UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

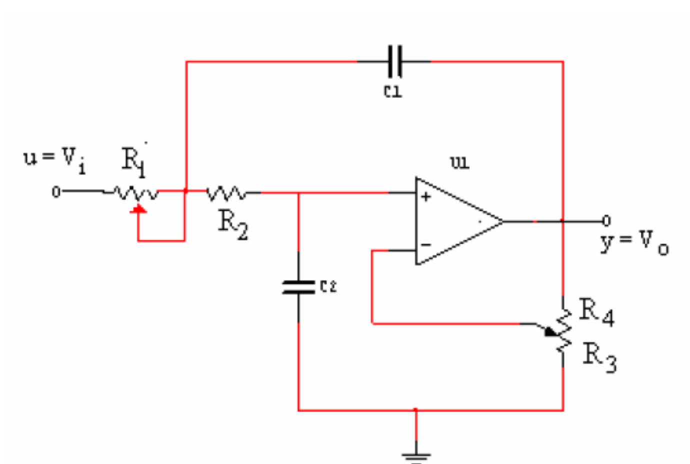
DISCIPLINA: LABORATÓRIO DE SISTEMA DE CONTROLE

Alunos: Bruno Carvalho de Farias – 20410273
Carlos Bruno O. Lopes– 20510297
Delcio Canuto Junior – 20410290
Thiago de Souza Fernandes – 20510289
Thiago da Silva Moraes - 20210484

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
DISCIPLINA: LABORATÓRIO DE SISTEMA DE CONTROLE
ENSAIO 08: ESTABILIDADE
OBJETIVOS:

1. Entender os conceitos de estabilidade e determinar limites de estabilidade
2. Conhecer as ferramentas rlocus e rltool
3. Observar os efeitos de pólos e zeros no lugar das raízes.
4. Caracterizar o comportamento dinâmico de sistemas de 2ª ordem
5. Determinar o overshoot, tempo de acomodação, tempo de atraso e tempo de subida.

Formulação do Problema:
Investigar o comportamento transitório de um filtro ativo passa-baixa de 2ª ordem Butterworth .
Os modelos de estados e função de transferência são dados abaixo.



Potenciômetro P1 = 50 KΩ

Potenciômetro P2 = 10 KΩ

$C_1 = C_2 = 250$ nF
R_2=60 KΩ

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_1C_1} - \frac{1}{R_2C_1} & \left(1+\frac{R_4}{R_3}\right)\frac{1}{R_1C_1} + \frac{R_4}{R_3}\frac{1}{R_2C_1} \\ -\frac{1}{R_2C_2} & \frac{R_4}{R_3}\frac{1}{R_2C_2} \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_1C_1} \\ 0 \end{bmatrix} u(t)$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1+\frac{R_4}{R_3} \end{bmatrix}$$

$$G(s) = \left(1+\frac{R_4}{R_3}\right)\frac{\frac{1}{R_1C_1R_2C_2}}{s^2 + \left(\frac{1}{R_1C_1} + \frac{1}{R_2C_1} - \frac{R_4}{R_3}\cdot\frac{1}{R_2C_2}\right)s + \frac{1}{R_1C_1R_2C_2}}$$

1) Considere que no filtro acima $K = \frac{R_4}{R_3}$ e ajuste P1 de modo que R_1 =40 KΩ R_2= 60 KΩ .

a) Simule para uma entrada degrau unitário para os valores de K dados da tabela e determine os demais valores da tabela.

K	Overshoot	Tempo de subida	Tempo de acomodação	Taxa de amortecimento	Freqüência amortecida	w_n	Ganho DC
0							
0.5							
1,0							
2,5							

b) Ajuste P2 de modo que R_3 =R_4= 5 KΩ .

R_1 KΩ	Overshoot	Tempo de subida	Tempo de acomodação	Taxa de amortecimento	Freqüência amortecida	w_n	Ganho DC
0							
5							
15							
40							

Qual a influência de K no comportamento do sistema?

b) Para que valores de K o sistema tem pólos complexos? Use o rlocus para determinar o lugar das raízes do polinômio característico.

c) Para que valores de K o sistema é estável? Simule para o K limite. Qual o tipo de comportamento.

Qual a influência de R_1 no comportamento do sistema?

d) Para que valores de R_1 o sistema tem pólos complexos? Use o rlocus para determinar o lugar das raízes do polinômio característico.

2) Um sistema de controle é mostrado abaixo . A função de transferência e o controlador são dados por: $G(s)=\dfrac{1}{s^2}$ e $C(s)=K\dfrac{s+a}{s+6}$ Os pontos de possíveis bifurcações do root locus são dados por $2s^2+(3a+6)s+12a=0$

a) Simule o sistema usando a ferramenta rltool. Defina a planta e o controlador com a = 12 como funções de transferências no matlab. No rltool importe a planta para G e o controlador para C. Desloque o zero do controlador em direção a origem.

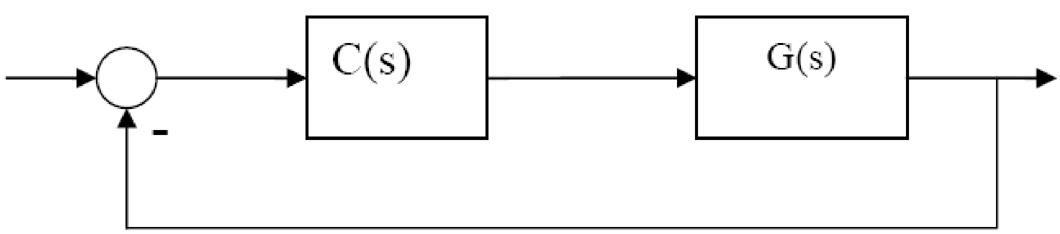
b) Que tipos de mudanças qualitativas ocorrem no root locus?. Quais os valores que ocasionam as mudanças qualitativas? Mostre os gráficos obtidos.

c) Quais os valores de K e **a** de modo que o sistema em malha fechada tem um pólo triplo.

d) Posicione o zero do controlador em torno de -10. Acrescente mais um zero em torno de -2. Qual o efeito causado. Retire o zero e acrescente um pólo em torno de -2 qual o efeito causado.

e) Faça conclusões sobre os efeitos da adição de pólos e zeros.

