

FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO
PORTO



Sistemas Baseados em Inteligência Computacional

Exercício 2 - Controlador PI Difuso

Diogo Silva up201809213
Ricardo Martins up201608378

Introdução

Neste exercício temos como objectivo controlar o sistema de segunda ordem, definido pela seguinte função de transferência .

$$G(s) = \frac{-10e^{T_d s}}{1 + \tau s} \quad (1)$$

Os valores de T_d estão contidos em [3 10]ms, e os de τ entre [10 50]ms O intervalo da saída deve estar contido entre [0 10]. As variáveis de entrada variam entre -1 e 1.

1 For the proposed PI-type controller describe, and graphically represent in XY axes, the fuzzy sets for the input and output variables. Justify.

Para o controlo do sistema decidimos usar o controlador Fuzzy baseado em PI modelo Mandani. O seu diagrama de blocos pode ser visualizado a baixo.

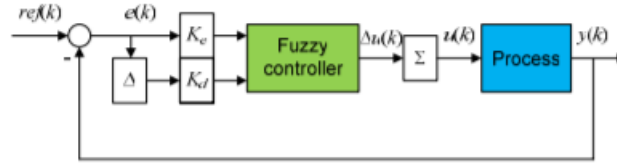


Figura 1: Controlador Fuzzy Mandani

Este controlador segue a seguinte expressão matemática:

$$\Delta u(k) = K_p * \Delta e(k) + K_i * e(k) \quad (2)$$

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad (3)$$

Visto este controlador dispor de duas entradas como se pode ver no esquema, decidimos criar dois conjuntos fuzzys para a entrada, uma para o erro e outra para a variação do erro. Criamos também um conjuntos fuzzy para a saída do controlador. Para estes conjuntos criamos cinco variáveis linguísticas. Sendo elas as seguintes:

- **NG** - Negativo Grande
- **NP** - Negativo Pequeno
- **Z** - Entorno de zero
- **PP** - Positivo Pequeno
- **PG** - Positivo Grande

Estas variáveis linguísticas variam entre os valores -1 a 1. Isto porque como os valores de entrada variam nesta gama fica mais fácil a resolução do problema. Como as variáveis linguísticas de todos os conjuntos difusos tem a mesma gama optamos por considerar todos iguais, estes conjuntos podem ser encontrados abaixo.

