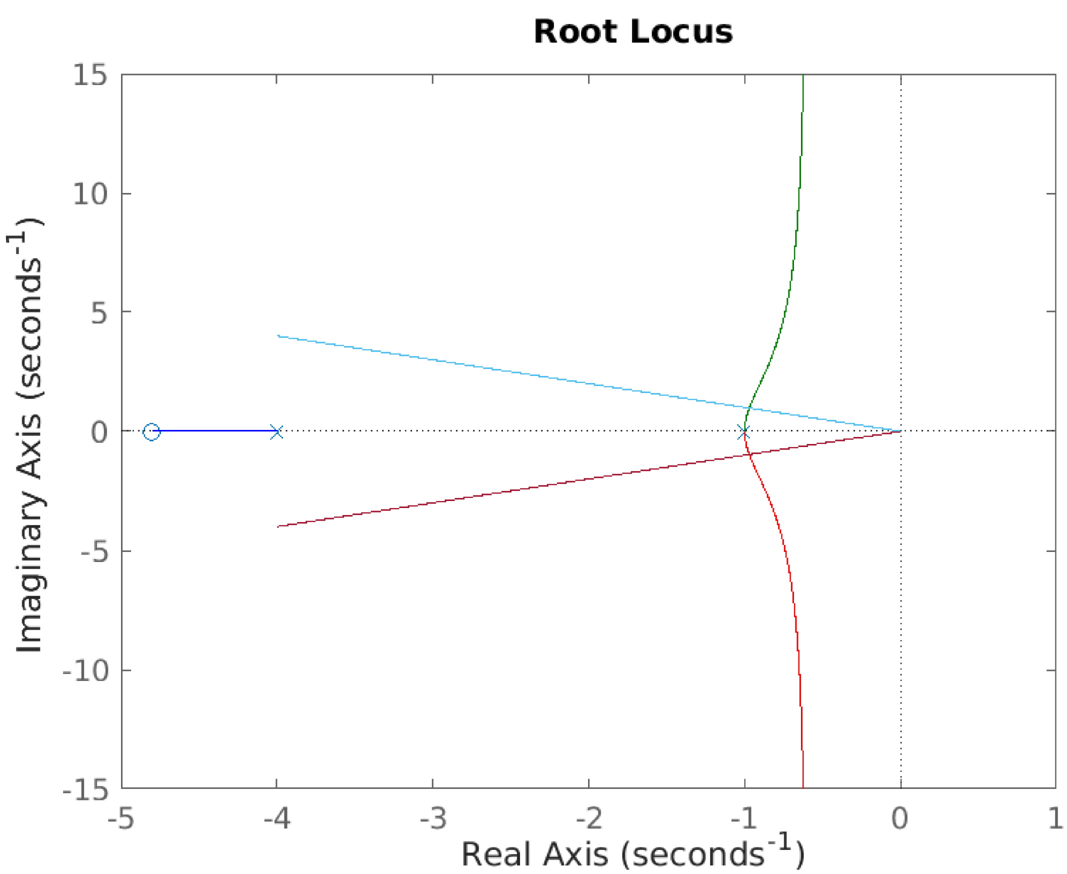
Ao analisar o K>0, vemos que o sistema é estável para todo K>0, pois as raízes não passam no semiplano direito do plano complexo.

2.4 Para que valores de K o par de polos complexos tem amortecimento $\zeta \geq 0.707$?

Vemos que a fase do ponto P que cruza o LR com a reta do amortecimento é de +/- 45º (pois $\beta = \text{acos}(0.707)$). Visualmente, o ponto P tem a sua parte real em 0.9. Como a sua fase é 45º, então a parte imaginária também é 0.9. Logo P = -0.9 +/- j0.9. Sabendo que K tem a seguinte fórmula, podemos calcular para s = P.

$|K| = \dfrac{|s+1|^2 \cdot |s+4|}{|s+4.8|}$ para s = -0.9 +/- j0.9. Logo, K = 0.66.

```
imshow('fig2.png');
```



Atividade 3: Seja a FT g3(s). Projete via LR um controlador PI tal que a sobreelevação seja menor que 5%, o tempo de estabelecimento seja o menor possível e o erro em regime ao degrau seja nulo.

- Mostre o LR utilizado para a escolha do ganho Kp.
- Mostre a resposta ao degrau em malha fechada.

- Explique como escolheu a localização do zero do PI para reduzir o tempo de estabelecimento.

