



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

16 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 [4] 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
$\kappa_1$	-0.0995
$\kappa_2$	-2.1626
$\kappa_3$	-4.5739
$\kappa_4$	-9.1333
$\tau_2$	0.0130
$\tau_3$	0.0232

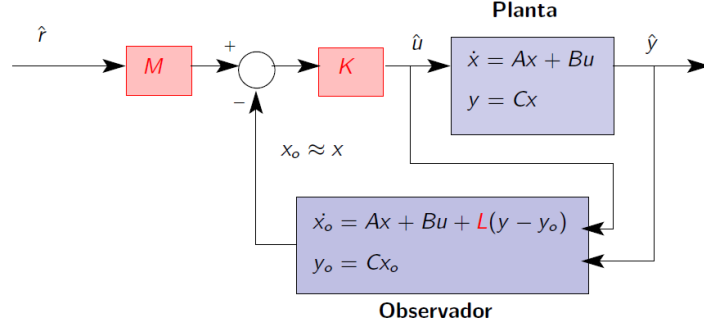


Figura 1: Diagrama de blocos do sistema

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

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

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

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  $\pm 10$  [Volts].

Determinamos as matrizes K, L e M para a implementação do sistema conforme detalhado no pré relatório [4], 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.

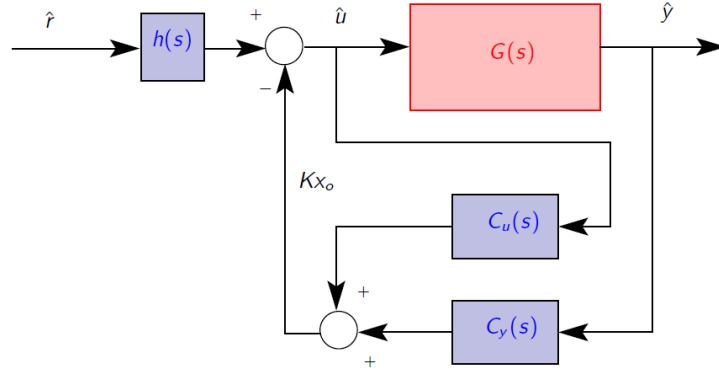


Figura 2: Diagrama de blocos da implementação final do controle

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

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

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

### 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.

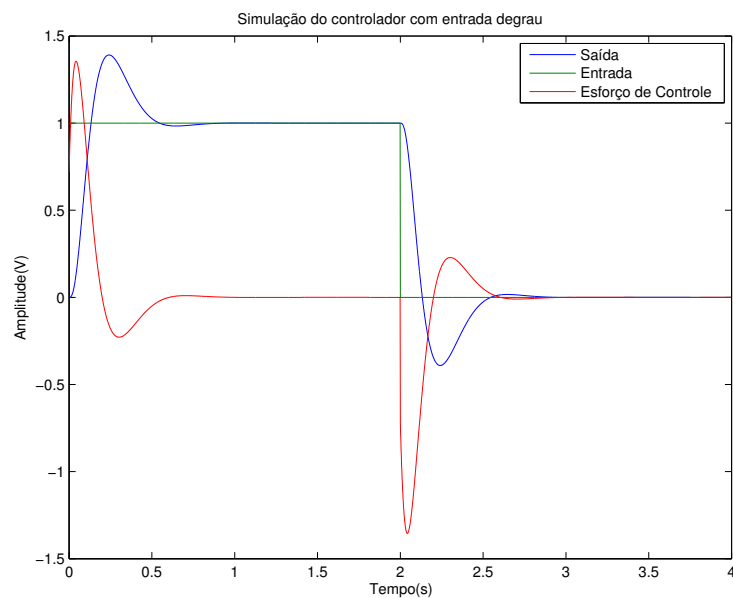


Figura 3: Resposta e esforço de controle para onda quadrada

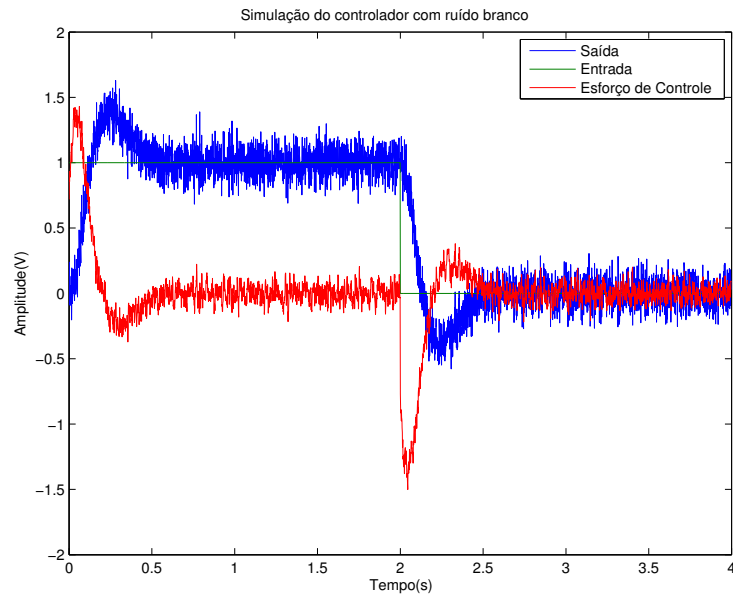


Figura 4: Resposta e esforço de controle para onda quadrada, com ruído branco

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.

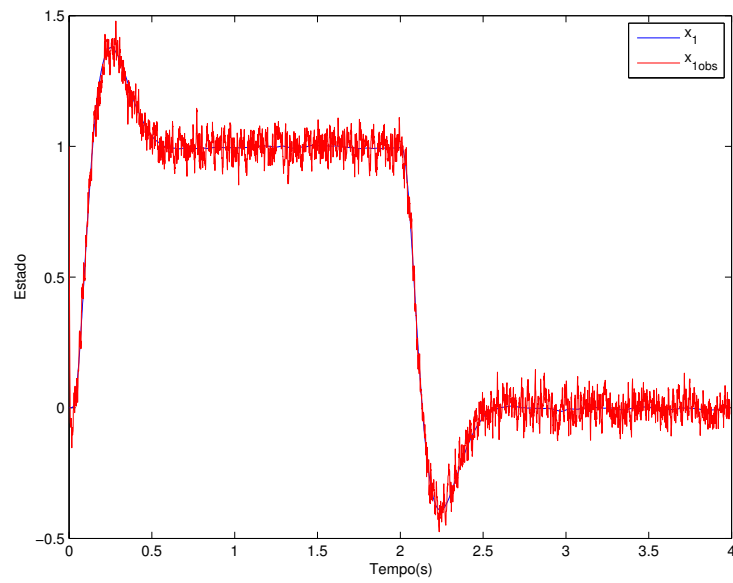


Figura 5: Estado  $x_1$  real e estimado do sistema para onda quadrada, com ruído branco

