|  |  |
| --- | --- |
| Unicamp | FEEC |

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO – FEEC

EA722X

Laboratório de Controle e Servomecanismos

LABORATÓRIO 04:

Projeto via Lugar das Raízes

Alunos:

HENRIQUE ROBERTO DA CUNHA JÚNIOR R.A.: 174638

LEONARDO RODRIGUES MARQUES R.A.: 178610

WELLTER MOMPEAN SOZIN R.A.: 188625

WILLIAM QUINTAS DE MELO R.A.: 188684

Professor: MATHEUS SOUZA

Campinas

2020

|  |
| --- |
| SUMÁRIO  LISTA DE FIGURAS 2  1 3  Item A 3  Item B 3  Item C 7  Item D 9 |

LISTA DE FIGURAS

[Figura 1: Lugar das raízes da planta sem compensação em malha aberta. 4](#_Toc61640675)

[Figura 2: Critérios do projeto do compensador exibidos no lugar das raízes. 5](#_Toc61640676)

[Figura 3: Lugar das raízes do conjunto planta e compensador avanço. 6](#_Toc61640677)

[Figura 4: Ponto utilizado para obter o ganho do controlador avanço. 6](#_Toc61640678)

[Figura 5: Resposta ao degrau unitário do sistema em malha fechada com o compensador avanço projetado. 7](#_Toc61640679)

[Figura 6: Lugar das raízes para o sistema do motor não compensado em malha aberta. 8](#_Toc61640680)

[Figura 7: Lugar das raízes para o sistema do motor em malha fechada com compensador. 9](#_Toc61640681)

[Figura 8: Resposta ao degrau unitário para o sistema do motor em malha fechada com compensador. 9](#_Toc61640682)

[Figura 9: Sistema implementado no Simulink sem o atuador. 10](#_Toc61640683)

[Figura 10: Resposta ao degrau para o sistema sem o atuador. 10](#_Toc61640684)

[Figura 11: Sistema implementado no Simulink com o atuador. 10](#_Toc61640685)

[Figura 12: Resposta ao degrau para o sistema com o atuador. 11](#_Toc61640686)

# 

## Item A

Para obter a função de transferência solicitada, trabalharemos com a equação do movimento do sistema linearizada em torno de :

Considerando pequenos ângulos, temos a relação:

Substituindo na equação do movimento, teremos:

Em seguida, podemos aplicar a transformada de Laplace, obtendo:

Rearranjando os termos:

Nos foi dado os seguintes parâmetros:

* ;
* ;
* ;
* ;
* ;
* .

Substituindo esses parâmetros, finalmente obtemos:

## Item B

Considerando , iremos projetar baseado no lugar das raízes o controlador avanço da malha externa de maneira a assegurar um sobressinal máximo de 5% e um tempo de estabilização de até 5 s para o sistema em malha fechada.

Primeiramente, observamos o lugar das raízes da planta em malha aberta sem qualquer tipo de controlador.

