



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

ES828 - Laboratório de Controle de Sistemas

Relatório - Experimento 6

Controle por realimentação de saída de uma
planta eletrônica

Nome:

Daniel Dello Russo Oliveira

Marcelli Tiemi Kian

RA

101918

117892

18 de maio de 2015

1 Objetivos

O objetivo desse experimento foi o projeto e análise de um controlador via realização em espaço de estado e um observador de estado para a planta eletrônica identificada no experimento 2[2].

2 Projeto do Controlador

Como nossa planta apresentou problemas durante o decorrer do experimento, apresentando respostas diferentes para o mesmo controlador de acordo com a temperatura do circuito e a posição em que o mesmo se encontrava (provavelmente devido a componentes defeituosos e mal contatos), nós refizemos o experimento utilizando a planta número 8, conforme sugerido pela professora. Essa planta teve sua função de transferência, representada pela equação 1, calculada por outro grupo usando as medidas realizadas durante o experimento 2 e nós, através do seu relatório[3], recuperamos esses valores e utilizamos a mesma metodologia utilizada no pré relatório [7] para o projeto do controlador e observador em espaço de estado conforme a figura 1, com as matrizes A , B e C indicadas em 2, 3 e 4.

$$G(s) = \frac{\kappa_1 \kappa_2 \kappa_3 \kappa_4}{(s\tau_2 + 1)(s\tau_3 + 1)s} = \frac{29800}{s^3 + 120s^2 + 3316s} \quad (1)$$

Tabela 1: Parâmetros numéricos da função de transferência

Parâmetro	Valor
κ_1	-0.0995
κ_2	-2.1626
κ_3	-4.5739
κ_4	-9.1333
τ_2	0.0130
τ_3	0.0232

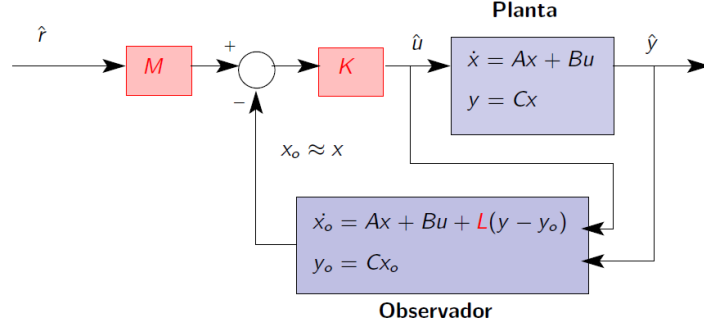


Figura 1: Diagrama de blocos do sistema

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{1}{\tau_2 \tau_3} & -\frac{\tau_2 + \tau_3}{\tau_2 \tau_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -3315.65 & -120.03 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{\kappa_1 \kappa_2 \kappa_3 \kappa_4}{\tau_2 \tau_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 29804.5 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Com essas matrizes e as especificações do projeto, listadas a seguir projetamos o controlador:

- Tempo de estabilização de aproximadamente 0.5 [s].
- Fator de amortecimento igual a $\sqrt{2}/2$.
- Polo em $s = -30$.
- Erro em regime permanente nulo a uma entrada rampa.
- Amplitude do sinal de controle não pode ultrapassar ± 10 [Volts].

Determinamos as matrizes K, L e M para a implementação do sistema conforme detalhado no pré relatório [7], porém alteramos os autovalores desejados para o observador de maneira a aumentar sua velocidade de resposta. Definimos que esses novos autovalores deveriam ser da ordem de 5 vezes maiores que o maior autovalor do controlador (-30), logo escolhemos o valor -150 com

multiplicidade 3. Obtivemos as matrizes 5, 6 e 7.

$$K = \begin{bmatrix} 0.1232 & -0.0914 & -0.0025 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$L = \begin{bmatrix} 329.97 & 24578.78 & -669182.13 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$M = \frac{\frac{s}{5.142} + 1}{\frac{s}{30} + 1} * \begin{bmatrix} 1 \\ 0.5 \\ -18.31 \end{bmatrix} \quad (7)$$

2.1 Implementação

Para realizar o sistema, seguimos a estrutura recomendada no roteiro[1], obtendo a implementação mostrada na figura 2 com as funções de transferência 8, 9 e 10.