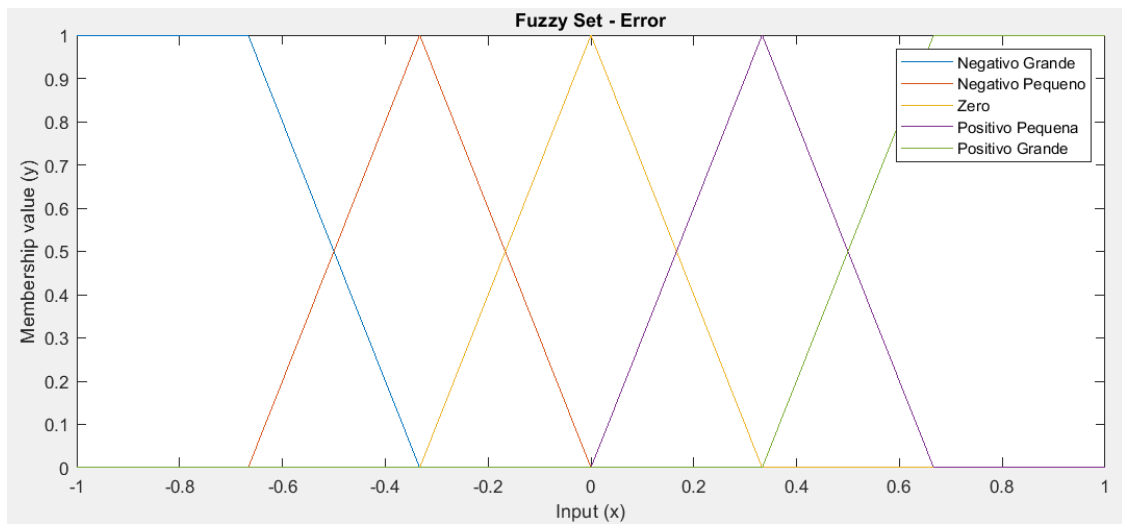


Figura 2: Fuzzy Set Error

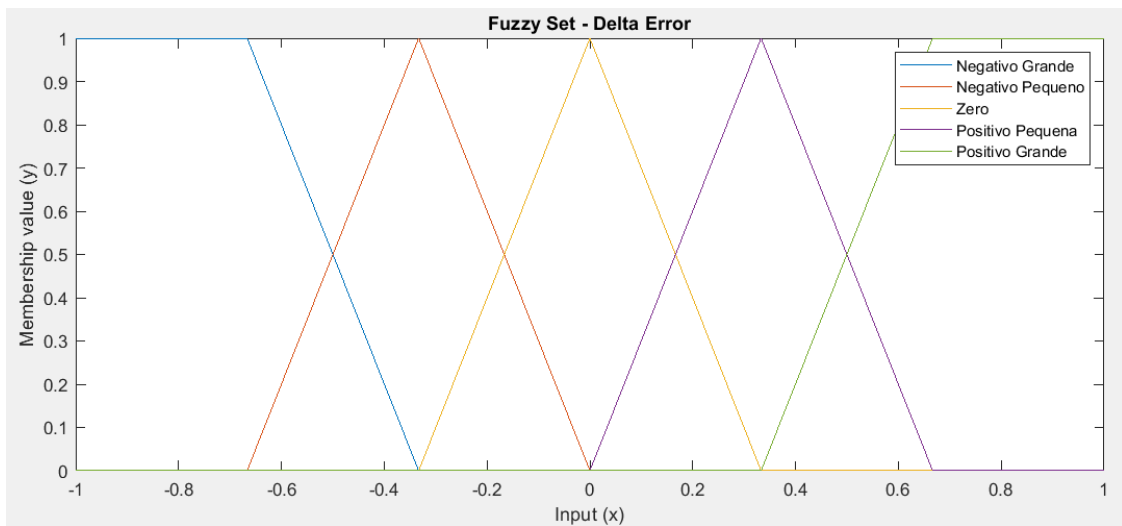


Figura 3: Fuzzy Set Delta Error

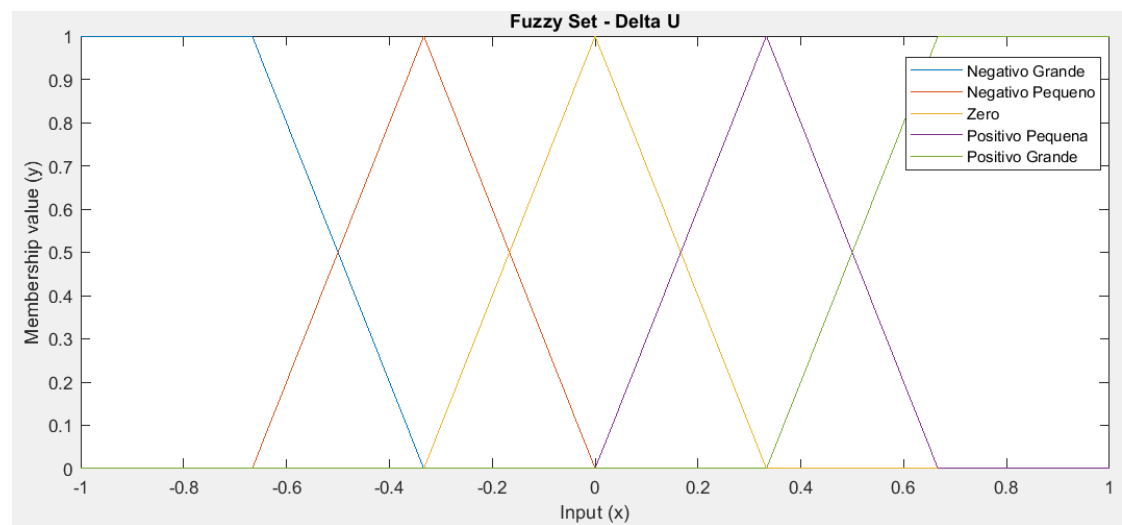


Figura 4: Fuzzy Set Delta U

Optamos por escolher 5 funções de pertença pois, isto permite termos um melhor controlo do sistema, visto que temos uma resposta do sistema mais rápida, logo atinge a estabilidade mais rapidamente. Também conseguimos saber com uma melhor precisão qual o estado do sistema, visto que temos mais estados e por consequente um menor intervalo da função. Usamos funções triangulares para deferir os conjuntos difusos, com a excepção do positivo grande e negativo grande, para a qual foi usado uma função de forma trapézio.

2 Please suggest a reasonable set of fuzzy rules to control this system. Use a table to clarify your proposal and reasoning. Show the input-output relation (surface) for your controller. Justify and comment its profile.

A partir das funções de pertença, definimos um conjunto de regras. O número destas regras é dependente do número de funções de pertença, neste caso existem 5 funções de pertença para cada conjunto difuso e um total de 25 regras, apresentadas na tabela a seguir:

e \ de	NG	NP	Z	PP	PG
NG	NG	NG	NG	NP	Z
NP	NG	NG	NP	Z	PP
Z	NG	NP	Z	PP	PG
PP	NP	Z	PP	PG	PG