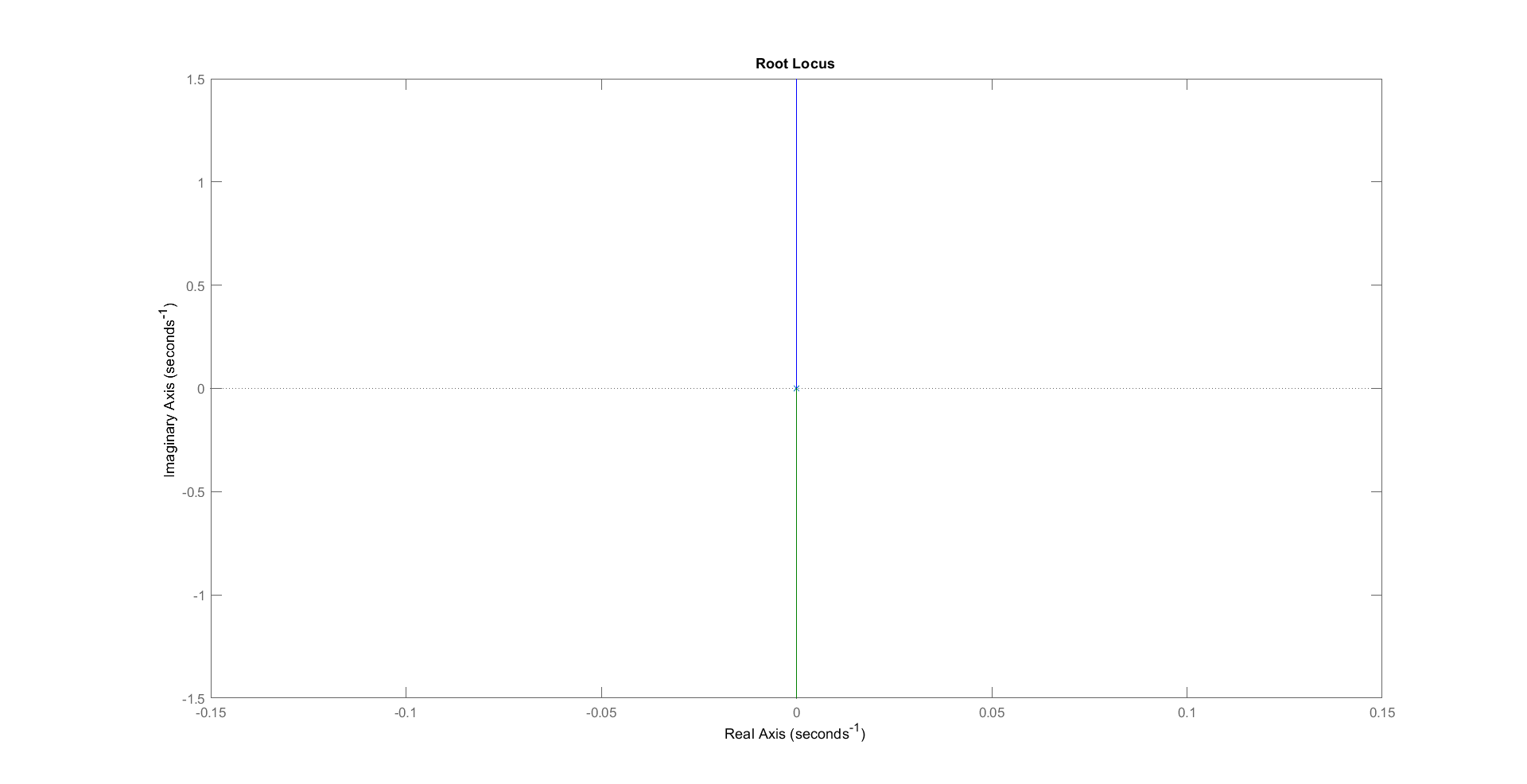


Figura : Lugar das raízes da planta sem compensação em malha aberta.

Como podemos notar, a planta possui dois polos na origem que caminham para o infinito percorrendo o eixo imaginário. Para adequarmos o projeto do controlador dentro das especificações solicitadas, devemos seguir os seguintes parâmetros:

No gráfico do lugar das raízes, podemos traçar as linhas nas quais esses parâmetros são constantes, como exibido na Figura 2.

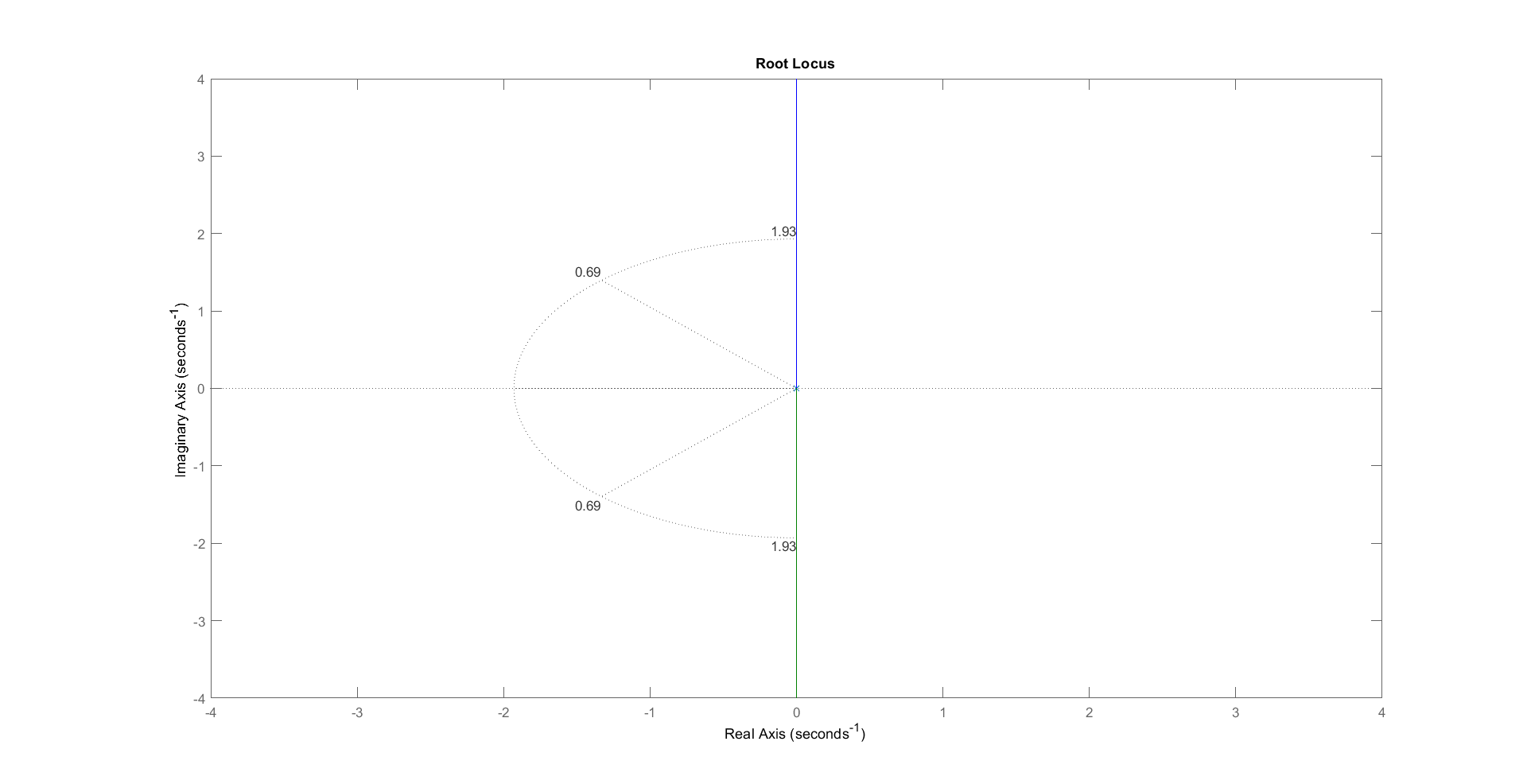


Figura : Critérios do projeto do compensador exibidos no lugar das raízes.

Visto isso, sabemos que a área em que teremos uma sobressinal menor que 5% é a compreendida entre as duas linhas diagonais pontilhadas. Da mesma maneira, a área em que a estabilização do sistema é menor que 3 s é a compreendida fora da linha curva. Sendo assim, devemos aplicar o compensador avanço para trazer o lugar das raízes para a esquerda implicando em estabilidade.