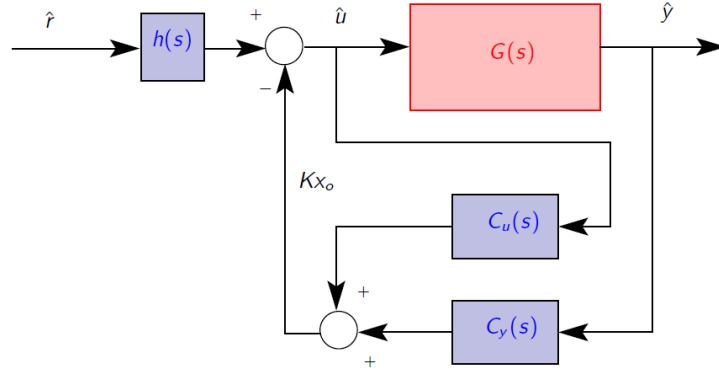


Figura 2: Diagrama de blocos da implementação final do controle

$$h(s) = KM(s) = \frac{0.719s + 3.697}{s + 30} \quad (8)$$

$$C_u(s) = K(sI - (A - LC))^{-1}B = \frac{-74.38s^2 - 27270s - 2723000}{s^3 + 450s^2 + 67500s + 3375000} \quad (9)$$

$$C_y(s) = K(sI - (A - LC))^{-1}L = \frac{-535.6s^2 + 2834s + 415900}{s^3 + 450s^2 + 67500s + 3375000} \quad (10)$$

3 Simulação

Com o auxílio do Simulink simulamos (com e sem ruído branco) para esse novo controlador e planta as respostas do controlador a uma onda quadrada de amplitude $1V$ e frequência de $0,25Hz$, e seus esforços de controle, que podem ser vistas nas figuras 3 e 4.

