



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

ES828 - Laboratório de Controle de Sistemas

Pré Relatório - Experimento 5

Controle de plantas eletrônicas utilizando um
controlador atraso-avanço digital

Nome:

Daniel Dello Russo Oliveira

Marcelli Tiemi Kian

RA

101918

117892

4 de abril de 2015

1 Objetivos

O objetivo desse experimento o projeto de um controlador Atraso-Avanço que atenda aos requisitos especificados utilizando uma técnica de controle no domínio da frequência.

2 Projeto do Controlador Atraso-Avanço digital

Consideramos a planta cuja função de transferência representada pela equação 1 que foi obtida usando as medidas realizadas durante o experimento 2 [3] para o projeto do controlador no formato apresentado pelo roteiro [1] na equação 2.

$$G(s) = \frac{\kappa_1 * \kappa_2 * \kappa_3 * \kappa_4}{(s * \tau_2 + 1)(s * \tau_3 + 1)s} \quad (1)$$

Tabela 1: Parâmetros numéricos da função de transferência

Parâmetro	Valor
κ_1	-0.1005
κ_2	-2.1508
κ_3	-4.6448
κ_4	-5.6307
τ_2	0.0210
τ_3	0.0244

$$C(s) = \kappa \frac{\alpha_v \tau_v s + 1}{\tau_v s + 1} \frac{\alpha_t \tau_t s + 1}{\tau_t s + 1} \quad (2)$$

2.1 Requisitos do Sistema e Projeto

Seguindo o proposto no roteiro [1] as especificações do sistema são:

- Erro em regime permanente a uma entrada rampa de 2%.
- Margem de fase de pelo menos 45° .
- Sobrelevação de no máximo 20% para uma entrada degrau.
- Amplitude do sinal de controle não pode ultrapassar ± 10 [Volts].

Utilizando a metodologia indicada no roteiro[1], iniciamos o cumprimento do primeiro requisito considerando o controlador $C(s) = \kappa$ e encontramos este valor para que o erro a uma entrada rampa seja de 2%. Para isso, utilizamos o teorema do valor final:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s}{s^2(1 + \kappa G(s))} \quad (3)$$

Chegamos então a:

$$\kappa = \frac{50}{\kappa_1 \kappa_2 \kappa_3 \kappa_4} \quad (4)$$

Posteriormente, para os requisitos de margem de fase e sobrelevação (ambos ligados ao fator de amortecimento do sistema), calculamos a margem de fase de $\kappa G(s)$ dada por $M_f = 17.4123$, menor que margem de fase mínima de 45° . Como margem de segurança, adotaremos as margens de fase desejadas de $M_{d1} = 45^\circ$, $M_{d2} = 50^\circ$ e $M_{d3} = 55^\circ$ que também garantem sobrelevação menor que 20%. Projetamos três controladores de maneira a ter opções caso a implementação real do sistema não corresponda às simulações. Idealmente gostaríamos de adotar uma margem de fase mais elevada, porém, após comparar a sua resposta com a resposta do sistema com margem de 45° , decidimos implementar mais opções.

A partir destas margens de fase encontramos os parâmetros α_v dos controladores utilizando as equações 5 e 6. Com o conhecimento de α_v e da frequência ω_g na qual $\text{mod } \kappa G(j\omega_g) = \sqrt{\alpha_v}$, encontramos τ_v pela equação 7. Os parâmetros α_t e τ_t são calculados pelas equações 8 e 9

$$\phi = M_d - M_f \quad (5)$$

$$\alpha_v = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (6)$$

$$\tau_v = \frac{1}{\omega_g \sqrt{\alpha_v}} \quad (7)$$

$$\alpha_t = \frac{1}{\alpha_v} \quad (8)$$

$$\tau_t = 10 \frac{\alpha_v \tau_v}{\alpha_t} \quad (9)$$

Logo, a função de transferência dos controladores são dadas pela equação ?? e seus parâmetros pela tabela 2.

$$C(s) = \kappa \frac{\alpha_v \tau_v s + 1}{\tau_v s + 1} \frac{\alpha_t \tau_t s + 1}{\tau_t s + 1} \quad (10)$$

Tabela 2: Parâmetros numéricos da função de transferência dos controladores Avanço-Atraso

Parâmetro	Controlador 1 $M_d = 45^\circ$	Controlador 2 $M_d = 50^\circ$	Controlador 3 $M_d = 55^\circ$
κ	8.8445	8.8445	8.8445
α_v	2.7251	3.3345	4.1279
τ_v	0.0257	0.0250	0.0243
α_t	0.3670	0.2999	0.2423
τ_t	1.9108	2.7768	4.1334

2.2 Simulação e Comparação

Com o auxílio do Simulink simulamos as respostas dos 3 controladores à uma onda quadrada de amplitude $1V$ e frequência de $0,25Hz$, que podem ser vistas nas figuras 1, 3 e 5, e os seus esforços de controle, mostrados nas figuras 2, 4 e 6.