Sabemos que o compensador avanço irá possuir a seguinte forma:

Primeiramente, iremos posicionar o zero perto da origem para surtir o efeito de cancelamento de um dos polos . Já o polo será alocado à extrema esquerda de maneira a trazer o lugar das raízes para o plano esquerdo de estabilidade . Sendo assim, temos o seguinte controlador:

Numa primeira análise, considerando o ganho unitário, veremos como o lugar das raízes se comportará na Figura 3 com a inserção desse controlador no sistema.

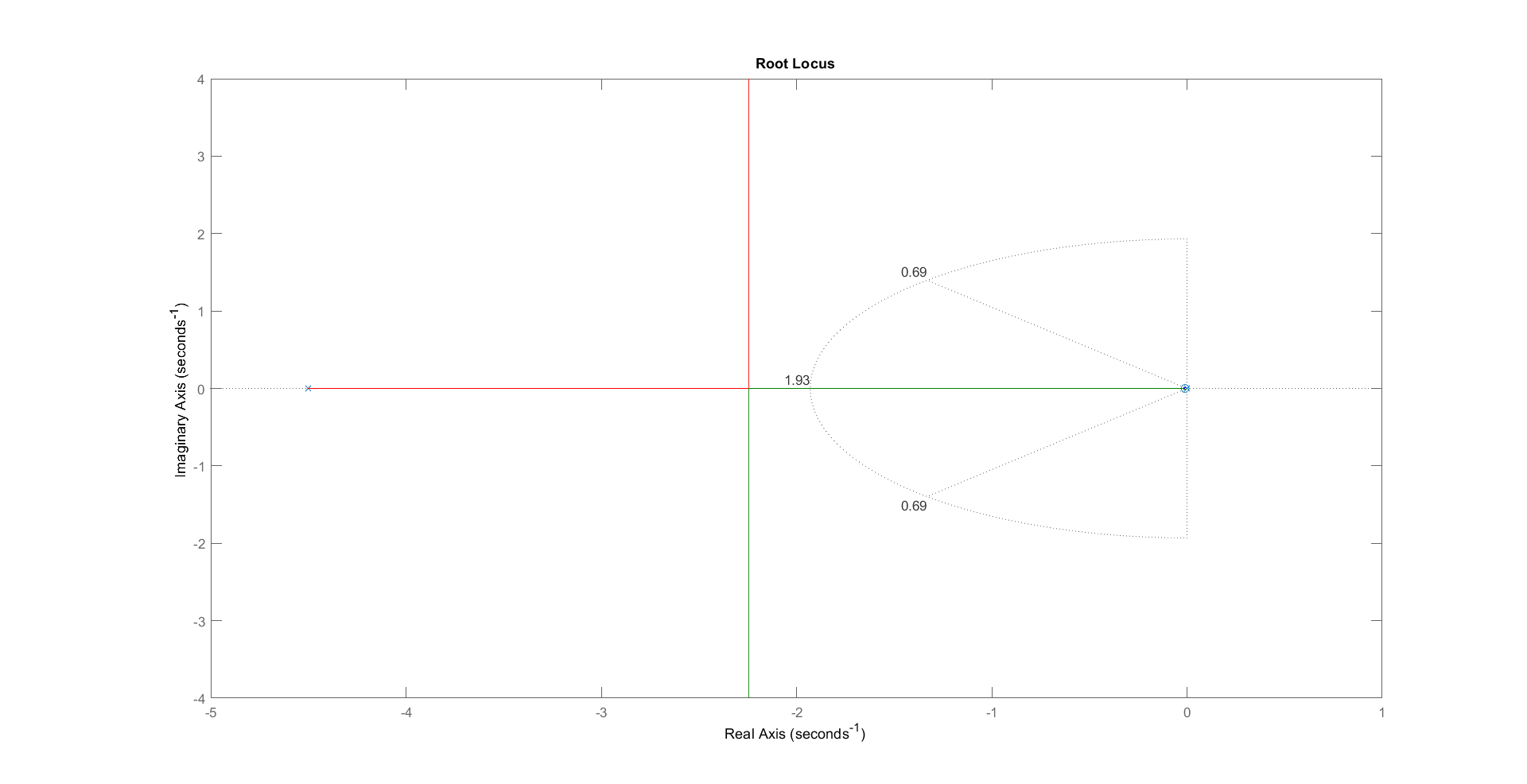


Figura : Lugar das raízes do conjunto planta e compensador avanço.

Sendo assim, podemos observar que os ramos das raízes estão dentro da área desejada de acordo com as especificações do projeto.

Finalmente, devemos especificar o ganho do compensador. Para isso, podemos utilizar o comando *rlocfind* no Matlab para auxiliar-nos no processo selecionando um ponto no lugar das raízes que atenda aos critérios especificados. Ponto esse apresentado na Figura 4 obtendo um ganho .