PG	Z	PP	PG	PG	PG

Exemplo de regra:

- **IF $e = NG$ AND $\Delta e = NG$ THEN $\Delta u = NG$**

Se o erro for negativo grande e a variação do erro for negativo grande, a variação da saída será negativo grande, para contrariar este efeito e estabilizar o sistema.

Depois de escolhidas as regras para o controlador PI, utilizamos a "Fuzzy Logic Toolbox" onde introduzimos as regras e as funções de pertença do erro, da variação do erro e da saída escolhidas. E através dessa interface obtivemos o gráfico, a seguir representado onde relacionamos as 2 entradas com a saída:

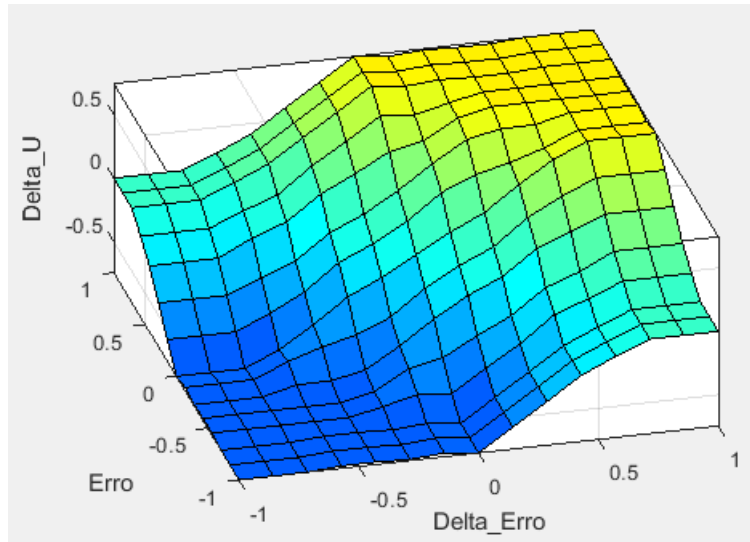


Figura 5: Surface obtido na ferramenta Fuzzy Logic Toolbox

3 Define a strategy for parameter variation (i.e. both must change during a single simulation) and test your system in representative conditions of parameter variations

Para testarmos o nosso sistema, é necessário analisar o bloco de processo. O nosso processo segue a função de transferência representada na equação 1. Como também referimos em cima o valor de T_d varia entre $[3 \ 10]$ ms e o de τ varia entre $[10 \text{ e } 50]$. Pegando na função de transferência do sistema, com $T_d = 6.5\text{ms}$ e $\tau = 30\text{ms}$, e usando o sisotool para analisar, o seu comportamento obtivemos os seguintes dados:

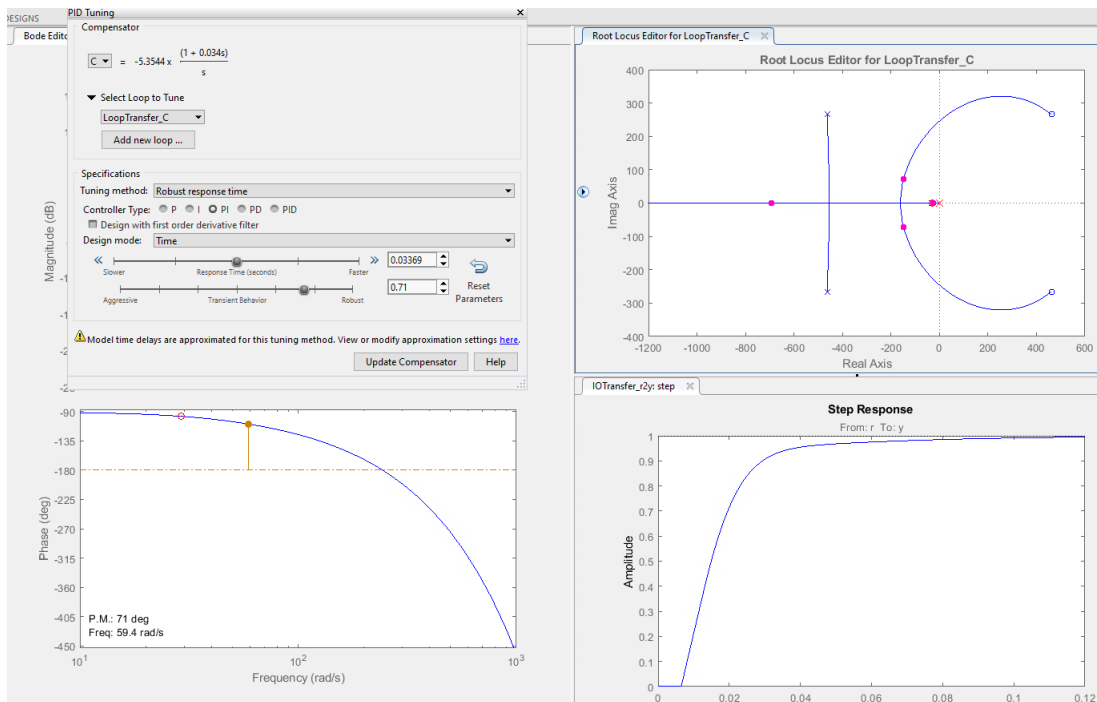


Figura 6: Resultado SisoTool

A partir da imagem podemos ver que o compensador toma o seguinte valor.

$$C = -5.3544 \frac{1 + 0.034s}{s} \quad (4)$$

Sabendo que C segue a expressão abaixo

$$C = Ki \frac{1 + \frac{Kp}{Ki}s}{s} \quad (5)$$

Partindo desta análise, conseguimos obter um valor inicial para o K_p e para o K_i , sendo estes valores de -0.18 e -5.344, respectivamente. Tendo os valores de K_i e K_p é agora possível, calcular os valores de GCE, GE e GCU para o controlador PI difuso através das fórmulas abaixo:

$$GCE * GCU = K_p \quad (6)$$

$$\frac{GCE}{GE} = K_i \quad (7)$$

Substituindo os K's nas fórmulas anteriores, obtivemos:

$$GE = 1;$$

$$GCE = \frac{1}{Ki} = \frac{1}{-5,344} = -0.1875;$$

$$GCU = \frac{K_p}{GCE} = \frac{-0.18}{-0.1875} = 0.96;$$

Após simulação no simulink com estes valores, reparamos que os resultados obtidos para o sistema não eram os melhores. Então através de experimentação obtivemos os valores de GE, GCE e GCU de, 0.18, 0.0018 e -5.344, respectivamente.