Dica: relação UP com ζ : $a = log(UP/100)$, $\zeta = \sqrt{\dfrac{a^2}{pi^2 + a^2}}$

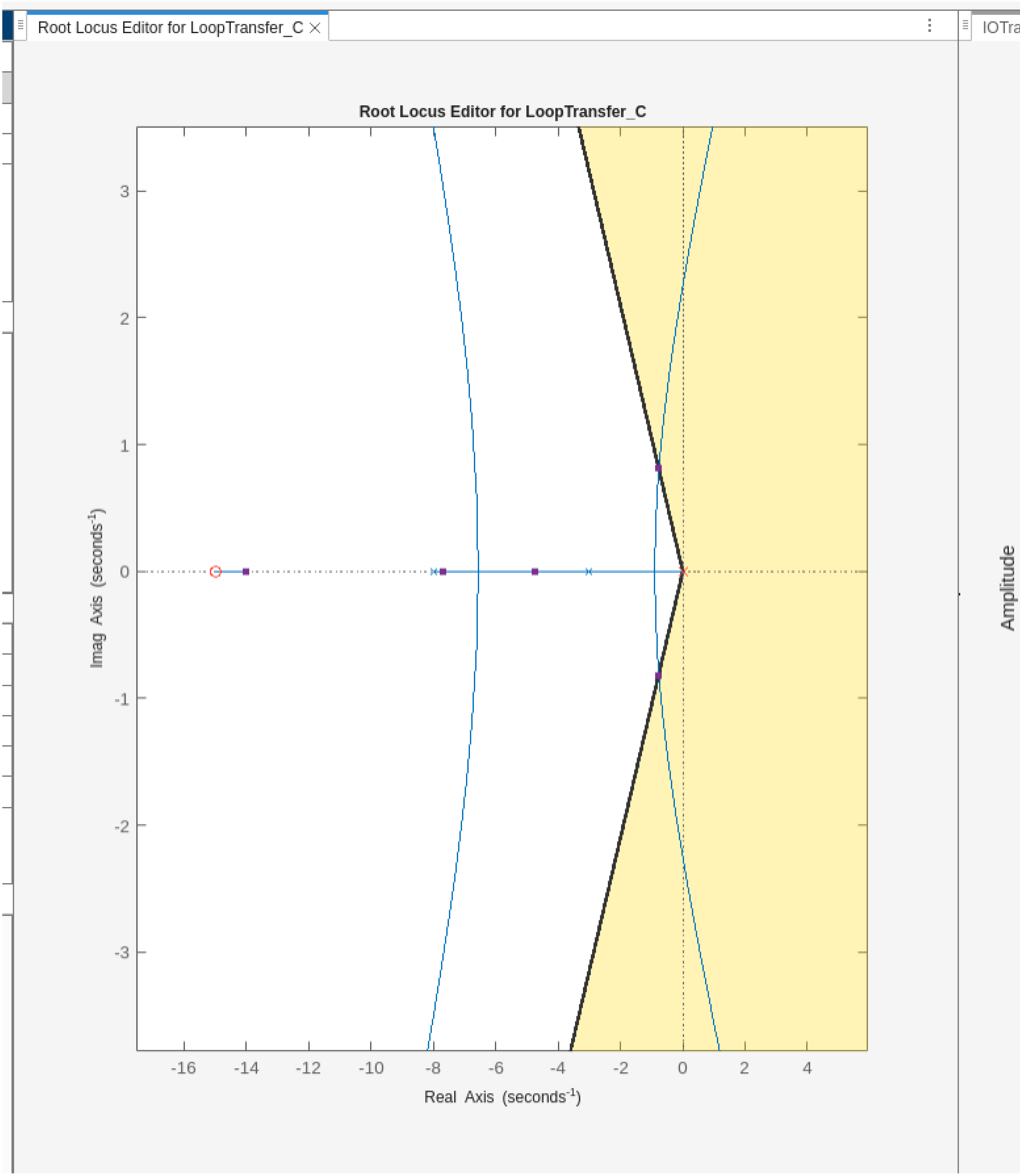
```
g3
```

```
g3 =
 
                   1
  ------------------------------------
  s^4 + 28 s^3 + 253 s^2 + 870 s + 1008
 
Continuous-time transfer function.
Model Properties
```

Como queremos que o tempo de estabelecimento seja o menor possível, um bom palpite para escolher o zero do PI é colocar mais a esquerda possível, conforme o slide apresentado em aula. Vamos colocar em -15 o zero do PI e o pólo na origem (integrador)

Resumindo o projeto do PI via LR:

- O zero do PI próximo à origem tende a deixar a resposta lenta
- O zero do PI muito longe da origem tende a deixar a resposta menos amortecida (maior sobreelevação)
- O ganho Kp deve ser aumentado de modo a conseguir respostas mais rápidas.