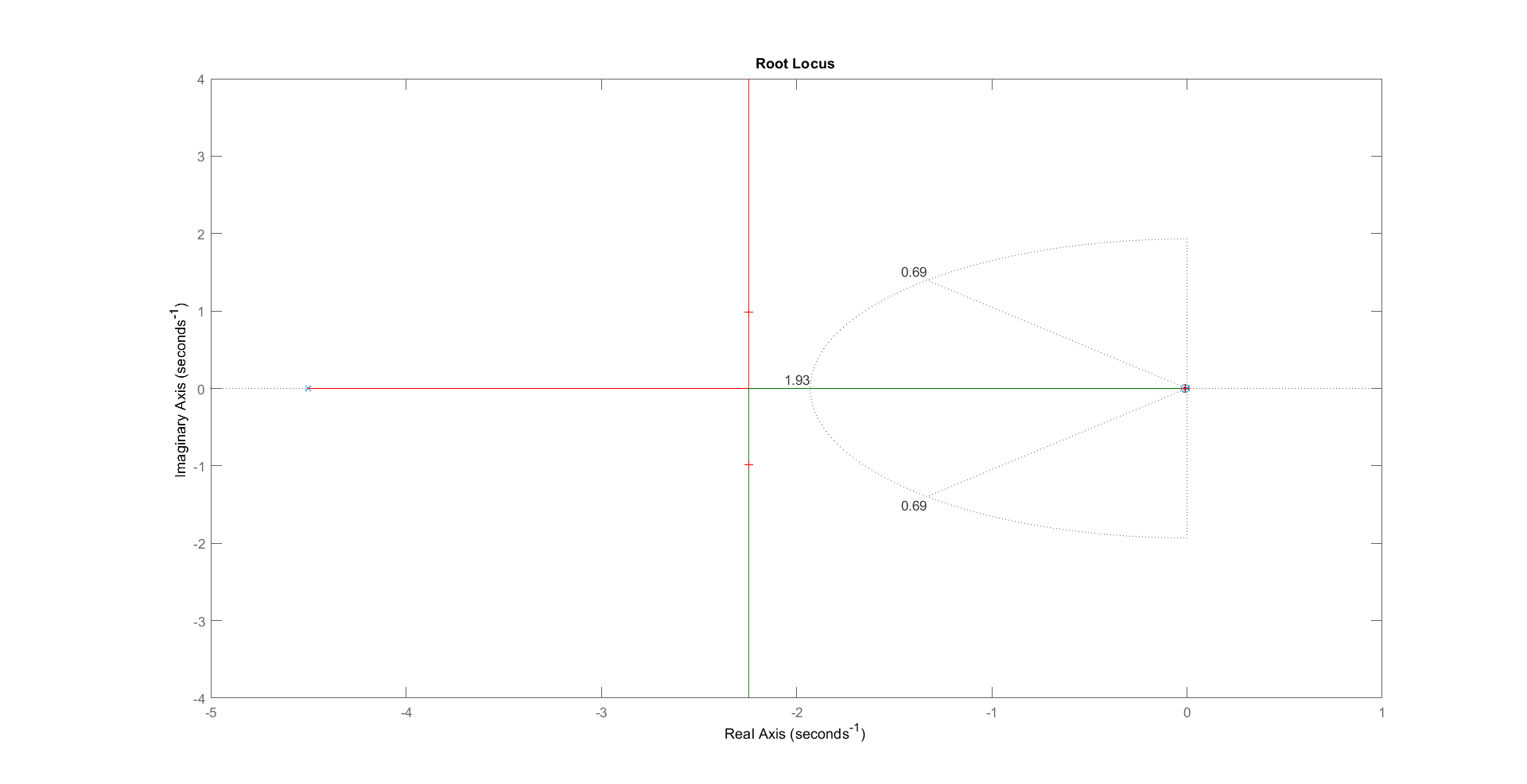


Figura : Ponto utilizado para obter o ganho do controlador avanço.

Portanto, teremos o seguinte controlador projetado:

E a resposta ao degrau da planta com o controlador em malha fechada pode ser observada na Figura 5 atendendo a todos os parâmetros de projeto solicitados.