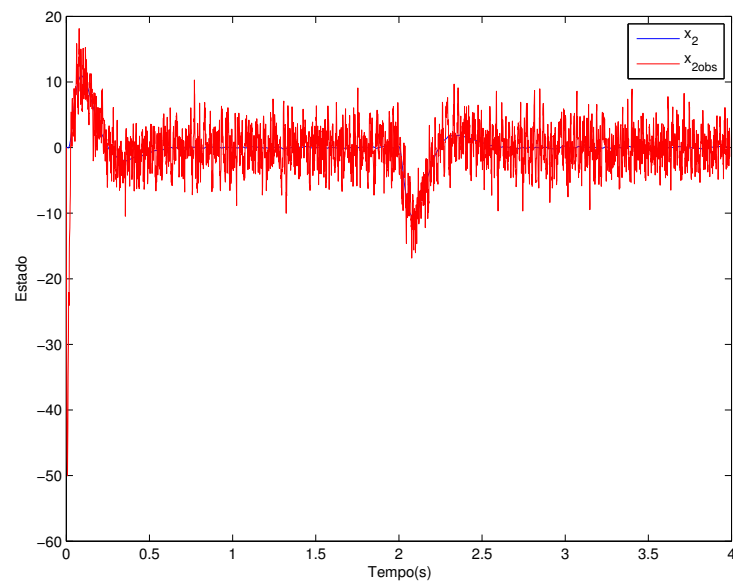


Figura 6: Estado  $x_2$  real e estimado do sistema para onda quadrada, com ruído branco

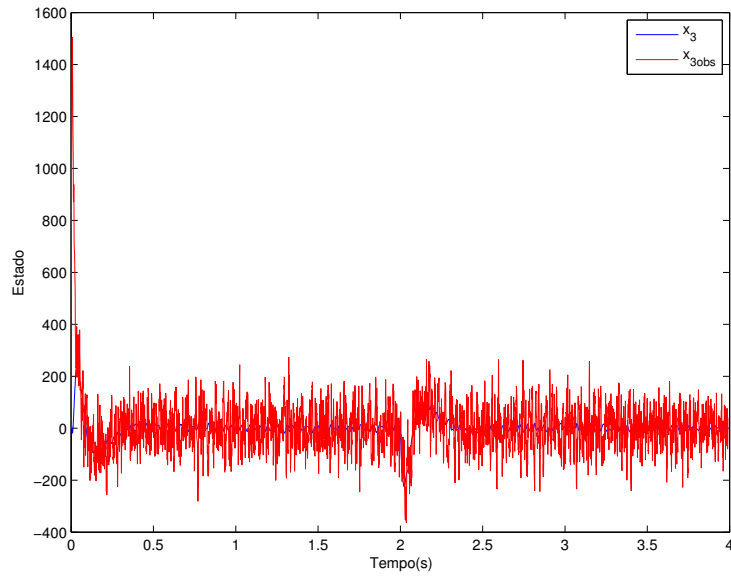


Figura 7: Estado  $x_3$  real e estimado do sistema para onda quadrada, com ruído branco

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.



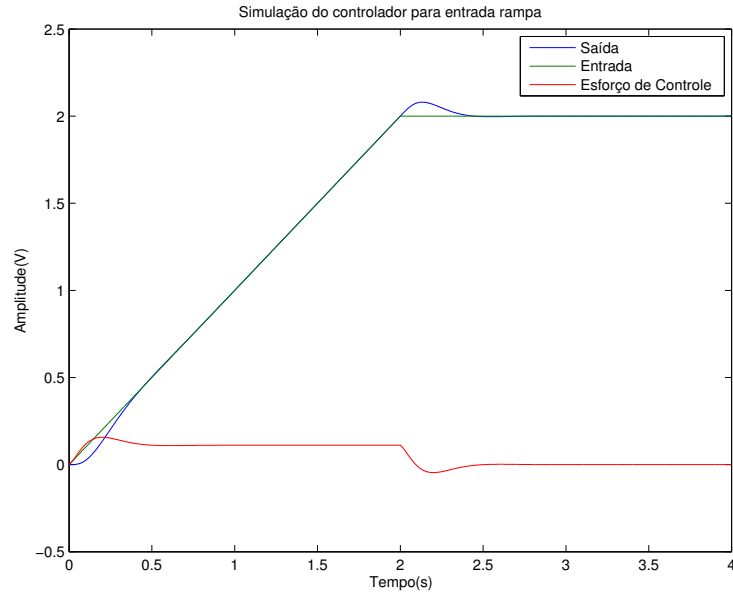


Figura 8: Resposta e esforço de controle para rampa

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

Tabela 2: Características da resposta do controlador

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 Referências

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