UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE DO CAMPUS ARARANGUÁ
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

MATHEUS ROSSETTI
RIAN TURIBIO

**FUNDAMENTOS DE CONTROLE - GRUPO 04**

Araranguá
2021

# 1 Apresentação do sistema

Considere o mesmo circuito abordado no Trabalho 01, apresentado na Figura 1.

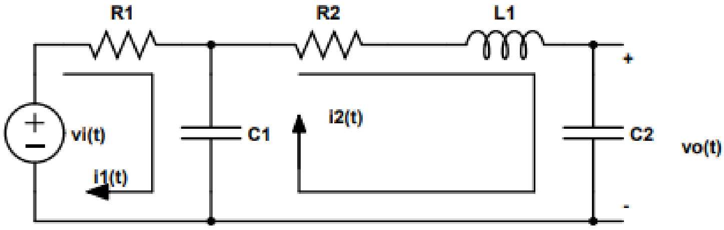



Figura 1: Circuito Elétrico.

Neste trabalho, os valores numéricos dos parâmetros do circuito serão calculados através das seguintes expressões:

$$C_1 = \frac{0,1}{K} \tag{1}$$

$$C_2 = \frac{1}{K} \tag{2}$$

$$R_1 = \sqrt{\frac{K}{10}} \tag{3}$$

$$R_2 = K \tag{4}$$

$$L_1 = \sqrt[3]{K} \tag{5}$$

onde $K = a + 5$, sendo $a$ o número do grupo.

# 2 Tarefas

Com base na função de transferência $G(s) = V_o(s)/V_i(s)$ do circuito e a realimentação unitária da variável de saída ($v_o$), devem ser efetuadas as seguintes tarefas:

1. Determinar os ganhos de um Controlador Proporcional, Integral e Derivativo (PID). A sintonia deve ser efetuada através do método da curva de reação. Utilizar o modelo equivalente de primeira ordem com atraso de transporte do processo pelo método 3 visto em aula.

2. Determinar os ganhos de um Controlador PID. A sintonia deve ser efetuada através do método da sensibilidade linear estudado em aula.

3. Verificar em simulação o desempenho de cada um dos controladores PID projetados na etapas anteriores. Fazer uma análise comparativa dos resultados obtidos.

4. Projetar um compensador de Atraso de Fase de forma a reduzir o erro em regime permanente por um fator 4. Deseja-se que o sistema em malha fechada apresente um sobressinal de $M_p = (a.2)\%$. Seguir os procedimentos vistos na Aula 09.

5. Verificar em simulação o desempenho do compensador de Atraso de Fase projetado na etapa anterior. Fazer uma análise dos resultados obtidos.

6. Projetar um compensador de Avanço de Fase de forma a reduzir o tempo de acomodação por um fator 2 com $M_p = (20/a)\%$. O zero do compensador deve ser escolhido de forma a cancelar um dos polos do sistema. Adotar os procedimentos vistos na Aula 09.

7. Verificar em simulação o desempenho do compensador de Avanço de Fase projetado na etapa anterior. Fazer uma análise dos resultados obtidos.

No trabalho passado, utilizando das informações dadas pelo professor sobre o circuito apresentado e utilizando algebrismo para resolver os sistemas apresentados, foi apresentada a seguinte função de transferência:

$$G(S) = \frac{1}{(R1C1C2L1)S^3 + (R1R2C1C2+L1C2) + (R1C1+R1C2+R2C2)S + 1}$$

E como cada componente tem uma função própria, foi feito um script no software Matlab para conseguir calcular os valores da função de transferência, sendo que como pedido a função K = a + 5, com o valor de “a” sendo 4, o valor final de K vai ser 9.