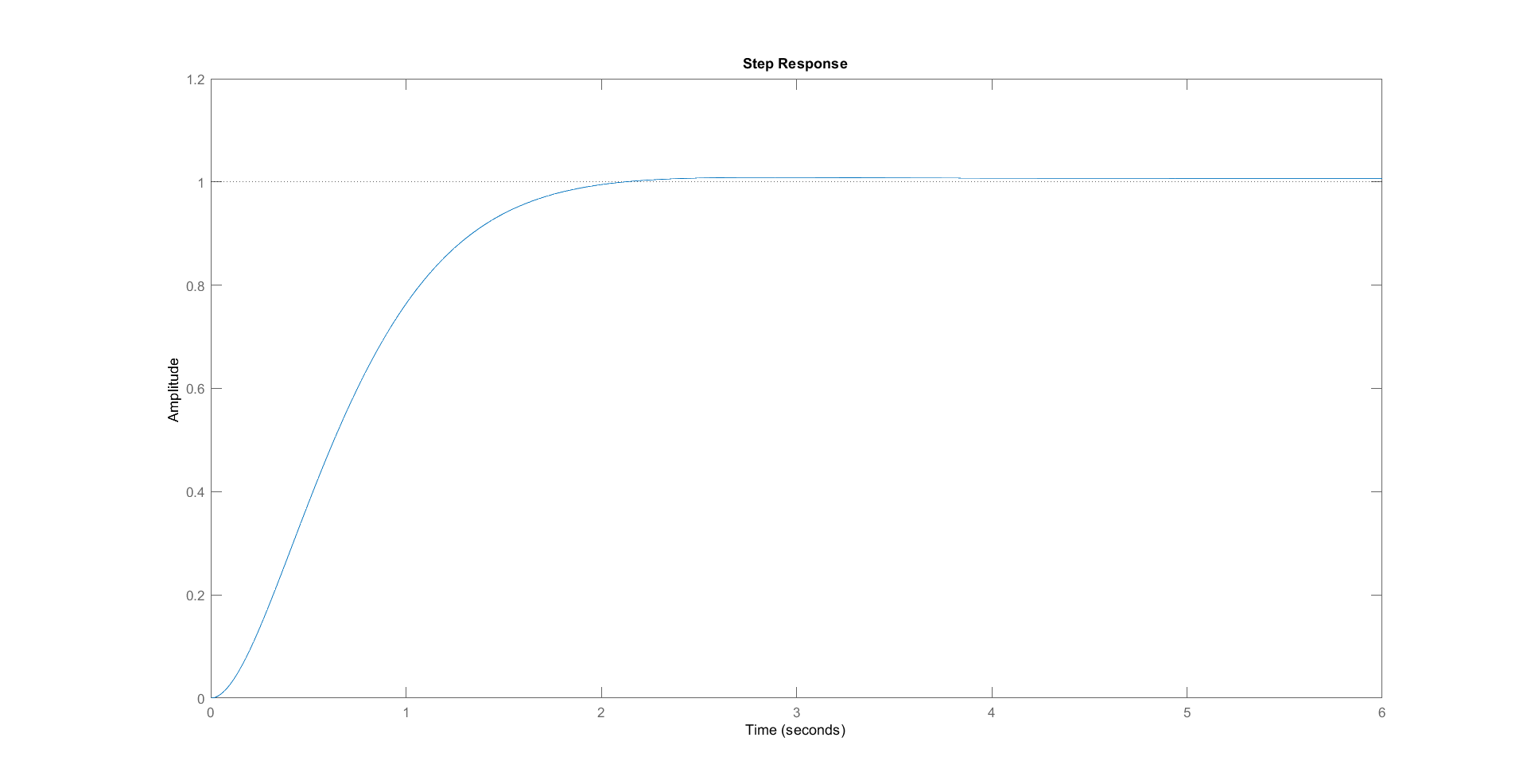


Figura : Resposta ao degrau unitário do sistema em malha fechada com o compensador avanço projetado.

## Item C

A função de transferência do motor DC é dada por:

Como critérios de projeto, temos que um sobressinal máximo de 20% e um tempo de estabilização de até 0,25 s. Portanto, chegamos nos seguintes parâmetros:

A estrutura do compensador proporcional-derivativo (PD) desejado pode ser implementada através da seguinte equação:

Teremos os polos dominantes de malha fechada em:

No gráfico do lugar das raízes do sistema (motor) em malha aberta e sem compensação apresentado na Figura 6, podemos observar que esses polos não pertencem ainda ao lugar das raízes.

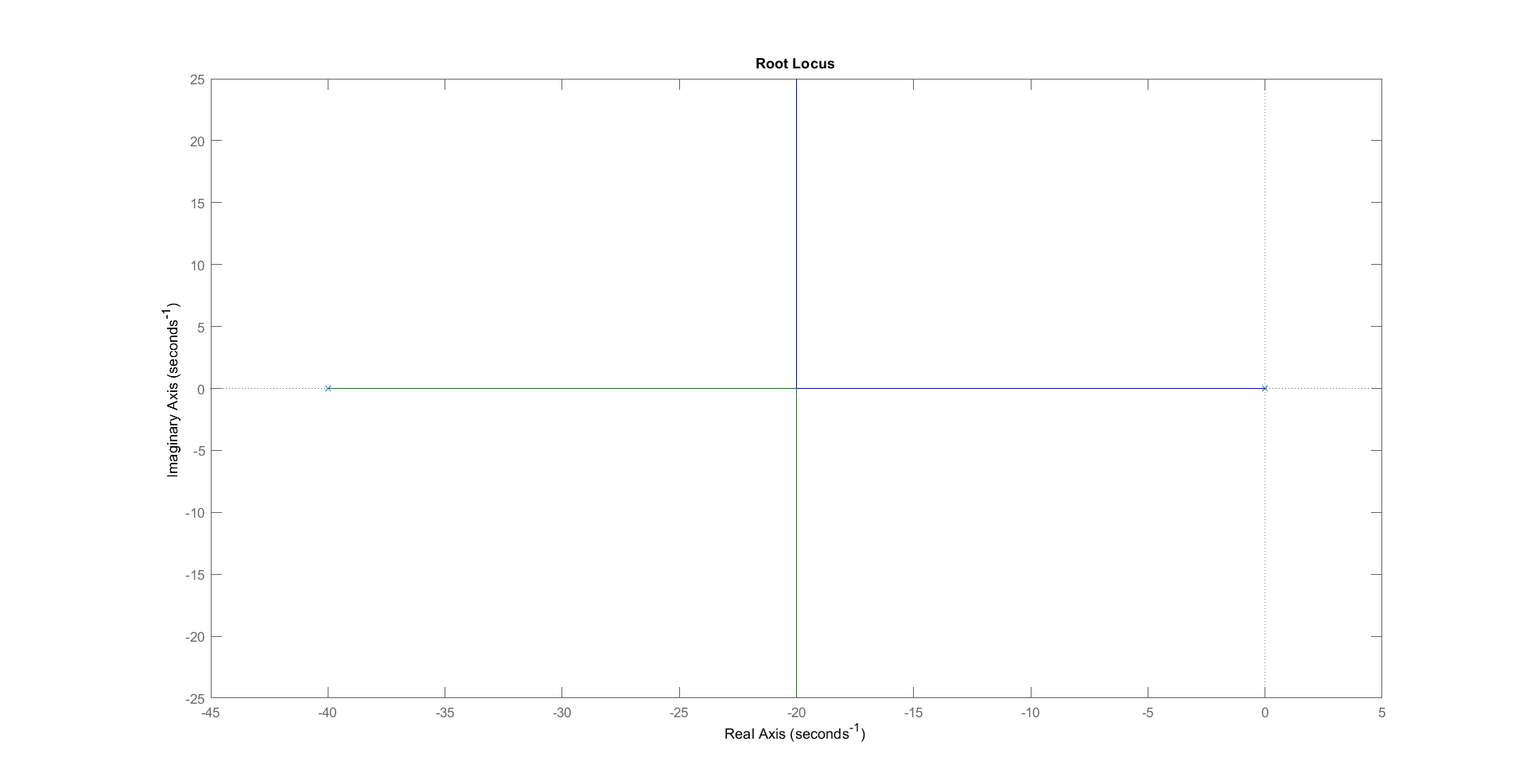


Figura : Lugar das raízes para o sistema do motor não compensado em malha aberta.

O polo desejado precisa satisfazer a seguinte equação:

Assim:

Para o ganho:

Portanto, o controlador PD projetado é:

A seguir, são apresentados os gráficos do lugar das raízes para o sistema em malha fechada compensada e sua resposta ao degrau unitário.