Utilizando numa primeira análise, os valores para T_d e τ , como os seus valores médios, temos que $T_d = 6.5ms$ e $\tau = 30ms$. De seguida, utilizou-se o simulink para analisar o sistema, com o seguinte diagrama de blocos

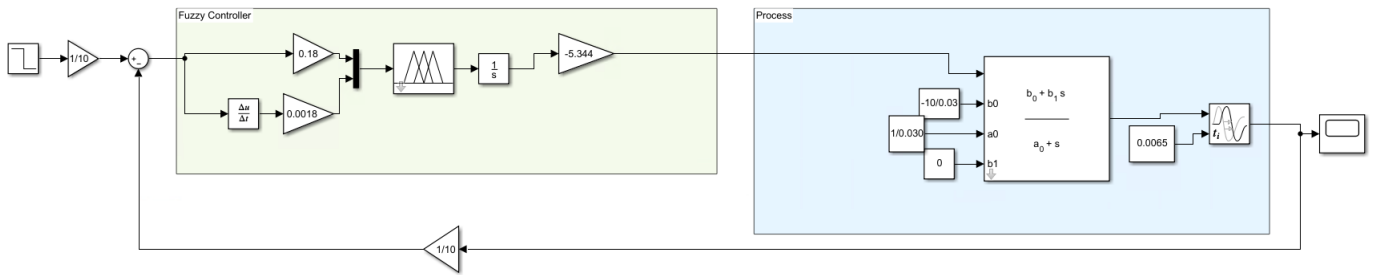


Figura 7: Diagrama de blocos com as variáveis T_d e τ constantes

A resposta ao step deste sistema foi a seguinte

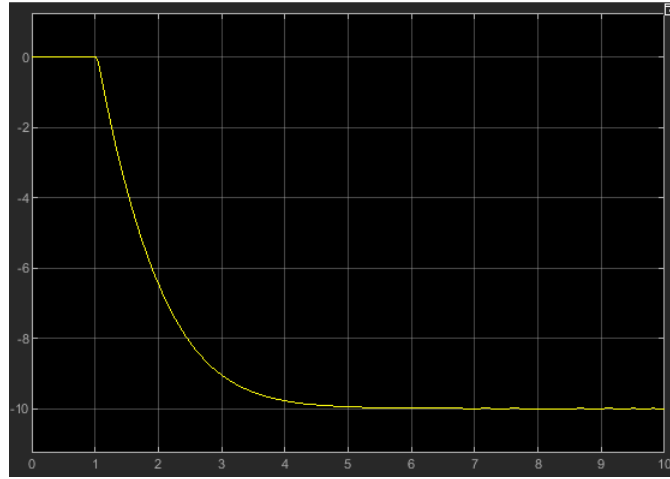


Figura 8: Resposta do sistema a um sinal step

Como é observável na figura, o tempo de estabelecimento é longo, visto que o sistema demora, aproximadamente, 4 segundos. Não é visível nenhum overshoot. O sistema obtido tende para o valor de entrada como era suposto.

Para analisar o sistema com o T_d e τ a variar no seu respectivo intervalo modificamos o nosso diagrama de blocos para poder realizar os testes pretendidos, sendo este novo diagrama apresentado a seguir.

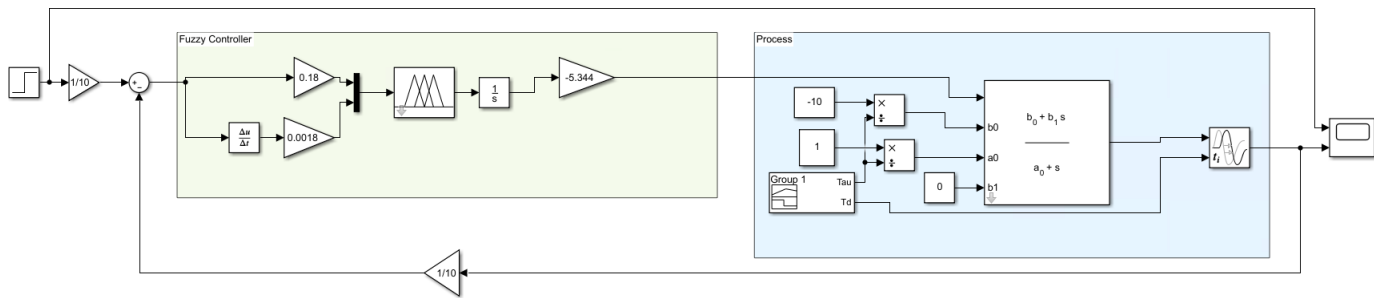


Figura 9: Diagrama de blocos com as variáveis T_d e τ variável

Foi utilizada uma onda quadrada para variar o T_d e τ , com uma frequência de 1Rad/sec.