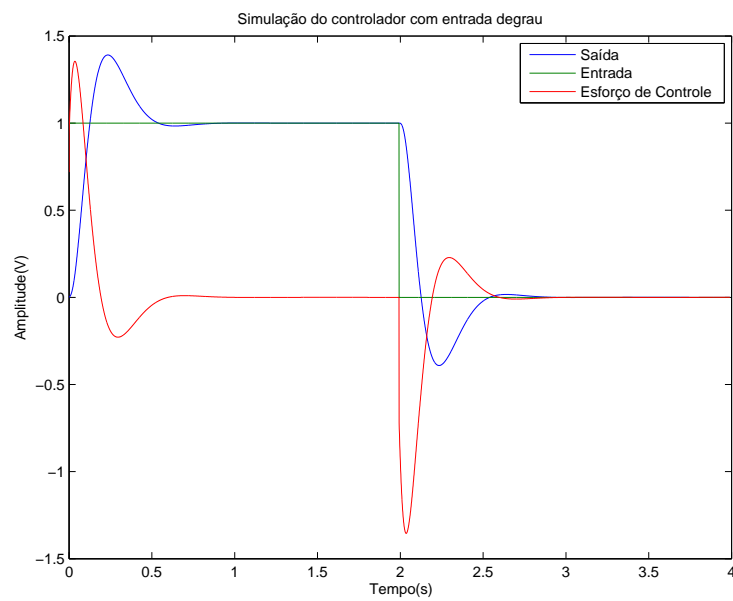


Figura 3: Resposta e esforço de controle simulados para onda quadrada

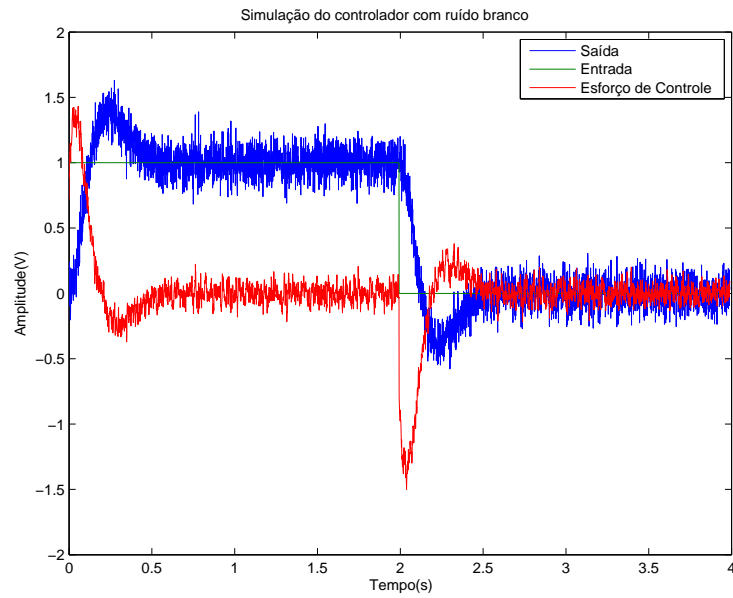


Figura 4: Resposta e esforço de controle simulados para onda quadrada, com ruído branco

Para analisar a eficiência do nosso observador, simulamos o modelo no espaço de estados (em torno do ponto de equilíbrio $[0,0,0]'$, com estado inicial do controlador $[0, 0, 0]'$ e do observador $[1, 0, 0]'$) e plotamos o estado do sistema e o estado estimado pelo observador, que podem ser vistos nas figuras 5, 6 e 7.

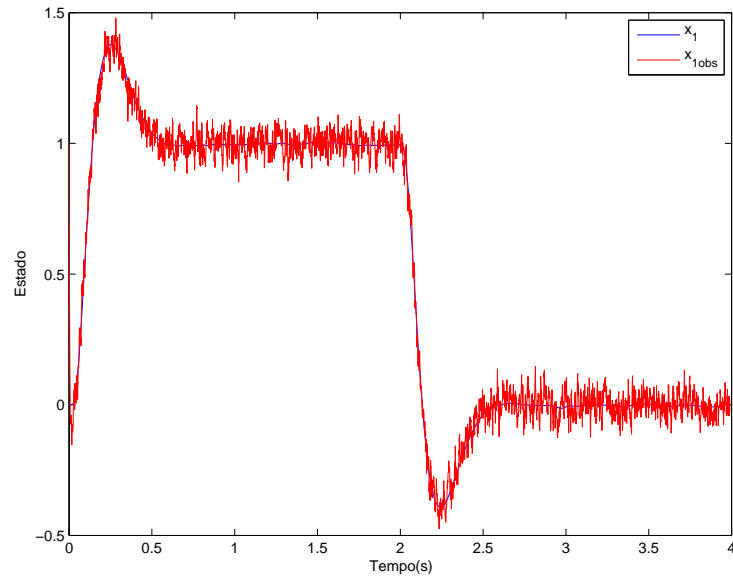


Figura 5: Estado x_1 real e estimado do sistema simulado para onda quadrada, com ruído branco