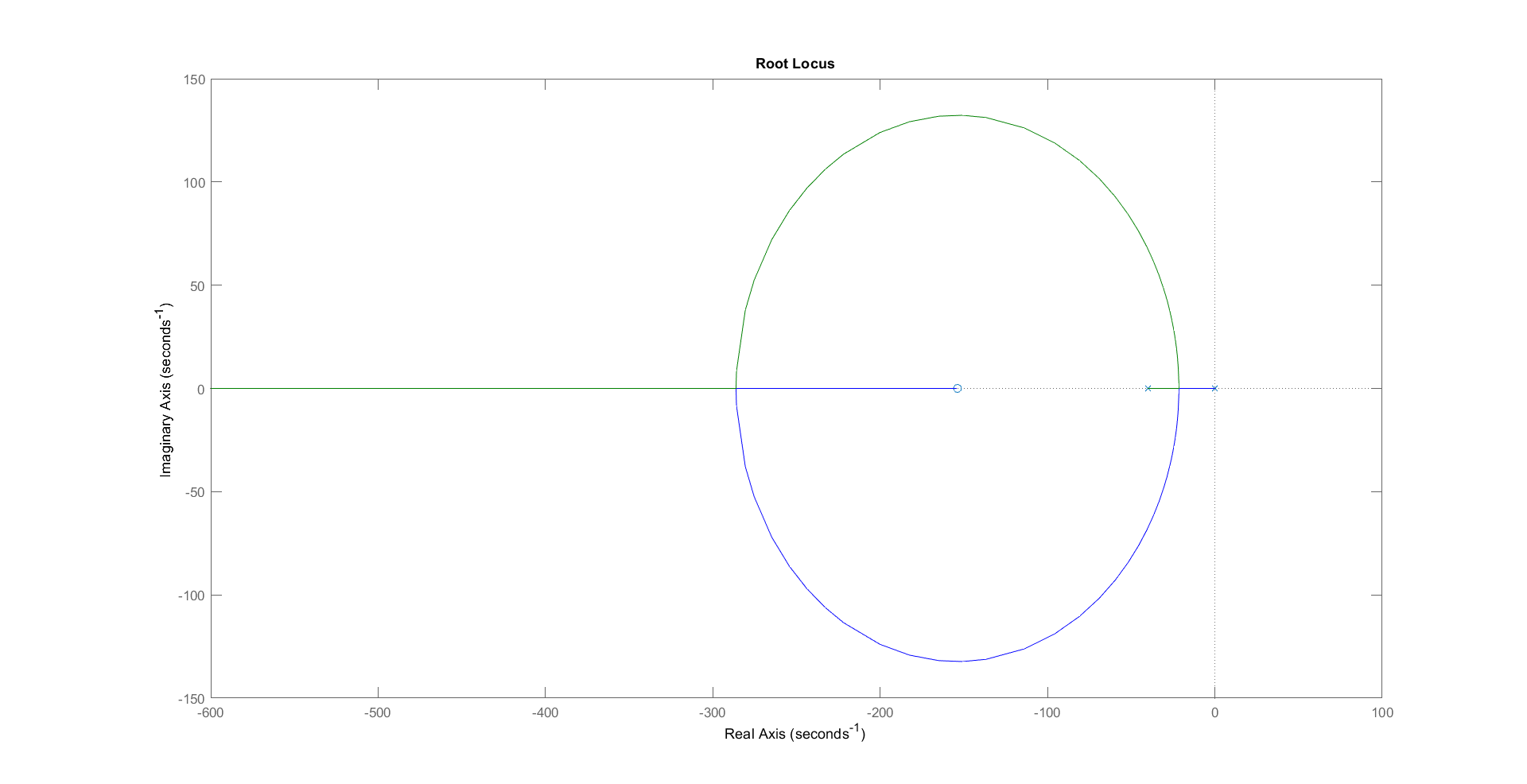


Figura : Lugar das raízes para o sistema do motor em malha fechada com compensador.