3) Um sistema de controle é mostrado abaixo.



As funções de transferências da planta e do controlador são dadas por:

$G(s)=\dfrac{1}{(s+3)(s+6)(s^2+6s+13)}$ e $C(s)=K$

a) Trace o root locus no matlab

b) Para que valores de K o sistema é estável?

c) Qual o K para ζ = 0,707? Qual o erro ao degrau para este valor de K?

d) Qual o erro ao degrau e a para K=5 e K=150

RESULTADOS

1° Questão

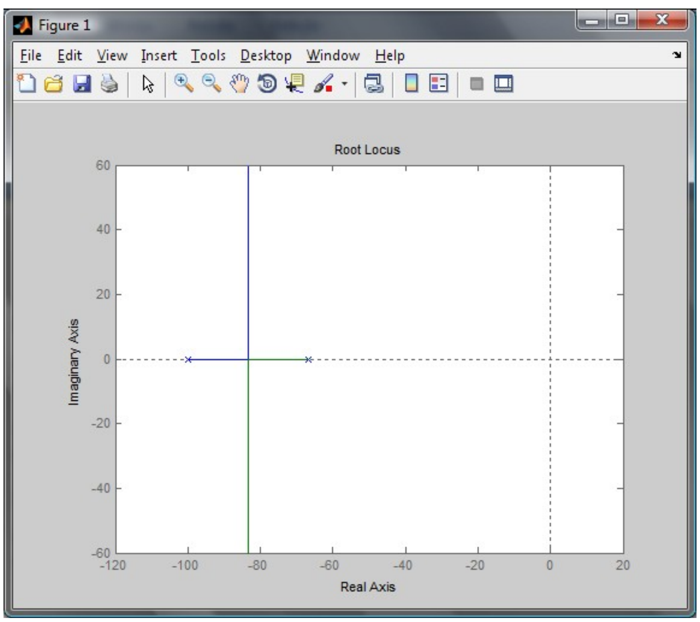
a)

K	Overshoot	Tempo de subida	Tempo acomodacao	Tx de amort zeta	Freq amort	Wn	Ganho DC
0	10%	0.05	0.19	1,0206	81,1377	81,6497	-0,5
0.5	aprox 10%	Aprox 0.05s	aprox 0.3s	0.8165	47,1405	81,6497	0,6001
1	aprox 20%	Aprox 0.05s	aprox 0.11	0,6124	64,5497	81,6497	0,6668
2.5	senóide	senóide	senóide	0	81,6497	81,6497	0.3227

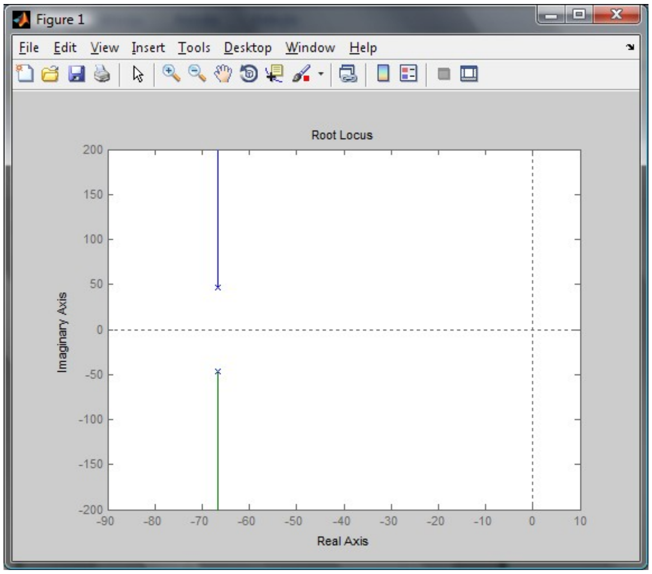
R1 KΩ	Overshoot	Tempo de subida	Tempo acomodacao	Tx de amort zeta	Freq amort	Wn	Ganho DC
0	-	-	-	0	-	inf	-
5	0	aprox 0	aprox 0	1,7321	+3.2660e+002i	230,9401	0,6666
15	aprox 10%	0	0.05	1	0	1.333.333	0,6667
40	aprox 20%	0	0,1	0.6124	64,5497	81,6497	0,6665

b) K está mexendo nos pólos e no ganho do sistema. Quando aumento o valor de K, a minha saída em resposta a um degrau unitário vai ficando com o Ovs maior de modo que quando o valor de K=2,5, a saída do sistema fica uma senoidal.

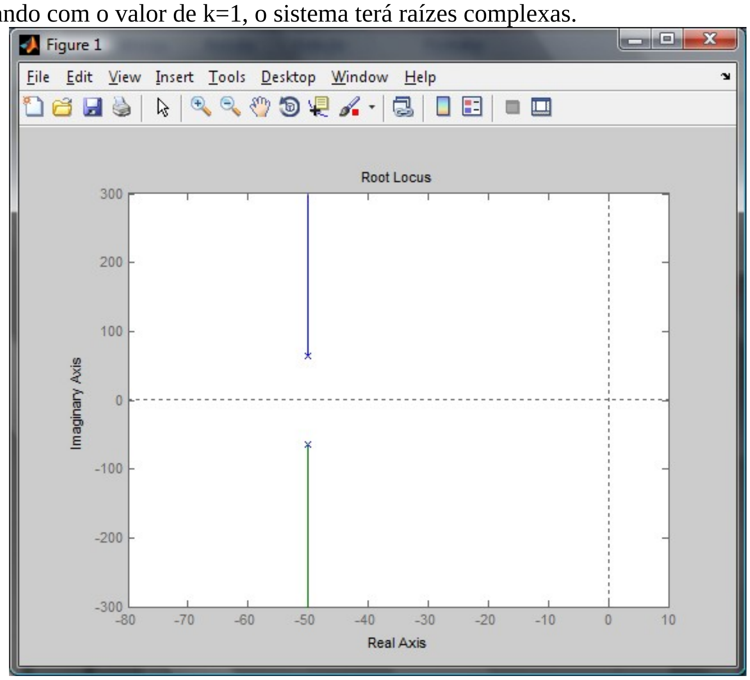
Simulando com o valor de k=0, o sistema terá raízes complexas para o ganho maior que 0.0417.