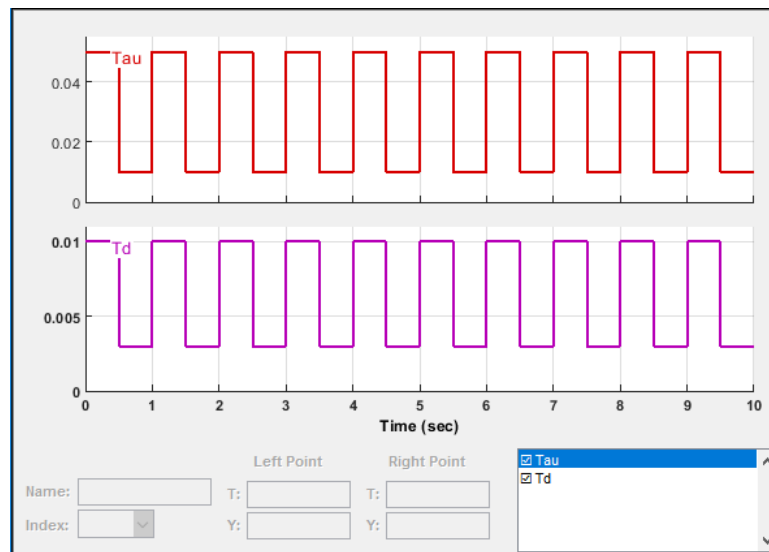


Figura 10: Variação de T_d e τ

Com esta variação nas variáveis T_d e τ , a resposta ao step foi a seguinte.

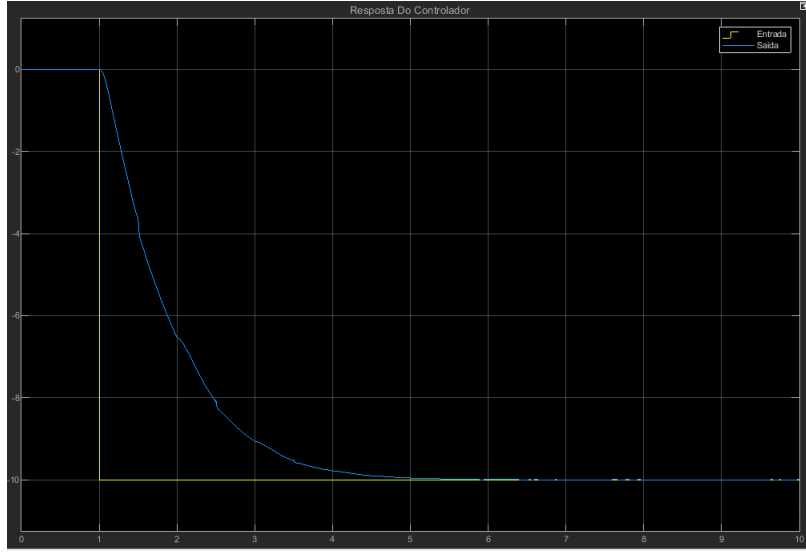


Figura 11: Variação de T_d e τ

Pela análise destas duas respostas, com variação e sem variação, podemos prever que o sistema poderá ser controlado com este controlador fuzzy. De notar que o tempo de estabilização deste controlador por ser grande não conseguirá responder a grandes variações na entrada.

4 Show the system behaviour when following time varying references (1: a square wave and 2: a sine wave; with appropriate magnitude and frequency). Justify and discuss the obtained results.