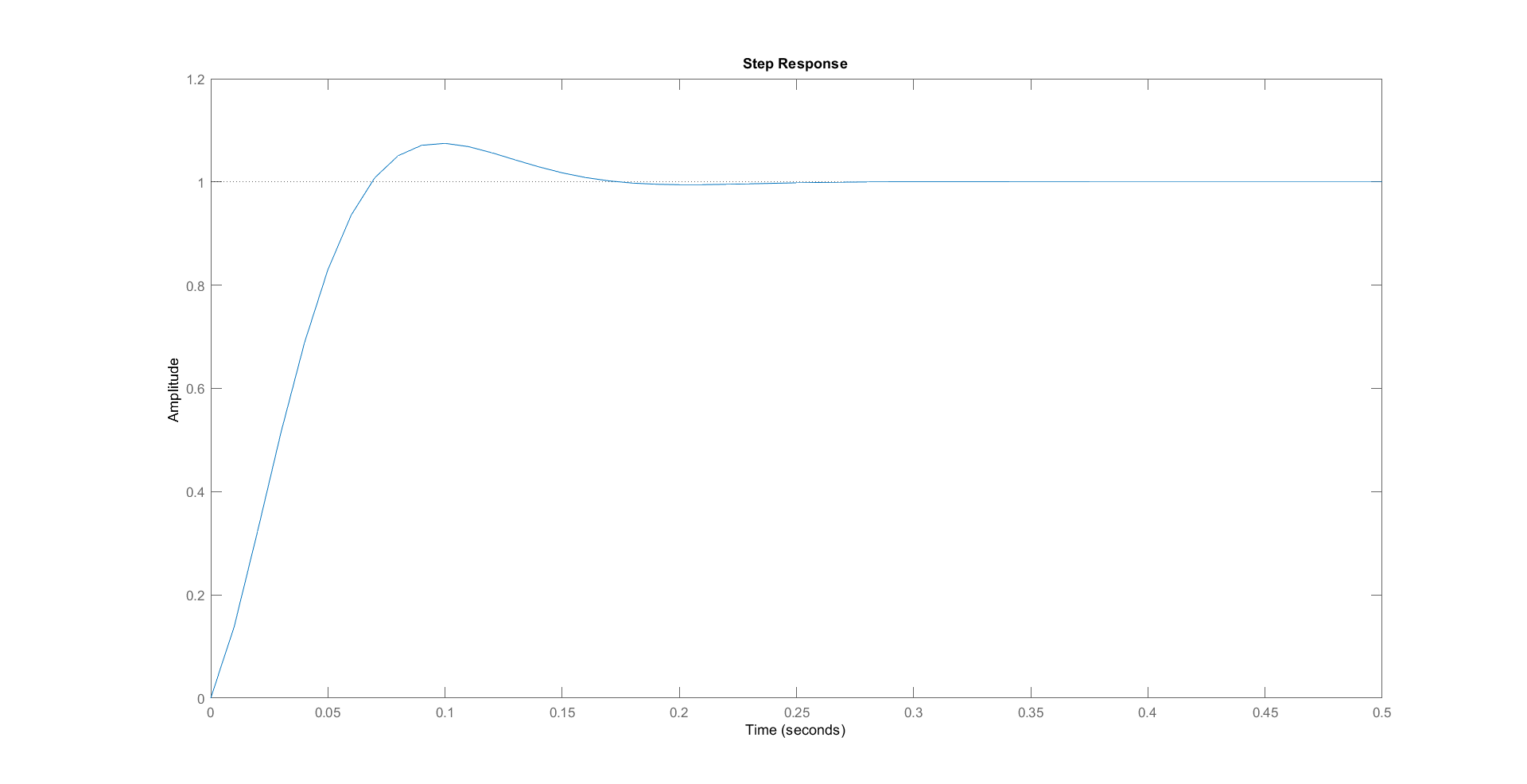


Figura : Resposta ao degrau unitário para o sistema do motor em malha fechada com compensador.

## Item D

Primeiramente, realizamos a simulação utilizando-se do *Simulink* para o sistema sem o atuador, ou seja, . O sistema implementado e a resposta ao degrau são apresentadas nas figuras que se seguem.

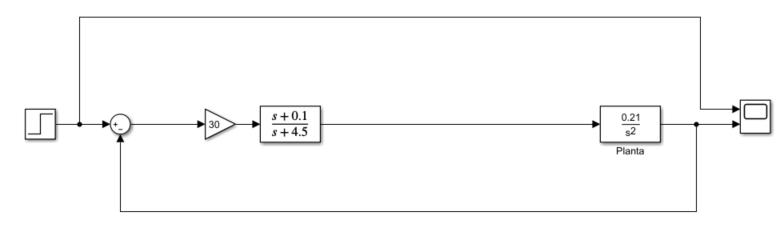


Figura : Sistema implementado no Simulink sem o atuador.