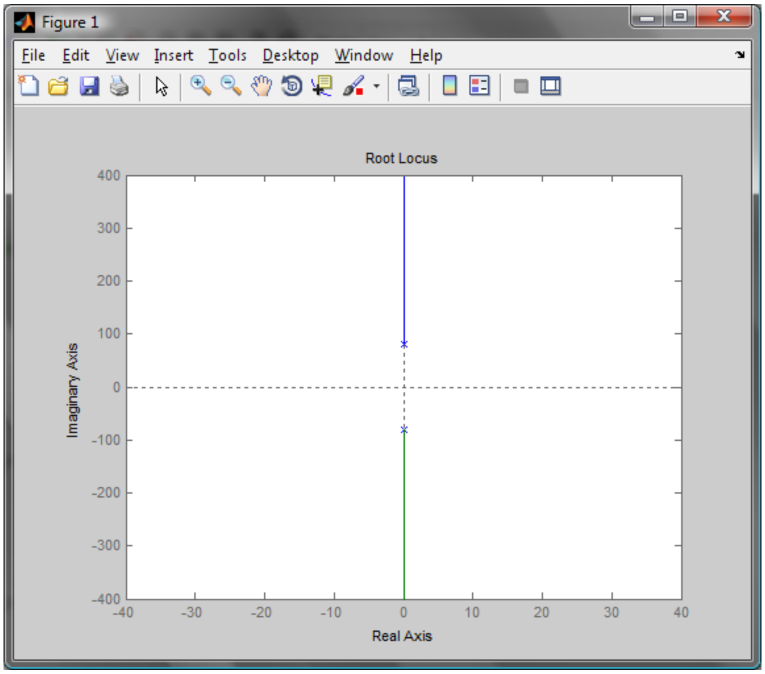
Simulando com o valor de k=0.5, o sistema terá raízes complexas.



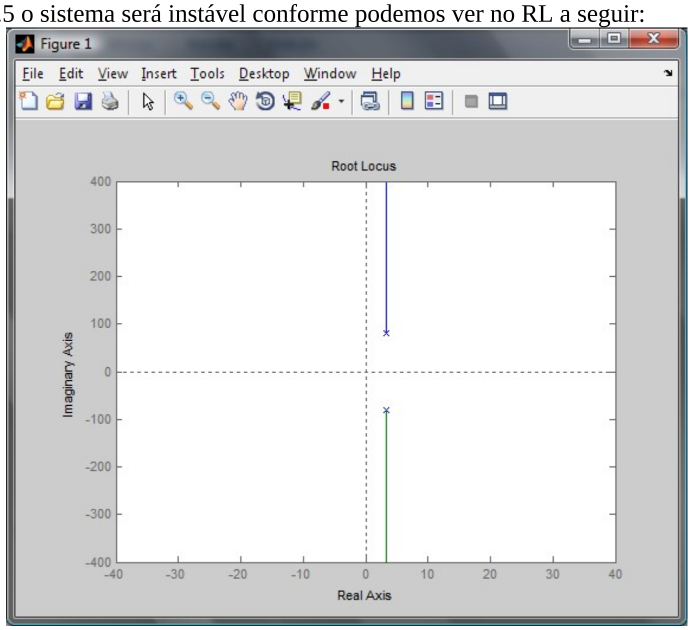
Simulando com o valor de k=1, o sistema terá raízes complexas.



c) Para K=2.5, o sistema terá sempre raízes reais imaginárias puras, ou seja o sistema estará em oscilação constante.



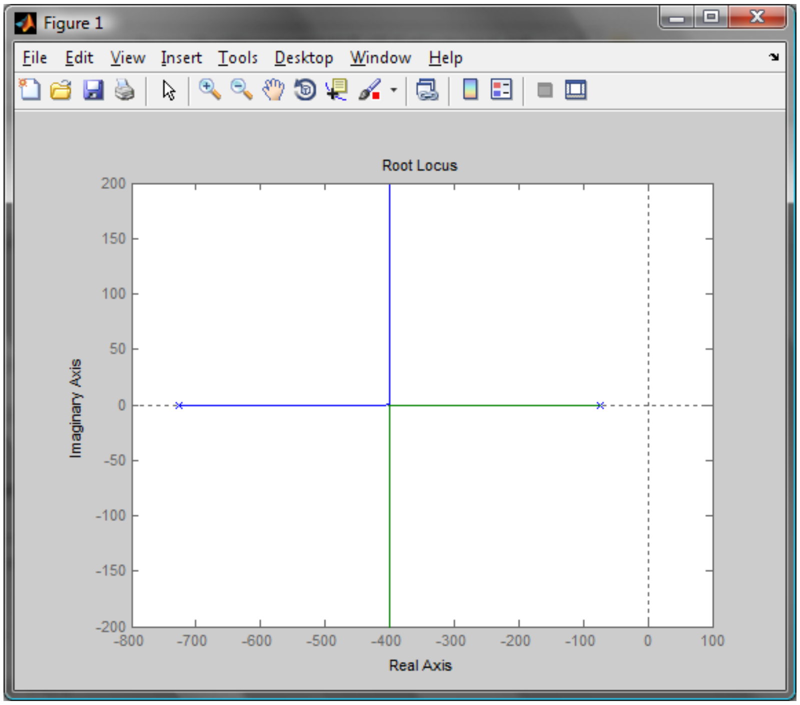
Para K>2.5 o sistema será instável conforme podemos ver no RL a seguir:



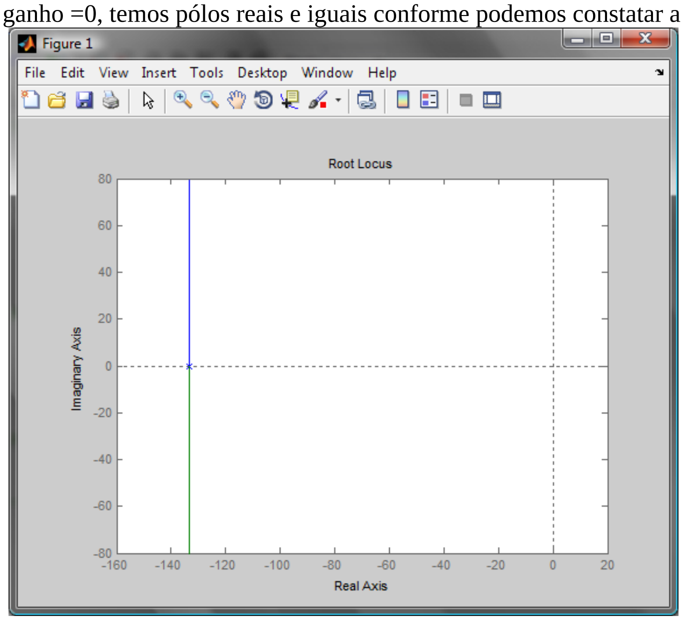
d) O valor de R1 está alterando o lugar dos pólos confomr podemos constatar nos RL’s a seguir.

Para R1 = 0 não existe TF.

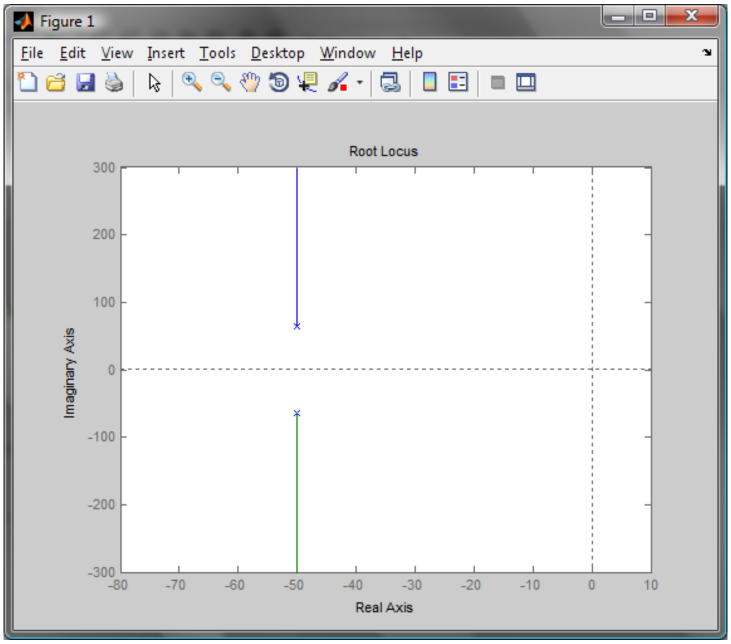
Para R1 = 5k, os pólos com com o ganho 0, são reais e estáveis, verificando no rl, vemos que quando o ganho = 1, temos raízes reais iguais, indicando que o sistema tem amortecimento crítico.



Para R1=15k, com ganho =0, temos pólos reais e iguais conforme podemos constatar a seguir:



Para R1=40k, temos pólos complexos conforme podemos ver a seguir:



2° Questão

a)

Código no matlab:

```
% zero da funcao de transferencia do controlador
a = 12;

% Controlador C(s)
N1 = [1 a];
D1 = [1 6];
C1 = tf(N1,D1);

% Planta G(s)
N = [1];
D = [1 0 0];
G = tf(N,D);

rltool(G,C1);
```

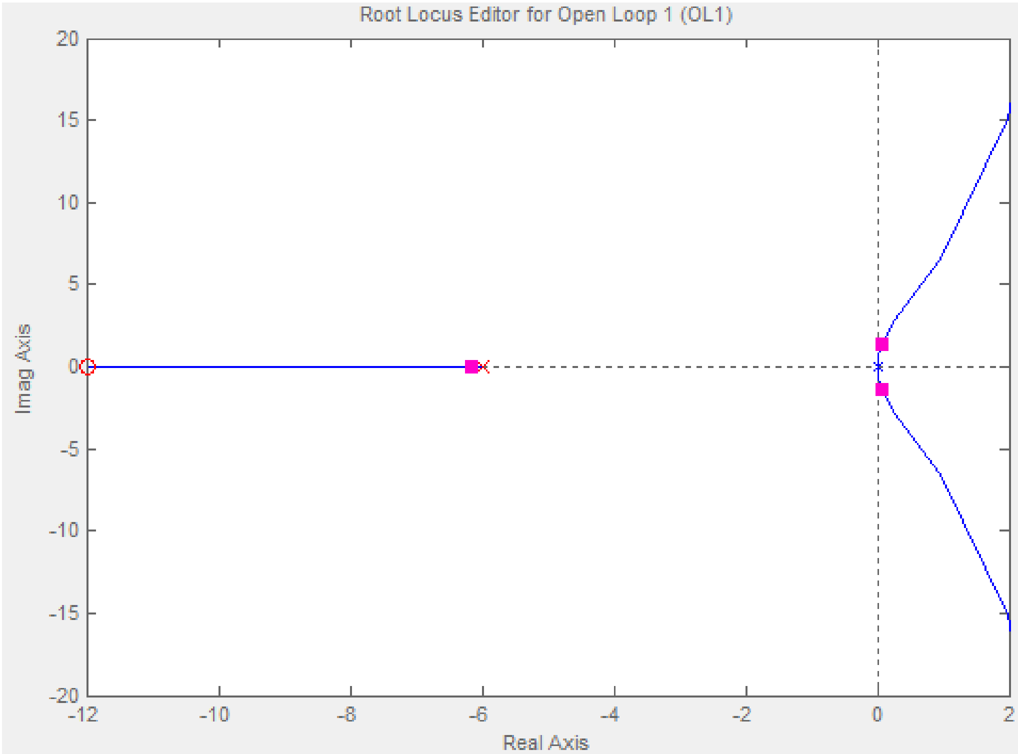


Grafico 1 – root lócus com a = 12 (zero da função C(s))