No Matlab calculamos a função de transferência com os valores de K atualizados, após o cálculo feito, o script  realiza os ganhos de pólos e zeros e monta o gráfico dos mesmos, e com isso fechamos a malha do sistema com uma função, e montamos o gráfico do sistema fechado, então, a seguir serão mostrados o script criado no software matlab, bem como os gráficos demonstrados anteriormente:

```
c1 = (0.1)/9
c2 = 1/9
r1 = sqrt(9/10)
r2 = 9
l1 = nthroot(9,3)

sistf = tf([1] , [(r1*c1*c2*l1)  (r1*r2*c1*c2+l1*c2)  (r1*c1+r1*c2+r2*c2)  1])

syszpk = zpk(sistf)
fm = feedback(sistf,1)
figure(1)
stepplot(sistf)
figure(2)
pzmap(sistf)
stepplot(fm)
```

**Figura 1: Script criado no Matlab**

```
c1 =

    0.0111


c2 =

    0.1111


r1 =

    0.9487


r2 =

     9


l1 =

    2.0801


sistf =

                    1
  ---------------------------------------
  0.002436 s^3 + 0.2417 s^2 + 1.116 s + 1

Continuous-time transfer function.


syszpk =

             410.47
  -----------------------------
  (s+94.39) (s+3.598) (s+1.209)

Continuous-time zero/pole/gain model.


fm =

                    1
  ---------------------------------------
  0.002436 s^3 + 0.2417 s^2 + 1.116 s + 2

Continuous-time transfer function.
```