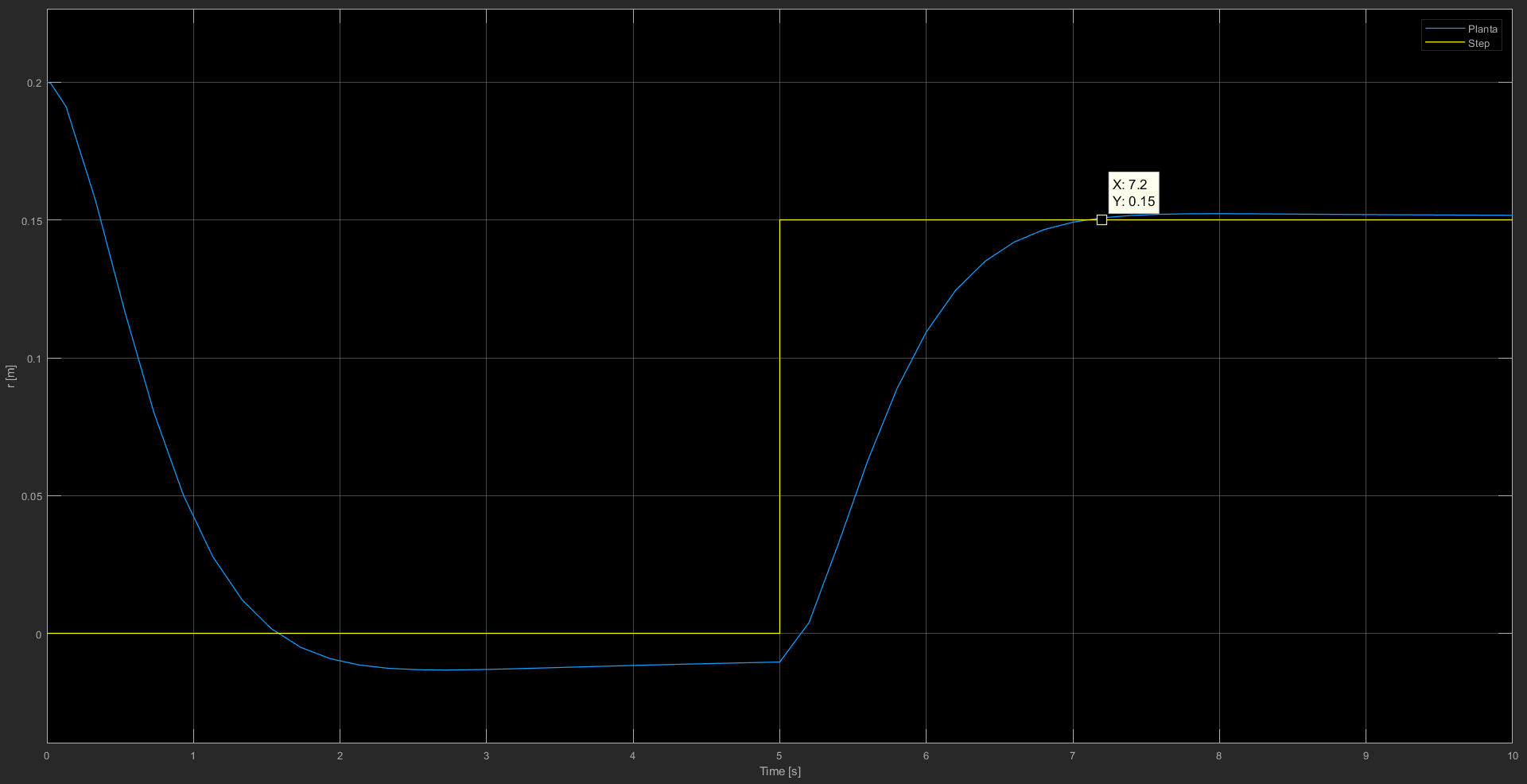


Figura : Resposta ao degrau para o sistema sem o atuador.

Como solicitado, a referência de inicia-se nula e, após 5 s, ocorre o degrau elevando-a para 0,15 m. Portanto, o sistema que antes tinha se iniciado em 0,2 m, responde a esse degrau convergindo para a referência.

A seguir é apresentada a simulação com a presença do atuador no sistema.

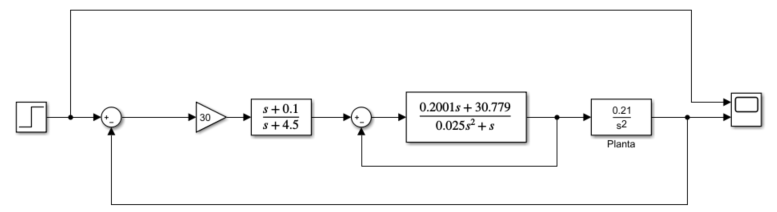


Figura : Sistema implementado no Simulink com o atuador.

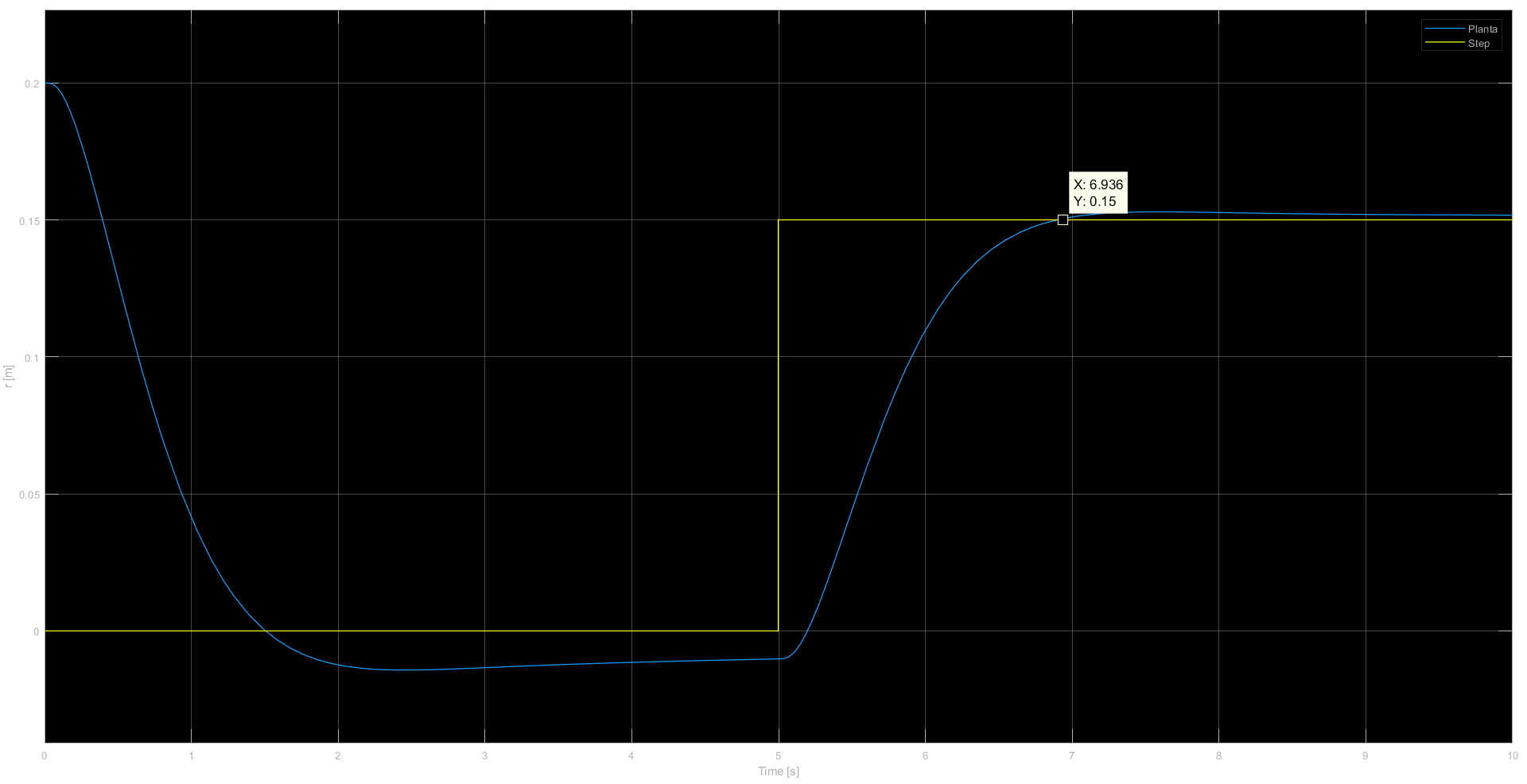


Figura : Resposta ao degrau para o sistema com o atuador.

Podemos notar que com a presença do atuador, o sistema converge de maneira ligeiramente mais rápida para a referência.