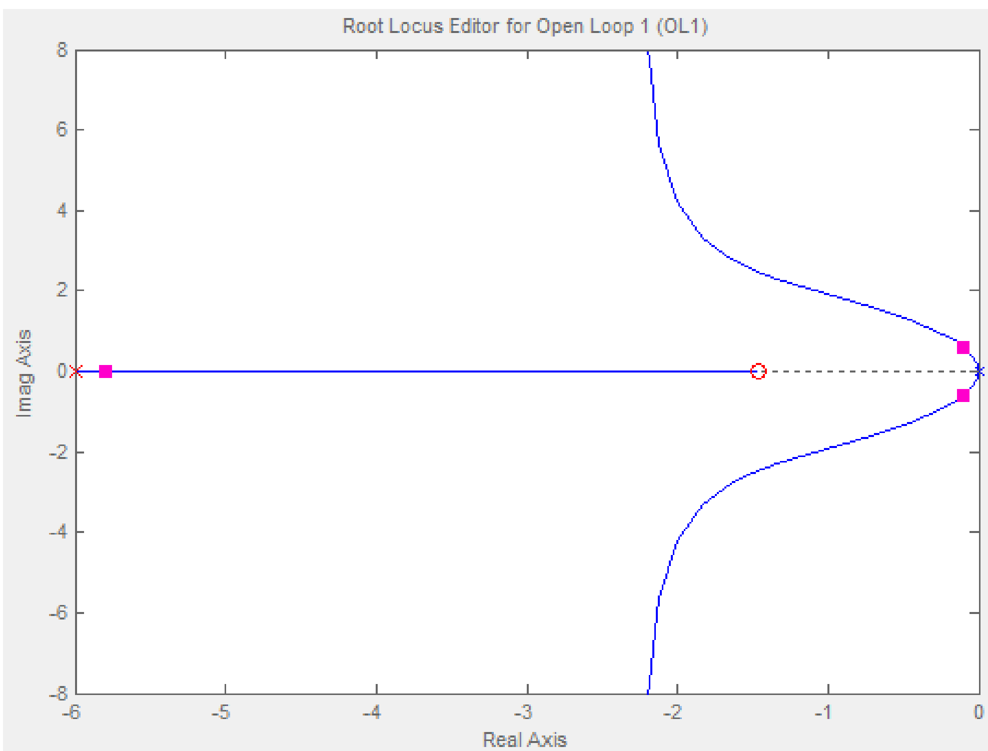


Grafico 2 – root lócus com a (zero da função C(s)) próximo da origem

b) Pelo gráfico 1podemos observa que sistema é instável com a = 12 (zero função) para qualquer valor de K, pois o curva que corta o pólo dominante esta a direita do eixo x no ponto zero e corta ζ.

O gráfico 2 mostra que ao aproximarmos o zero – ‘a’ – do controlador em direção a origem a curva muda de eixo em direção a margem esquerda de origem e torna-se estável para algum valores de K – ganho.

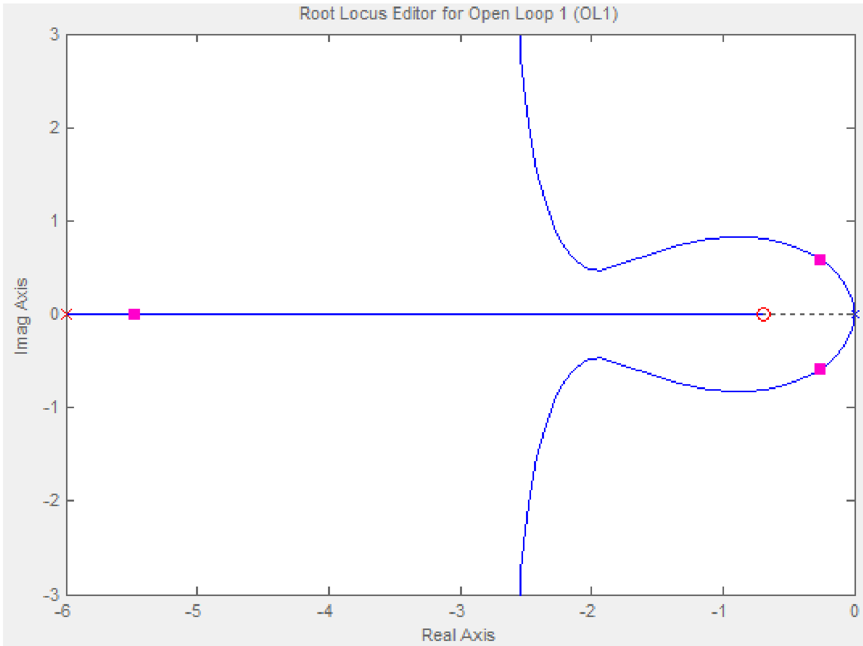


Grafico 2 – root lócus com a (zero da função C(s)) próximo da origem

c) Os valores de K e a para que o sistema em malha fechada tenha pólos triplos são:

$$0.588 \leq a \leq 0.655$$

$$0.0324 \leq K \leq 1.3$$

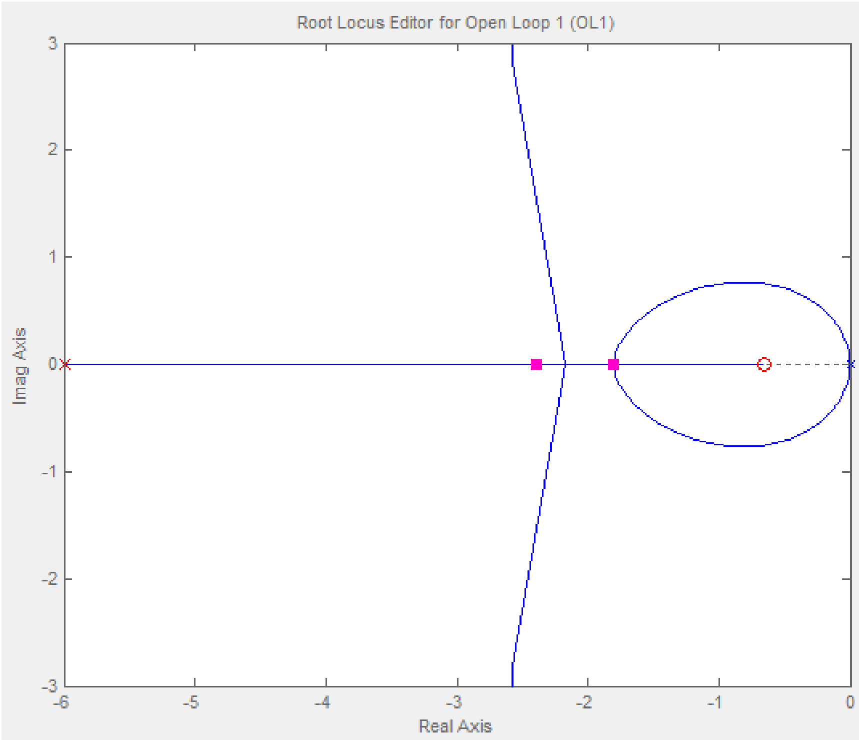


Grafico 3 – root lócus com pólos triplos

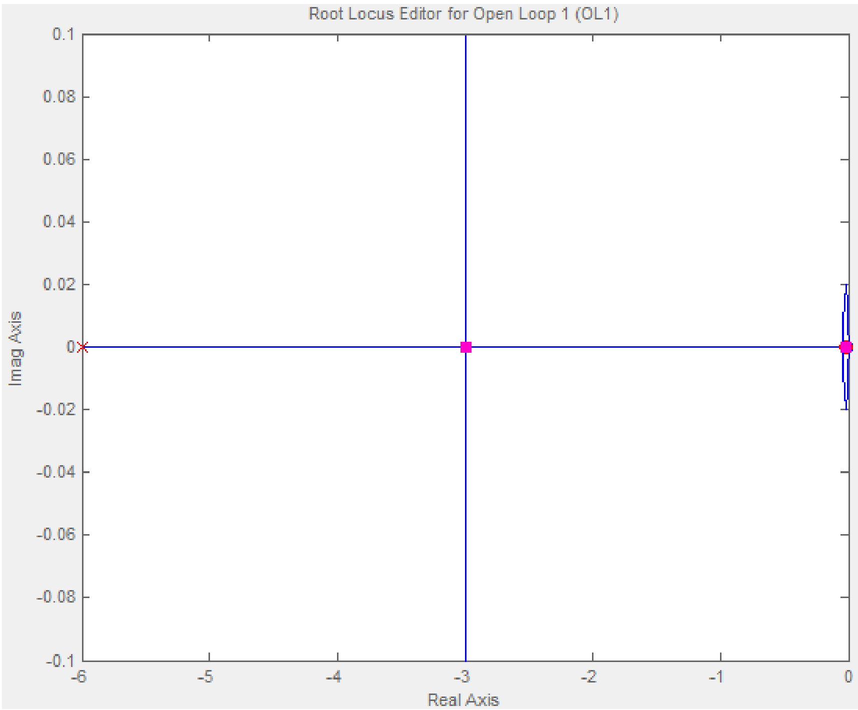


Grafico 4 – root lócus com pólos triplos

d) Com o acréscimo de um zero a mais. A curva do pólos muda vindo para uma região mais estável do sistema, ou seja, com o acréscimo do zero em -2 os valores para K estável são ampliados.

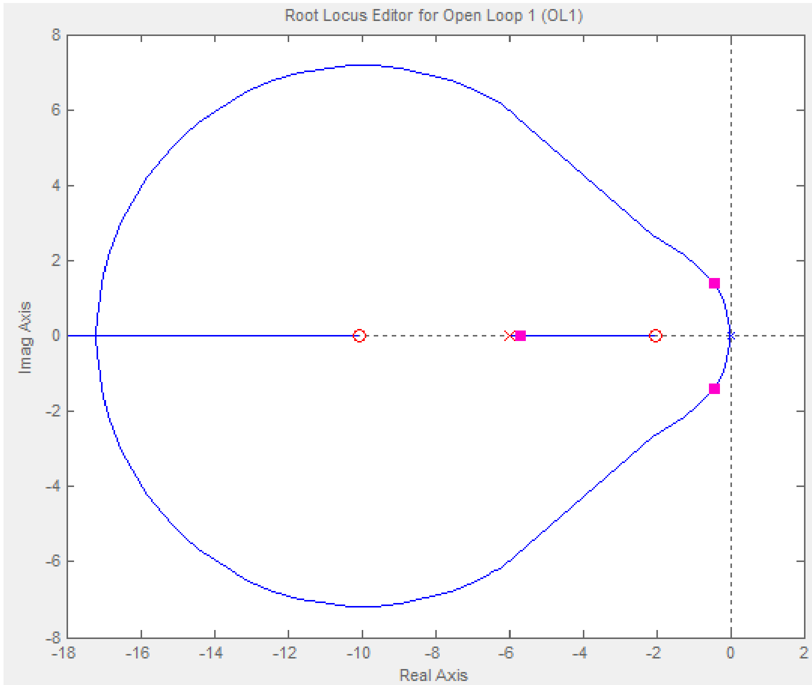


Grafico 5 – root lócus com zeros em -10 e -2

Com o acréscimo de um pólo a mais e retirando o zero posto no anteriormente. A curva do pólos muda vindo acrescentando regiões de estabilidade e instabilidade sendo que os pólos dominantes de encontram em regiões de instabilidade do sistema.