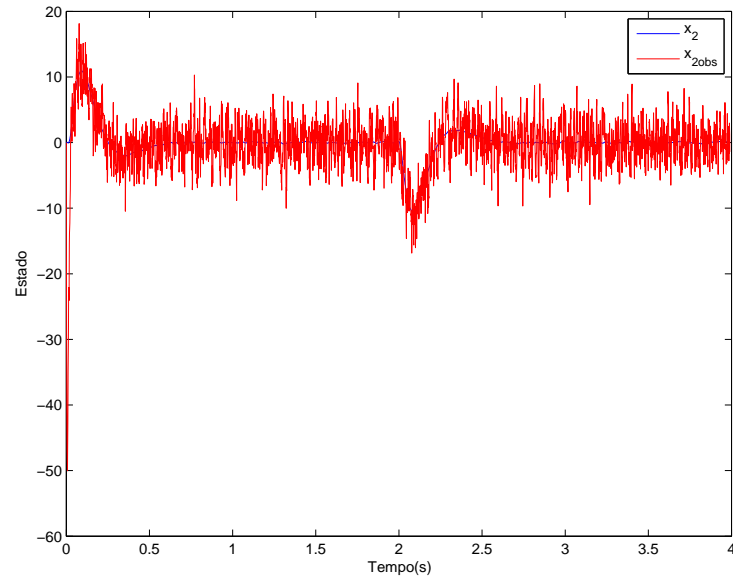


Figura 6: Estado x_2 real e estimado do sistema simulado para onda quadrada, com ruído branco

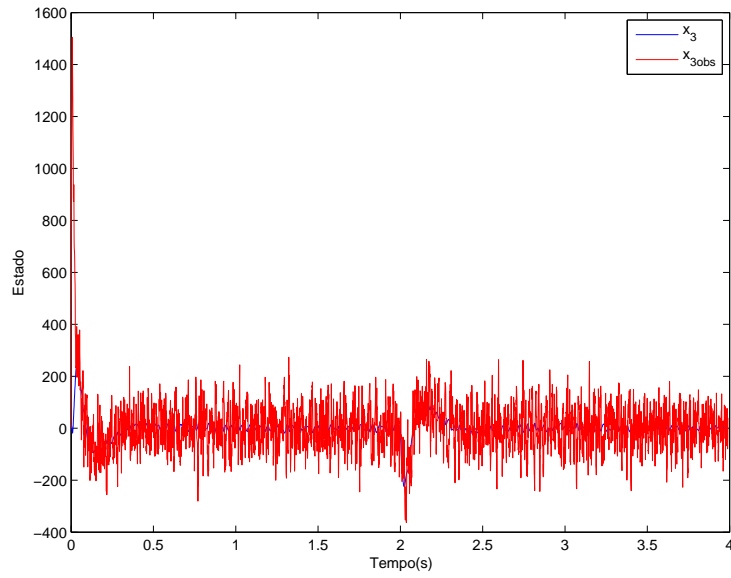


Figura 7: Estado x_3 real e estimado do sistema simulado para onda quadrada, com ruído branco

Como podemos ver o observador projetado segue bem o sistema real e não foi gravemente afetado pelo ruído.

Simulamos também a resposta deste controlador a uma rampa, mostrada na figura 8. Como podemos ver, o erro estacionário para essa entrada é nulo, conforme desejado.