Inicialmente foi efectuado um teste mantendo o diagrama de blocos usado na alínea anterior, mas reparamos que o sistema não era suficientemente rápido para acompanhar a sinusóide ou a onda quadrada colocada na entrada. Decidimos então alterar os valores dos K para obter uma melhor resposta. Acrescentamos também blocos de "Saturation", junto as variáveis de entrada do controlador, para garantir que não existem valores acima dos normalizados.

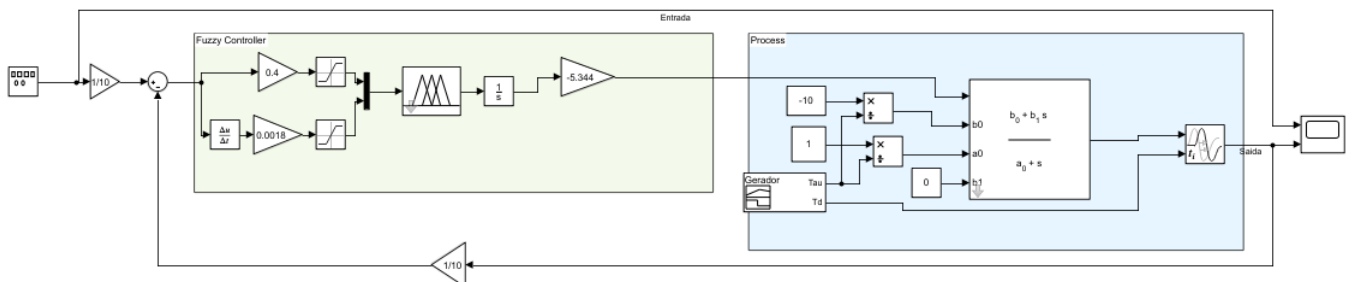


Figura 12: Diagramas de Blocos com os novos K

Com este novo sistema testamos o sistema para várias situações:

4.1 Entradas Variáveis e T_d e τ fixos

Onda Quadrada com Amplitude 5V , Freqüência Angular 1 rad/s , e Offset -5V

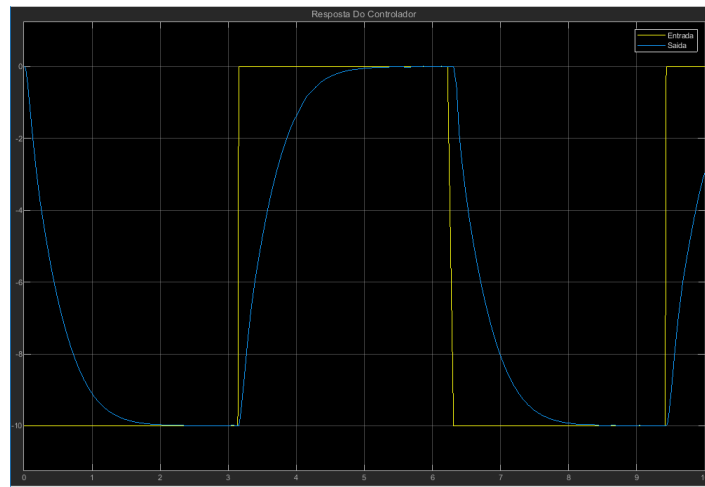


Figura 13: Resposta do sistema a uma onda quadrado

Onda Sinusoidal com Amplitude 5V , Freqüência Angular 1 rad/s , e Offset -5V

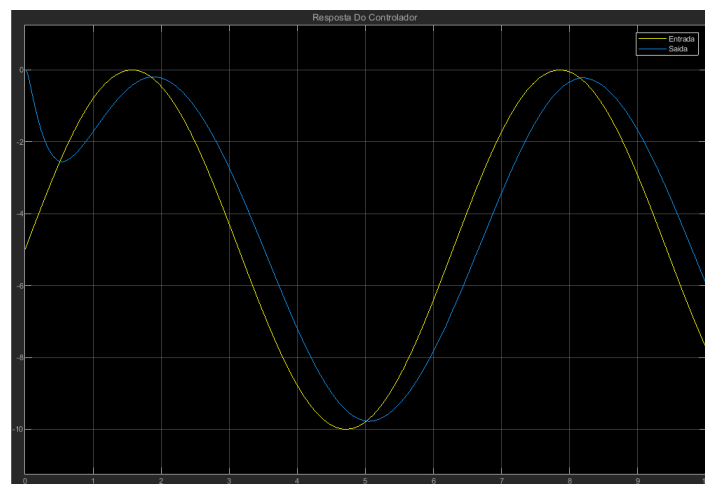


Figura 14: Resposta do sistema a uma onda quadrado

É possível, verificar, que apesar do atraso da saída está é capaz de acompanhar a evolução do sinal da entrada.