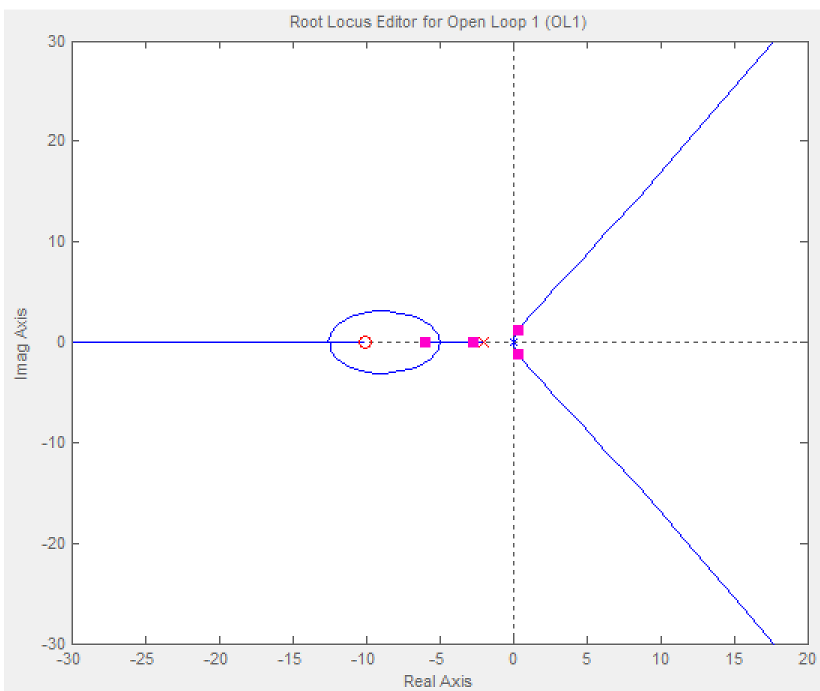


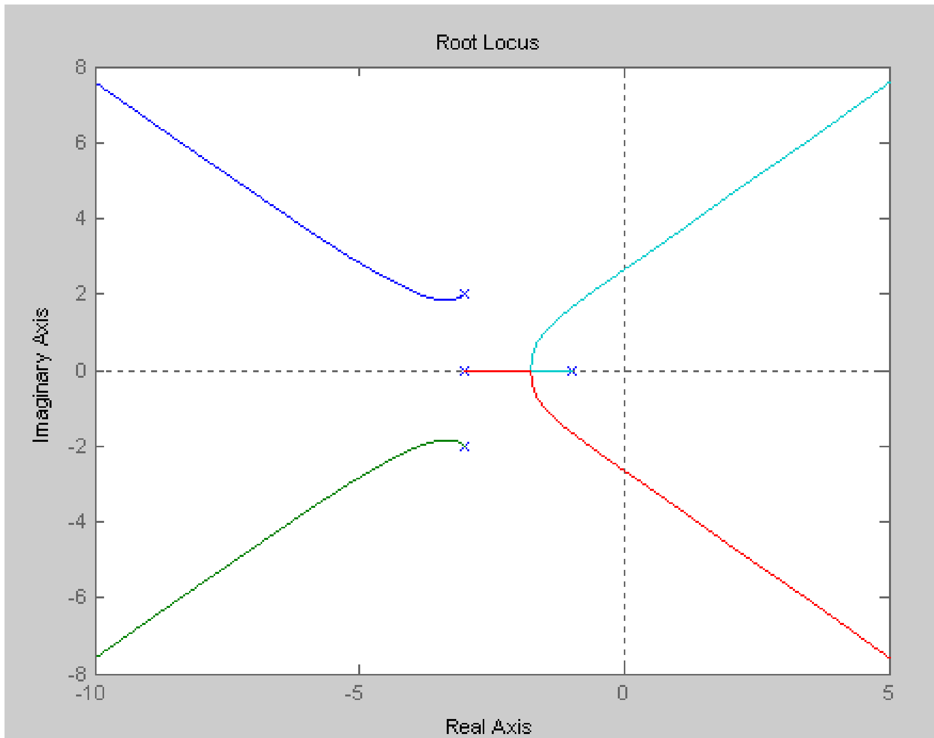
Grafico 5 – root lócus com um pólo acrescentado em -2

e) A adição de pólos e zeros ao sistema tem efeito de acrescentar e retirar regiões estáveis e instáveis do sistema. Eles mudam o comportamento da curva – logo do sistema como um todo.