**Figura 2: Resultados gerados pelo software**

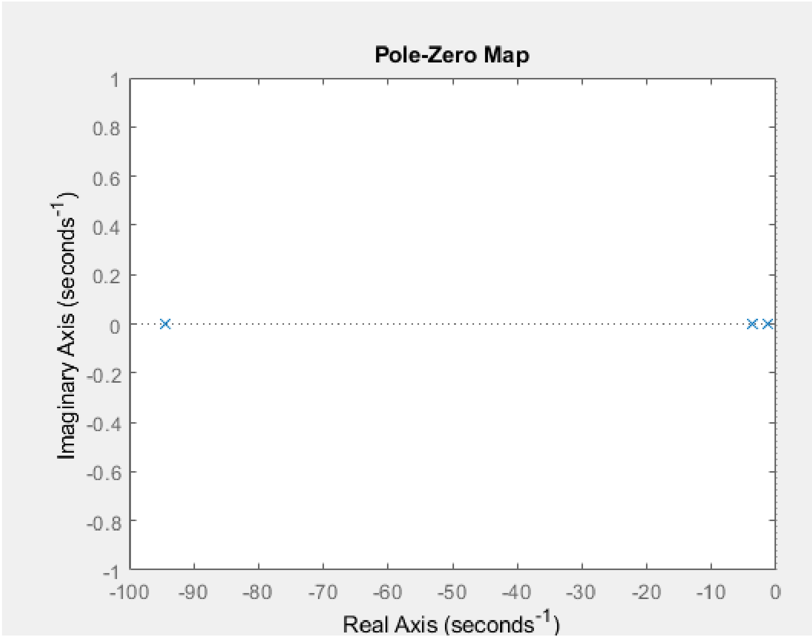



**Figura 3: Gráfico de Pólos e Zeros**

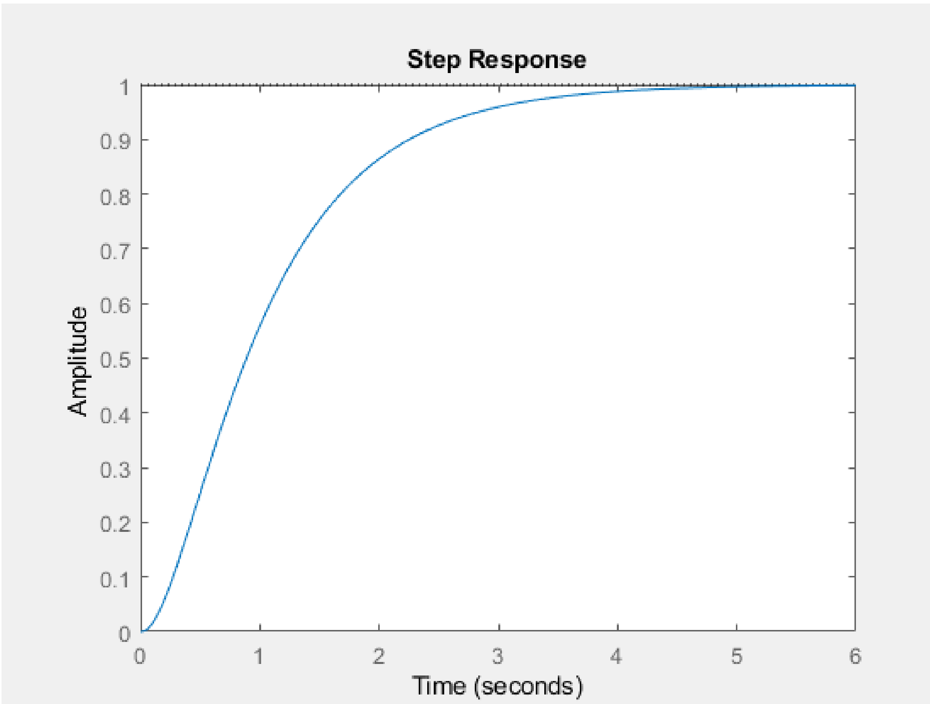



**Figura 4: Gráfico da função de transferência**

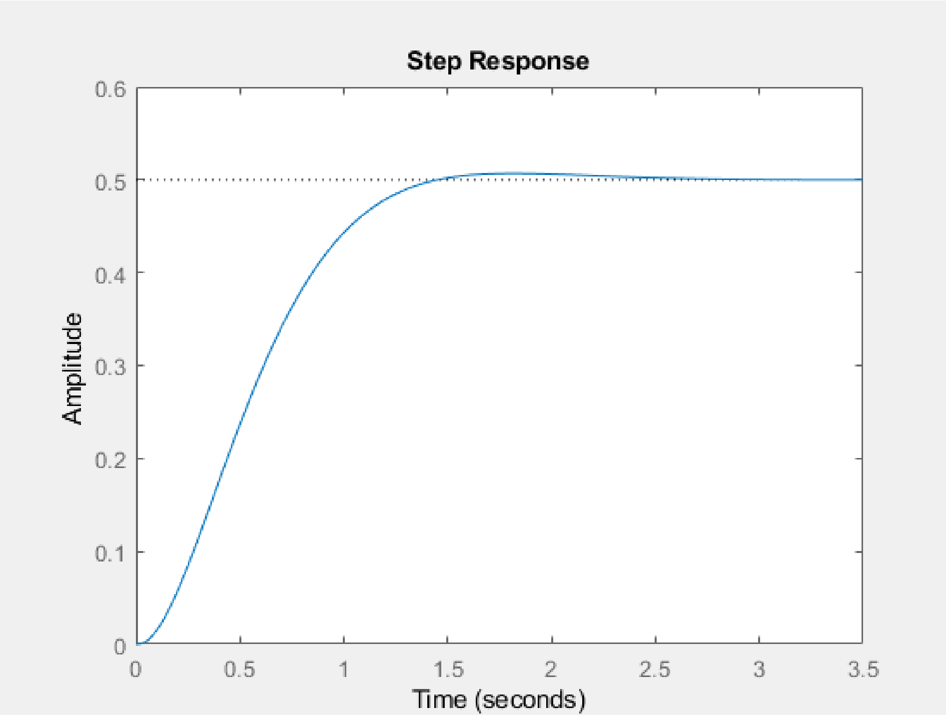



**Figura 5: Gráfico da função de transferência de malha fechada**

Com estas informações iniciais, segue a resolução deste relatório:

1) De acordo com o gráfico da figura 4, que é a função de transferência, é possível tirar algumas informações dadas pelo professor no decorrer das aulas, com isso é possível descobrir os valores de tau e theta, então primeiramente descobre-se os valores T1 e T2, e busca-se no gráfico os valores onde as porcentagens de amplitude, chegam em **63.2%** e **28.3%** respectivamente. Então os dados coletados foram:

   T1 = 1.16s correspondente a 63.2%
   T2 = 0.543s correspondente a 28.3%

   Assim, fazendo algumas modificações algébricas com as funções de tau e theta, chega-se em:

   **τ : 0.925**
   **Θ : 0.382**

   Com as informações de fórmulas dadas pelo professor em aula, e que estão apresentadas nos slides, é possível detalhar os valores de K, Kp, Ti, Td, Ki, e Kd:
   **K:** 1
   **Kp:** 2.90
   **Ti:** 0.764
   **Td:** 0.191
   **Ki:** 3.795
   **Kd:** 0.553