4.2 Entradas Variáveis e T_d e τ variáveis

Onda Quadrada com Amplitude 5V , Freqüência Angular 1 rad/s e Offset -5V

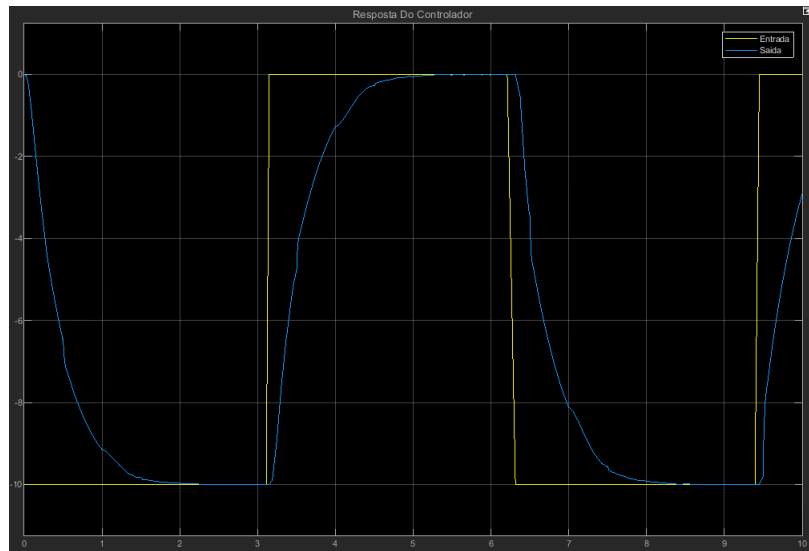


Figura 15: Resposta do sistema a uma onda sinusoidal com T_d e τ variáveis

Onda Sinusoidal com Amplitude 5V , Freqüência Angular 1 rad/s e Offset -5V

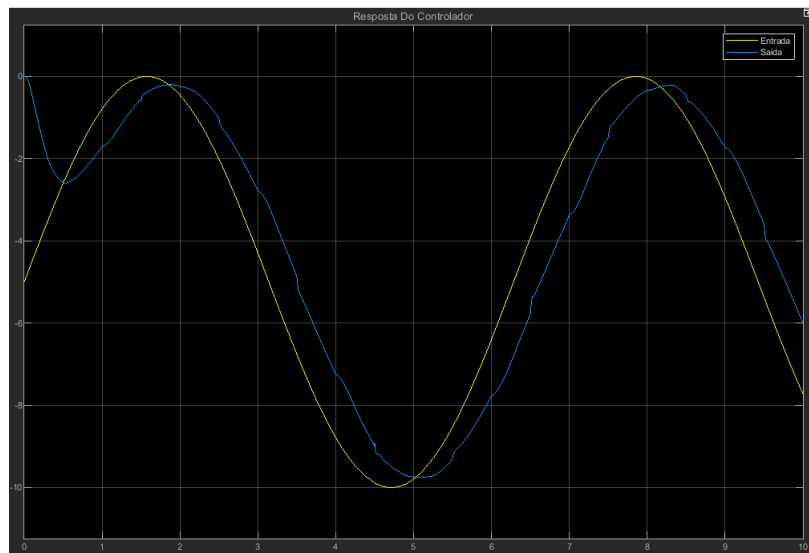


Figura 16: Resposta ao step com T_d e τ variáveis

Apesar da instabilidade do sinal de saída, este ainda consegue acompanhar o sinal de entrada e ter uma boa resposta.