3° Questão

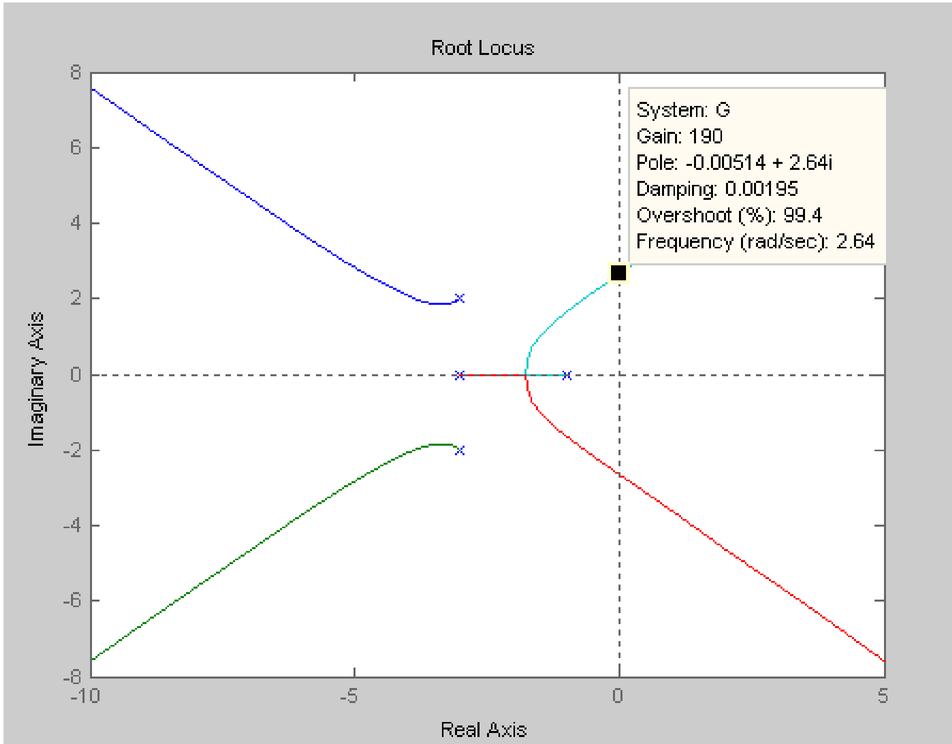
a) Trace o root lócus no Matlab

```
>> N=[1];
>> D=[1 10 40 70 39];
>> G=tf(N,D);
>> rlocus(G)
```



b) Para que valores de K o sistema é estável?

Utilizando o Matlab



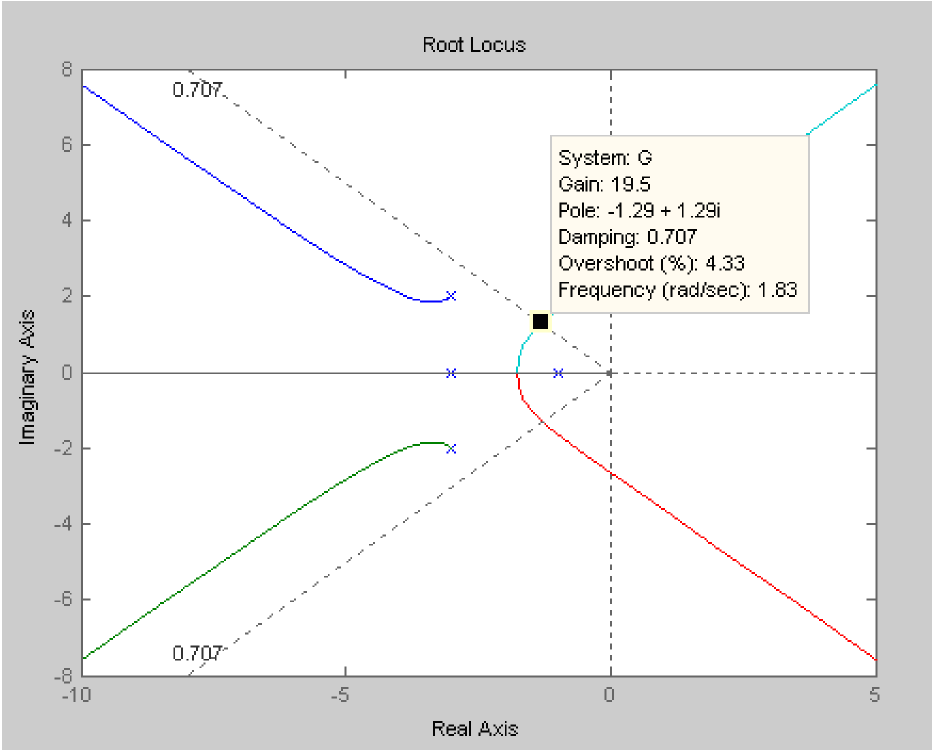
Através do root locus que o limite de estabilidade se dá quando o ganho (gain) K=190. Logo o sistema é estável para 0<K<190.

c) Qual o K para ζ = 0,707 ? Qual o erro ao degrau para este valor de K?

Aplicando no Matlab

```
>> N=[1];
>> D=[1 10 40 70 39];
```

```
>> G=tf(N,D);
>> rlocus(G)
>> sgrid(0.707,0)
```



Erro ao degrau para K=19,5:

$$e_{ss} = \frac{1}{1 + K_p}$$

$$K_p = \lim \frac{K}{(s+1)(s+3)(s^2+6s+13)}; K = 19,5$$

$$K_p = \frac{19,5}{1+3+13} \therefore K = 1,147$$

$$e_{ss} = \frac{1}{1+1,147} \therefore e_{ss} = 0,465$$

O valor de K para **ζ = 0,707,** de acordo com o gráfico do root lócus acima é de 19,5. O erro ao degrau para este valor então é **0,465**.

d) Qual o erro ao degrau e a para K=5 e K=150

$$e_{ss} = \frac{1}{1+K_p}$$

$$K_p = \lim \frac{K}{(s+1)(s+3)(s^2+6s+13)} ; K = 5$$

$$K_p = \frac{5}{1+3+13} \therefore K = 0,2941$$

$$e_{ss} = \frac{1}{1+0,2941} \therefore e_{ss} = 0,7727$$

O erro para K=5 é de 0,7727.

$$e_{ss} = \frac{1}{1+K_p}$$

$$K_p = \lim \frac{K}{(s+1)(s+3)(s^2+6s+13)} ; K = 150$$

$$K_p = \frac{150}{1+3+13} \therefore K = 8,8235$$

$$e_{ss} = \frac{1}{1+0,2941} \therefore e_{ss} = 0,1017$$

O erro fazendo K=150 é 0,1017.