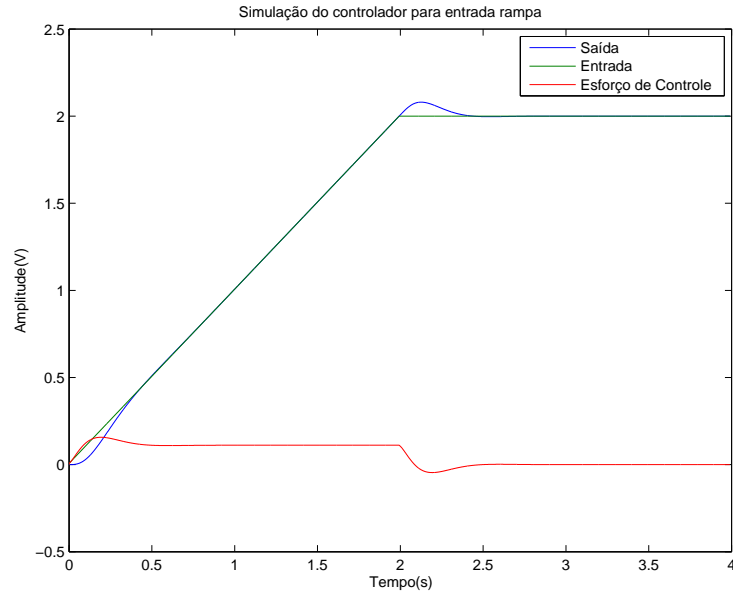


Figura 8: Resposta e esforço de controle simulados para rampa

A tabela 2 apresenta as características da resposta desse controlador simulado, obtida com o auxílio da função *stepinfo* do Matlab.

Tabela 2: Características da resposta do controlador simulado

Sobrelevação	39.1095%
Tempo de estabilização	0.5089 [s]
Tempo de subida	0.0835 [s]
Erro estacionário (degrau)	0
Erro estacionário (rampa)	0

Como podemos ver o sistema atinge todas as especificações e não é muito susceptível a ruídos, porém ele apresenta uma sobrelevação bastante significativa. Nossa análise mostra que essa sobrelevação está associada à matriz M , porque quando relaxamos o critério de erro estacionário à rampa observa-se uma diminuição do overshoot para 5%.

Isso acontece pois essa matriz acrescenta um zero (em -5.142) no sistema somando um termo derivativo à resposta original, o que causa um aumento na sobrelevação e uma aceleração na resposta do sistema.

4 Análise dos Resultados

Seguindo a metodologia descrita no roteiro [1], implementamos o sistema planta-controlador digital e medimos sua resposta a uma onda quadrada de amplitude de $1V$ e frequência de $0.25Hz$ com o auxílio do LabView e da plataforma de desenvolvimento Elvis que pode ser vista na figura 9 e seu esforço de controle que pode ser visto na figura 10.