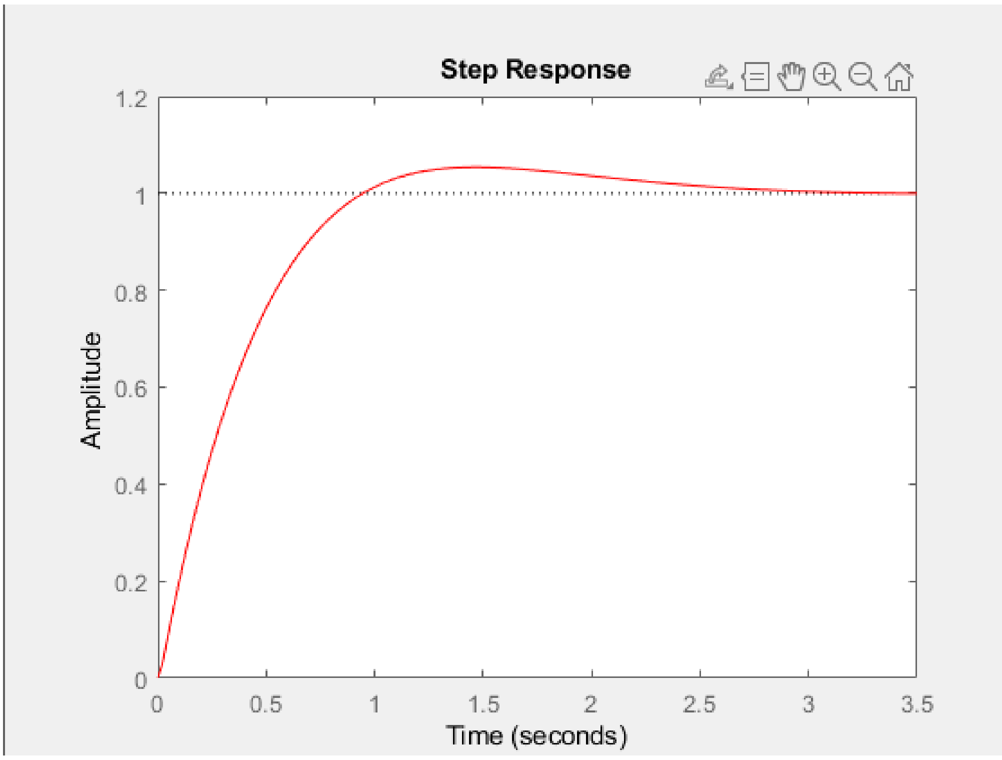
Com estes valores, a função de transferência dada em aula foi:

$$Gpid = \frac{Kd\,S^2 + Kp\,S + Ki}{s}$$

Assim, substituindo os valores coletados fica:

$$Gpid = \frac{0.553\,S^2 + 2.90\,S + 3.795}{s}$$

E o gráfico correspondente a Gpid*Tf fica:




**2)**Utilizando uma função nativa do matlab é possível coletar os dados de Ganho Crítico e Wcr, para depois utilizar uma função e descobrir o valor de Pcr. Com a função de transferência utiliza-se o comando:

[Gm,Pm,Wcg,Wcp] = margin(sys)