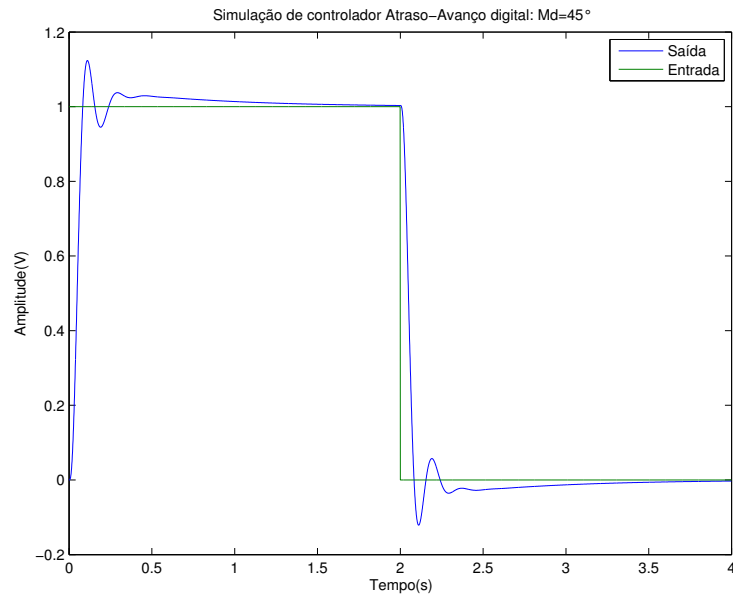


Figura 1: Resposta à onda quadrada do controlador projetado para margem de fase de 45°

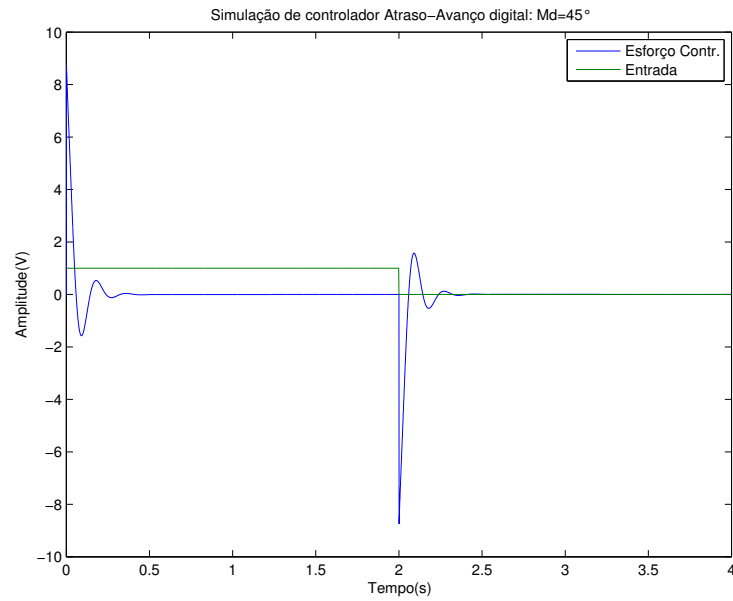


Figura 2: Esforço de controle para onda quadrada do controlador projetado para margem de fase de 45°