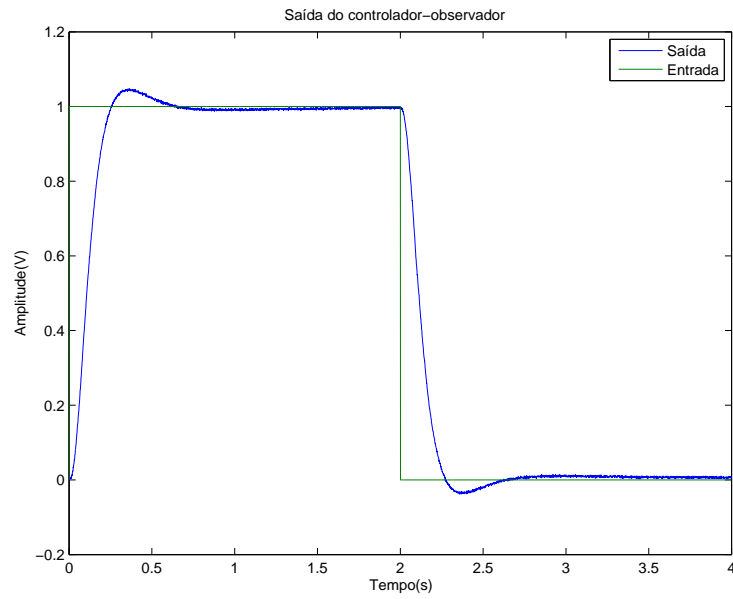


Figura 9: Resposta do sistema para onda quadrada

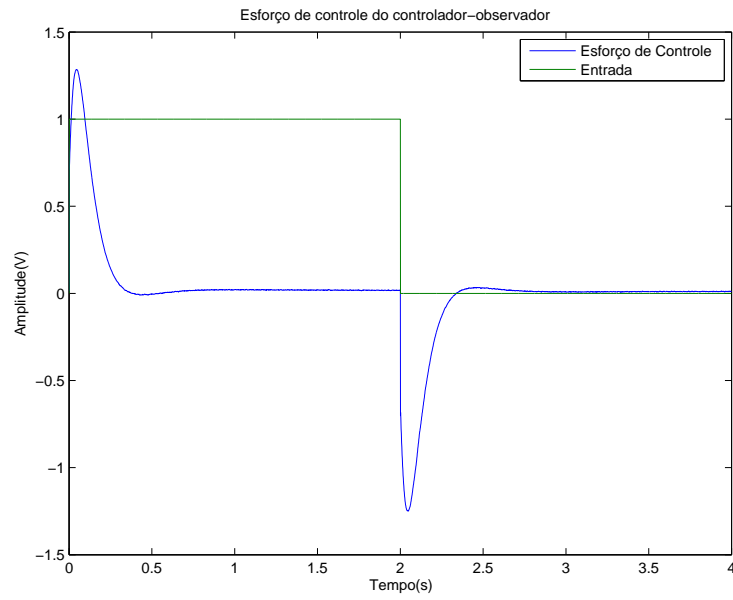


Figura 10: Esforço de controle do sistema para onda quadrada

Ao integrar à resposta ao degrau mostrada acima, obtemos uma estimativa da resposta à rampa desse controlador que pode ser vista na figura 11.

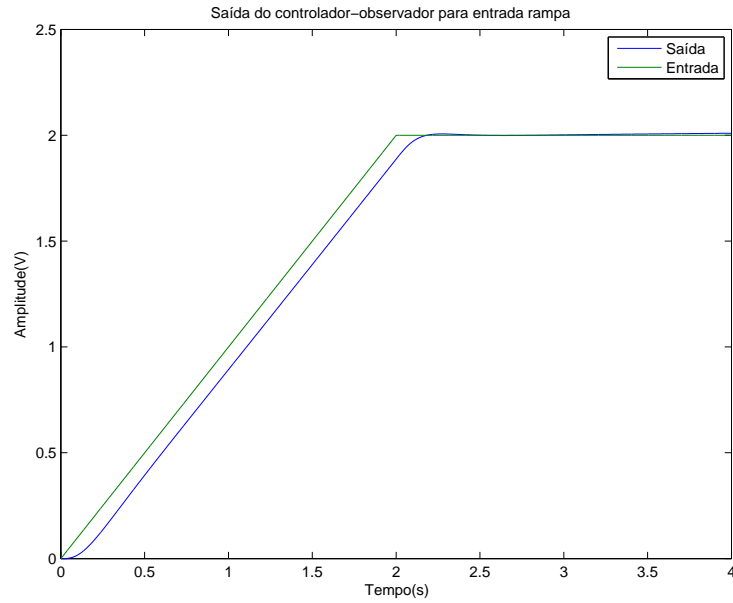


Figura 11: Resposta do sistema à rampa

A tabela 3 apresenta as características da resposta desse controlador, obtida com o auxílio da função *stepinfo* do Matlab.

Tabela 3: Características da resposta do controlador

Sobrelevação	4.3705%
Tempo de estabilização	0.5147 [s]
Tempo de subida	0.1569 [s]
Erro estacionário (degrau)	0
Erro estacionário (rampa)	0.111

A resposta obtida é diferente da simulada, isso se deve provavelmente às diferenças entre a planta real e a calculada. Notamos que o critério do erro estacionário nulo para a rampa não se cumpre. De fato, o termo derivativo em cima da resposta original do sistema que deveria ser acrescentado ao adicionar um zero através da matriz *M* parece não ter efeito. O overshoot de 5% e a diferença no tempo de subida são mais indícios disto. Apesar disso, os outros critérios do projeto ainda são satisfeitos.

5 Comparação com os outros controladores

Mesmo tratando-se de plantas diferentes, comparamos os resultados desse controlador com os projetados nos laboratórios anteriores. Como as duas plantas tem uma função de transferência bastante próxima esperamos que os resultados apresentem alguma significância. Devemos ressaltar porém que a planta 8 tem um de seus polos nas proximidades de -77 , enquanto a planta 6 tinha o mesmo polo próximo a -48 , logo a planta em que o controlador-observador foi implementado é mais rápida.