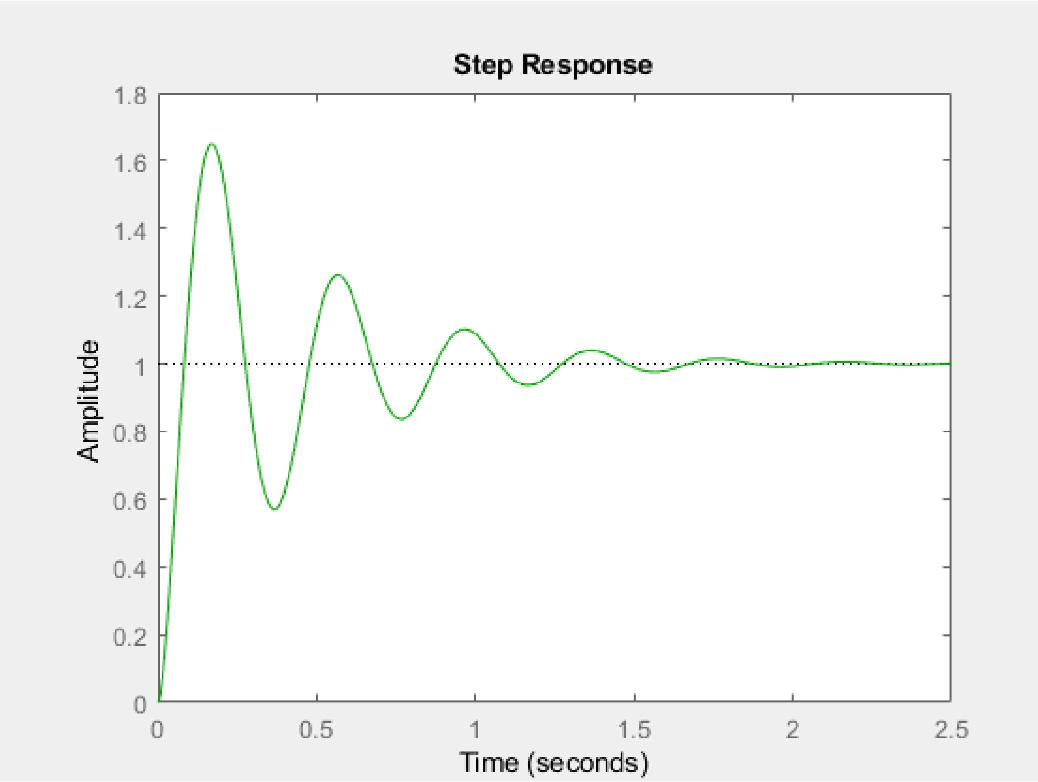
Com ele foi possível encontrar um **KCrítico** de 109.69, e um **Wcr** de 21.402, e com o valor de Wcr, e colocado na fórmula para descobrir o Pcr, resultando em um valor de 0.293. Assim conseguimos os valores de K, Kp, Ti, Td, Ki, e Kd**,** com as fórmulas dadas em aula. E com isso, formulamos o controlador PID de sensibilidade linear

**K:** 1
**Kp:** 65.814
**Ti:** 0.1465
**Td:** 0.036
**Ki:** 449.242
**Kd:** 2.369

Resultando na fórmula:

$$Gpid2 = \frac{2.369\, S^2 + 65.814\, S + 449.242}{s}$$

E no gráfico apresentado abaixo:




**3)**

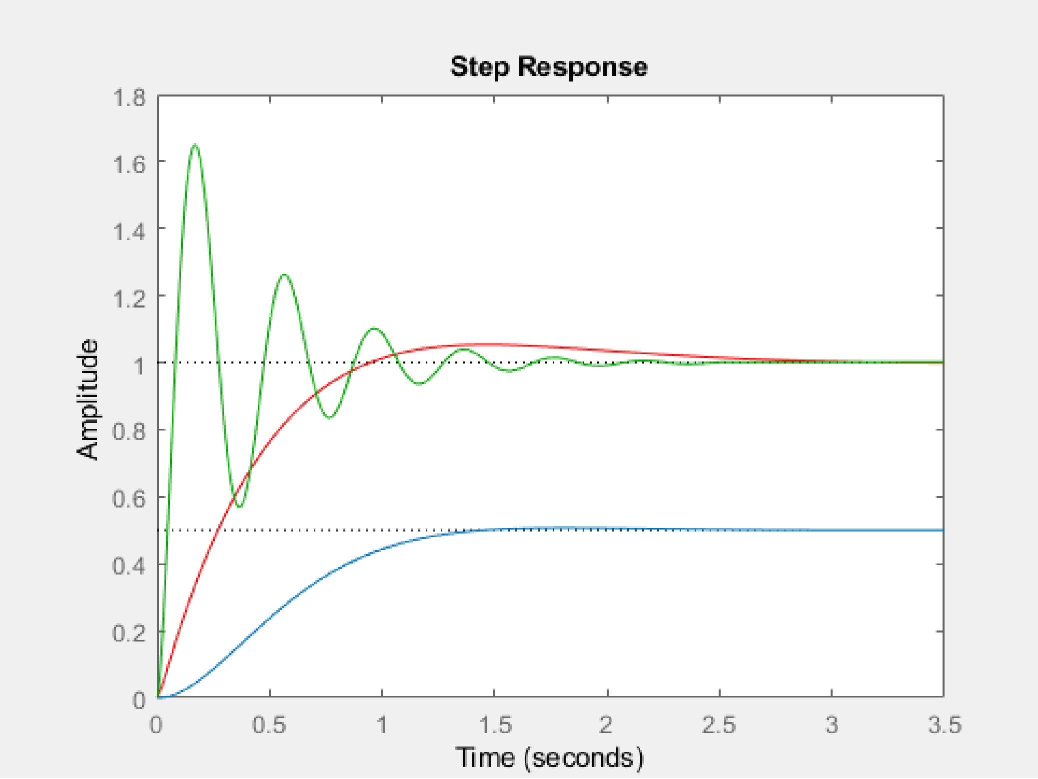


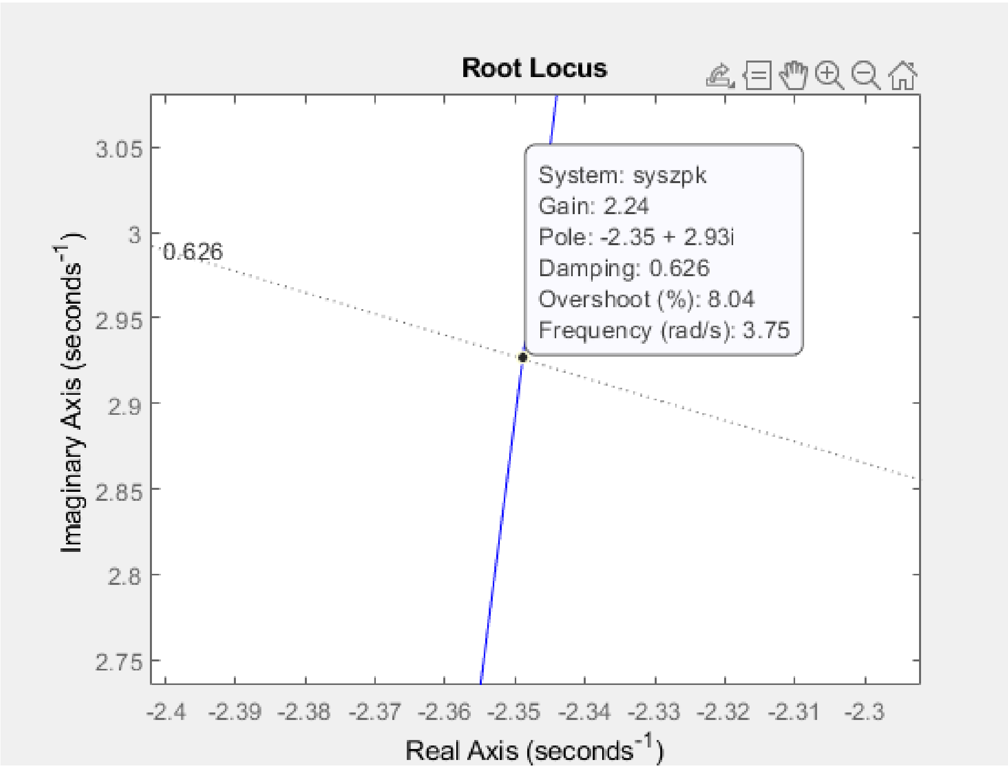
**Gráfico em Azul:** Função de Transferência sem Compensador
**Gráfico em Vermelho:** Compensador - Curva de Reação
**Gráfico em Verde:** Compensador - Sensibilidade Linear

Com a apresentação do gráfico acima, que é a junção dos compensadores com a função de transferência, é possível observar que a margem de erro gerada na Função de Transferência sem Compensador é grande, e que os compensadores resolvem o problema do erro, pois as oscilações dos dois compensadores são diferentes da função sem o compensador, e eles representam como deve ficar os tipos de oscilação como foi apresentado em aula, assim o compensador de curva de reação apresenta mais suavidade até se estabilizar, e o compensado de sensibilidade linear oscila muito mais comparado as outra funções, assim demora mais pra se estabilizar.