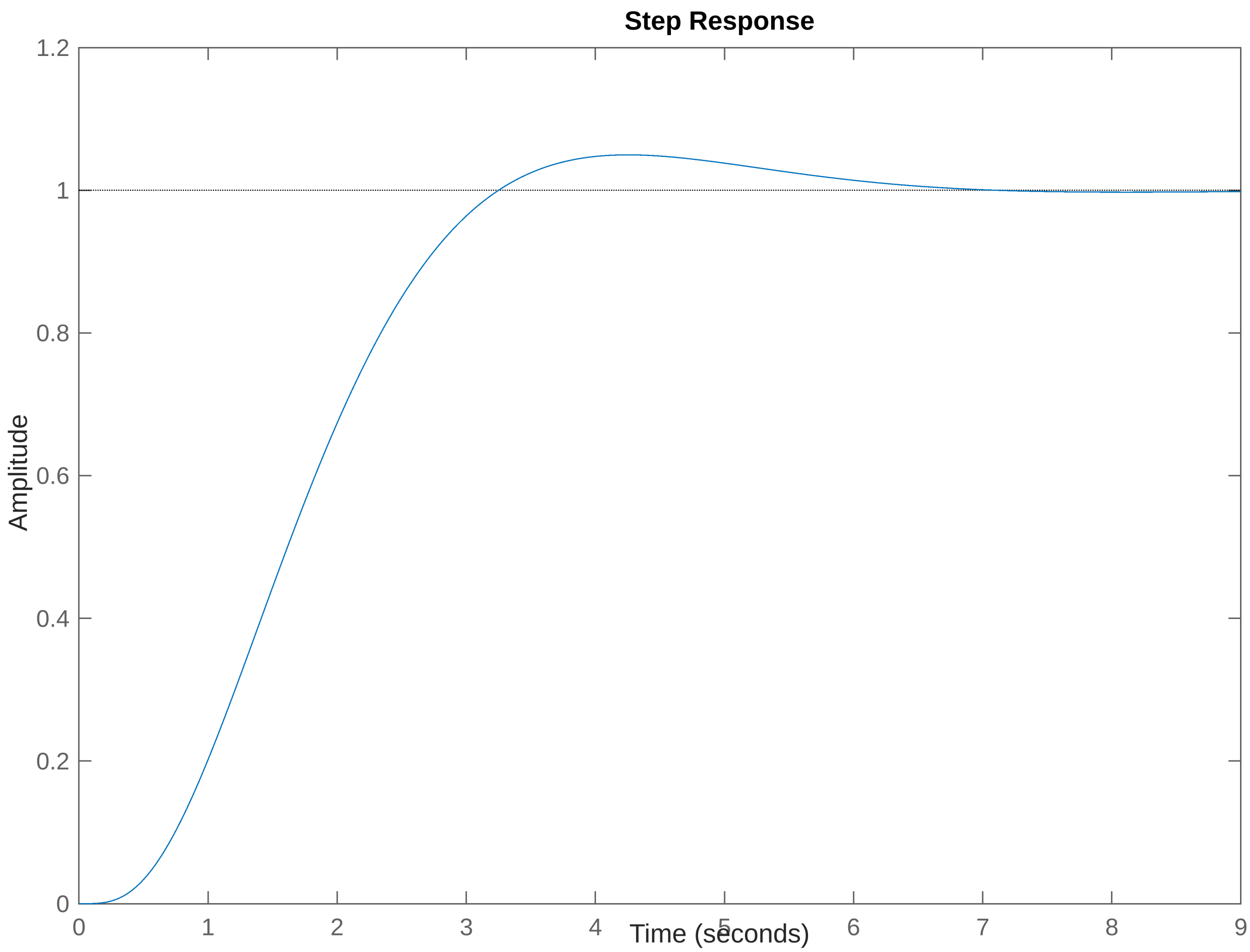


Ajustando o ganho ki para 624.2, temos que:

```
ki_3 = 642.2;
c_3 = ki_3*(1+0.067*s)/s;
m_3 = feedback(c_3*g3,1);
kp_3 = ki_3*0.067
```

```
kp_3 = 43.0274
```

```
step(m_3)
```



Atividade 4: Seja a FT g4(s). Projete via LR um controlador PD tal que a sobreelevação seja menor de 20%, o tempo de estabelecimento seja o menor possível e o erro em regime ao degrau seja nulo.

- Mostre o LR utilizado para a escolha do ganho Kd explicitando o valor de Kp utilizado.
- Mostre a resposta ao degrau em malha fechada.
- Explique como escolheu o ganho Kp para reduzir o tempo de estabelecimento.
- O par de polos complexos é dominante na resposta?Explique usando os gráficos gerados.

```
g4
```

```
g4 =

        2
  -----------
  s^3 + 2 s^2

Continuous-time transfer function.
Model Properties
```

É notório perceber que temos 2 pólos na origem e outro em -2, ou seja, kp > 0 implica em sistema instável. .O primeiro passo é fazer o LR do KP e escolher o valor de kp. Vamos escolher Kp = 0.5. e ver o LR para o KD. Com isso, ao variar o kd no LR, vemos qual vai dar a melhor resposta. Depois, nós ajustamos o valor de Kp e chegamos se está tudo certo.

Logo, temos Kd = 1.2 e Kp = 0.03

```
c = 1.2*s + 0.03;
```