Podemos ver na figura 12 a comparação entre esse controlador e os melhores controladores dos laboratórios anteriores: os controladores digitais proporcional com sobrelevação de 2% e PID projetado pelo método Ziegler-Nichols do experimento 3 [4], o controlador PID analógico do experimento 4 [5] e o controlador avanço-atraso do experimento 5 [6].

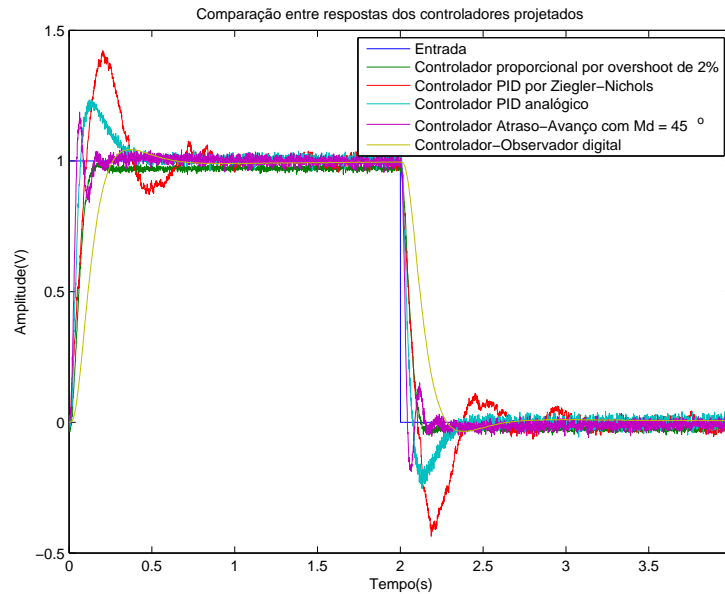


Figura 12: Comparação entre as respostas dos controladores para onda quadrada

Notamos que esse controlador apresentou um desempenho bastante satisfatório, embora não tão bom quanto o controlador avanço-atraso. Mesmo a planta analisada sendo mais rápida que a dos laboratórios anteriores, o controlador apresentou um tempo de estabilização maior do que os outros, principalmente pois foi projetado para se estabilizar após 0.5s. Podemos ver também que

a quantidade de ruído apresentada pela nova planta é muito menor, facilitando a análise dos dados e a implementação do controle. Gostaríamos de pedir para que fosse feita uma manutenção e teste de todas as plantas antes das aulas de laboratório, afim de evitar que outros grupos passem pelas dificuldades pelas quais nós passamos ao longo desse curso.

6 Referências

- [1] Roteiro do experimento disponibilizado para os alunos
- [2] KIAN, Marcelli; OLIVEIRA, Daniel. *Relatório - Experimento 2: Identificação de plantas eletrônicas.*
- [3] DAVID, Vinícius; GARCIA, Augusto; SOUZA, Guilherme. *Relatório - Experimento 2: Identificação de plantas eletrônicas.*
- [4] KIAN, Marcelli; OLIVEIRA, Daniel. *Relatório - Experimento 3: Controle de plantas eletrônicas utilizando um controlador PID digital.*
- [5] KIAN, Marcelli; OLIVEIRA, Daniel. *Relatório - Experimento 4: Controle de plantas eletrônicas utilizando um controlador PID analógico.*
- [6] KIAN, Marcelli; OLIVEIRA, Daniel. *Relatório - Experimento 5: Controle de plantas eletrônicas utilizando um controlador atraso-avanzo digital.*
- [7] KIAN, Marcelli; OLIVEIRA, Daniel. *Pré Relatório - Experimento 6: Controle por realimentação de saída de uma planta eletrônica.*