**4)** Recebendo o valor de MP sendo (a*2) , e o valor de "a" do nosso grupo sendo "4", temo o valor de Mp sendo "8", com isto, e possivel calcular o **X** e o **Qsi**:

**X:** 0.646 e **Qsi:** 0.626

Utilizando o matlab com a função **sgrid(qsi,0),** e utilizando o valor do qsi, é possível descobrir o valor de K, que é de 2.24, como mostrado na figura abaixo:




Com isso, é necessário descobrir o Kp, então é feito o limite tendendo a zero da Gs, apresentando um valor de Kp de 0.999.
E utilizando o valor de Kp, e descoberto o erro e o erro esperado do controlador utilizando fórmulas dadas em aula:

**e(∞): 0.500 , ec(∞): 0.125**

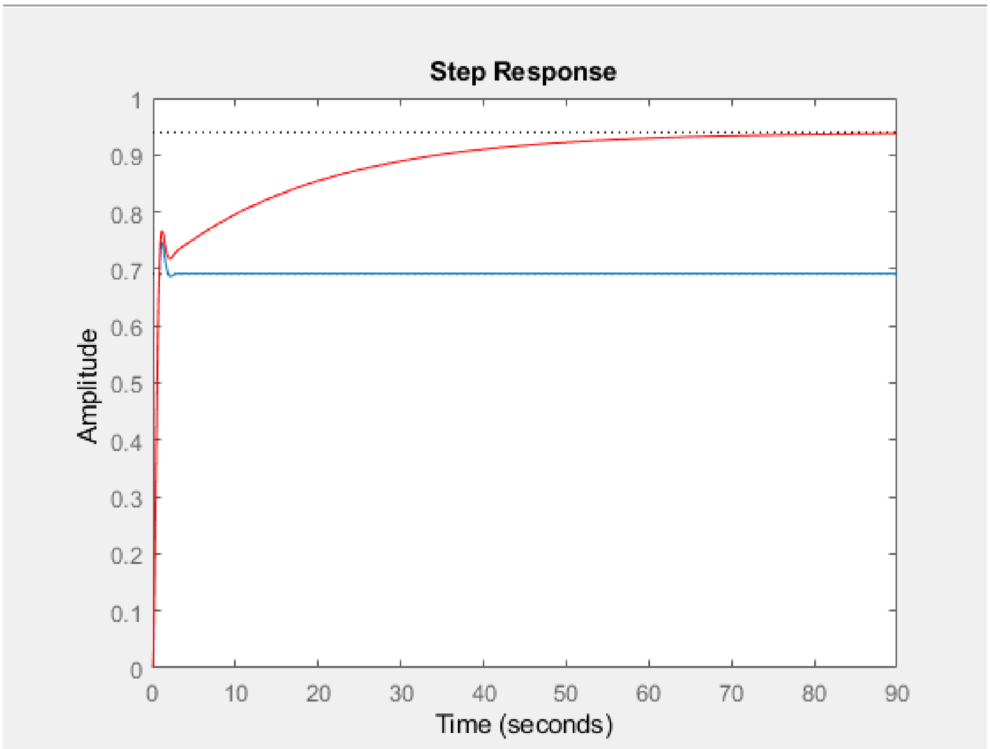
Com todos estes valores é possível determinar um **Kpc** a partir da fórmula de erro:

$$e(\infty)_c = \frac{1}{1 + Kpc} \rightarrow Kpc = 7 \qquad \frac{Zc}{Pc} = \frac{Kpc}{Kp} \rightarrow \frac{7}{0.999} = 7.007$$

Utilizando de um Pc valendo 0.01, o Zc fica com valor de **0.070**, então o compensador já com o valor de K fica com a fórmula de:

$$C = \frac{2.24(\,s + 0.070\,)}{(\,s + 0.01\,)}$$

**5)** Com a função de transferência original, e o compensador de atraso de fase e feito o seguinte gráfico:




**Azul:** Funcao de transferencia sem Compensador
**Vermelho:** Sistema com compensador de atraso de fase

Como o sistema apresenta um compensador de atraso de fase, o gráfico vermelho apresenta uma diferença entre o azul, onde significa que ele alterou muito pouco a resposta transitória do sistema comparado a função original. O gráfico apresenta semelhança a modelos vistos em aula explicados pelo professor e como ele é um compensador de atraso de fase, ele é mais lento para se estabilizar comparado a função de transferência sem controlador.