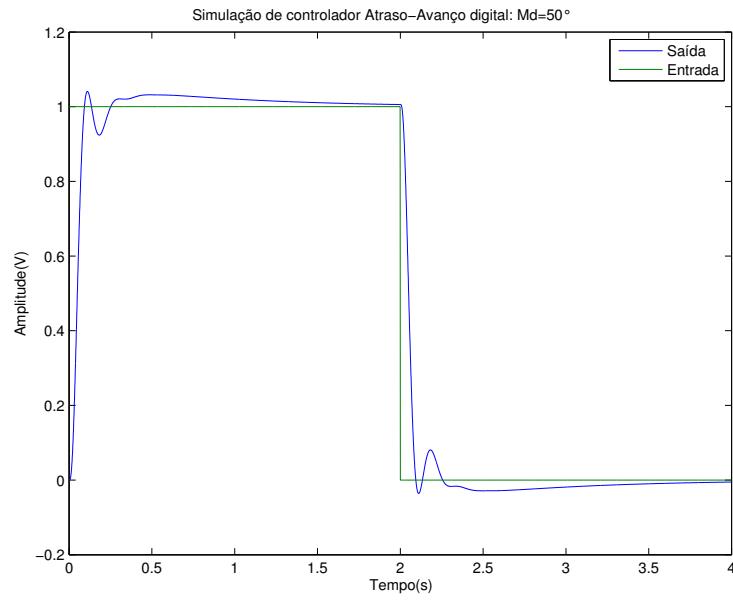


Figura 3: Resposta à onda quadrada do controlador projetado para margem de fase de 50°

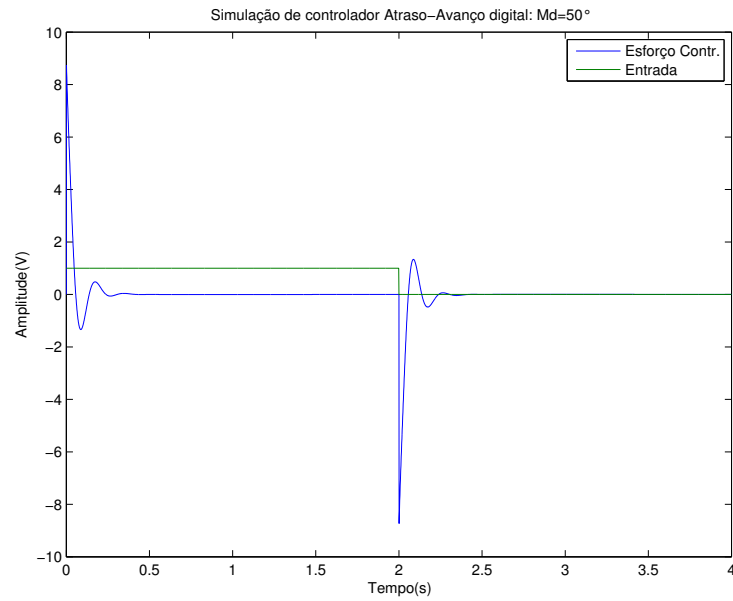


Figura 4: Esforço de controle para onda quadrada do controlador projetado para margem de fase de 50°

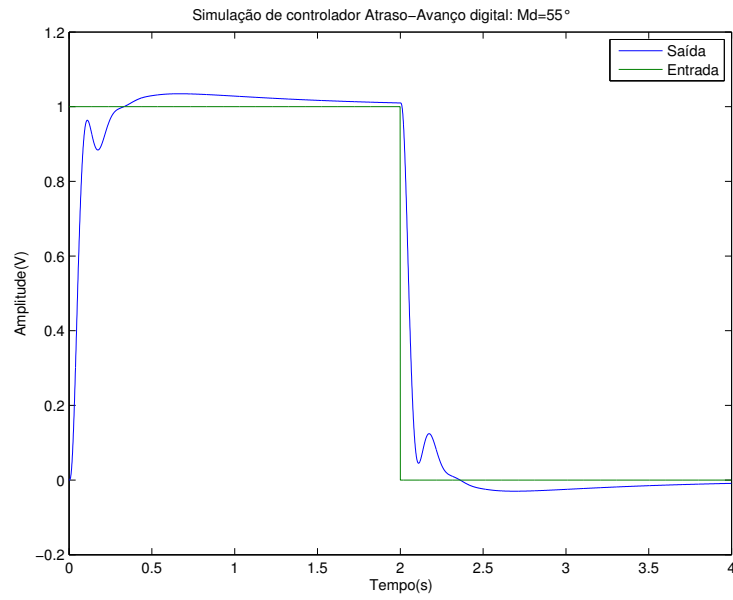


Figura 5: Resposta à onda quadrada do controlador projetado para margem de fase de 55°

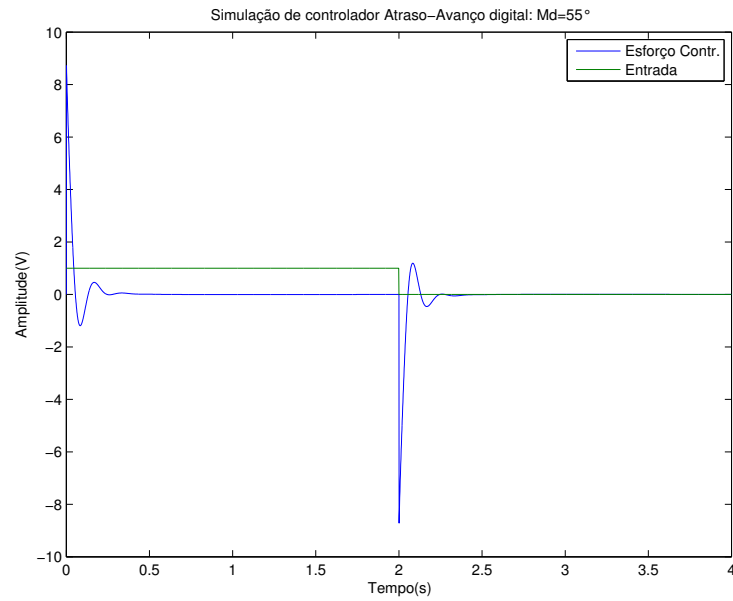


Figura 6: Esforço de controle para onda quadrada do controlador projetado para margem de fase de 55°

Simulamos também as respostas destes controladores à uma rampa, estas são mostradas nas figuras 7,8 e 9. Como podemos ver, o erro estacionário para essa entrada é próxima de 2% para todos os controladores, conforme desejado.

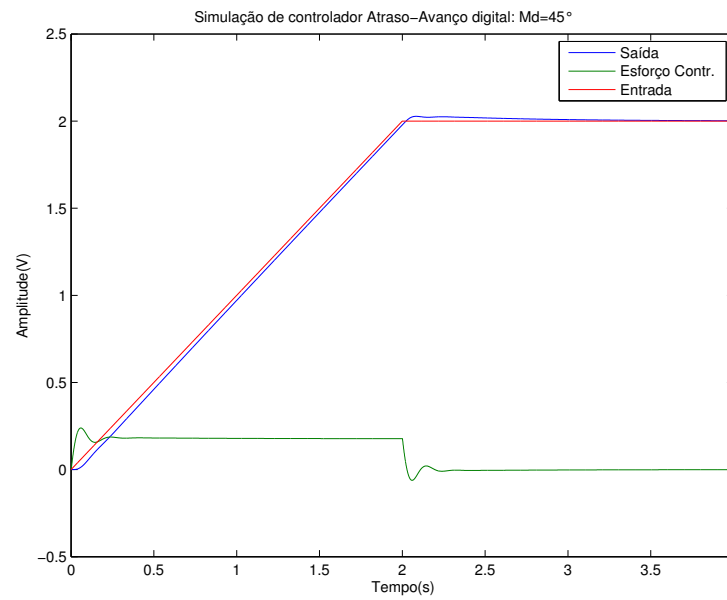


Figura 7: Resposta à rampa do controlador projetado para margem de fase de 45°

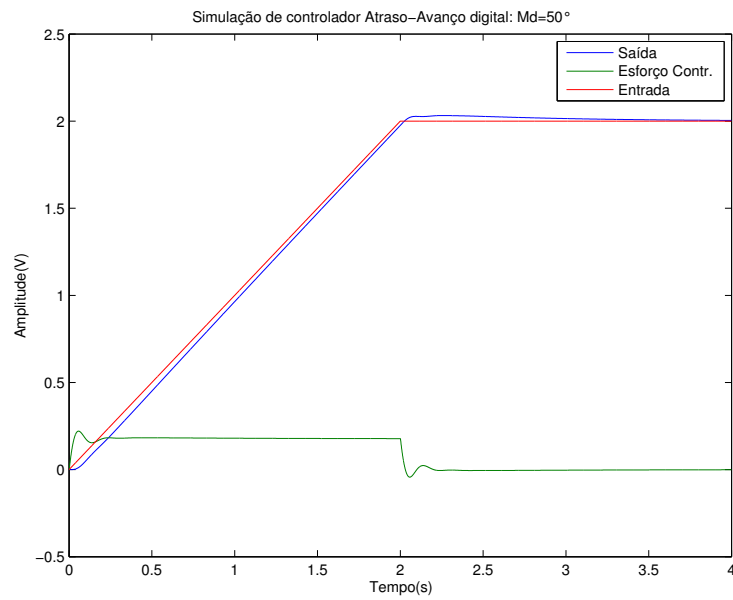


Figura 8: Resposta à rampa do controlador projetado para margem de fase de 50°

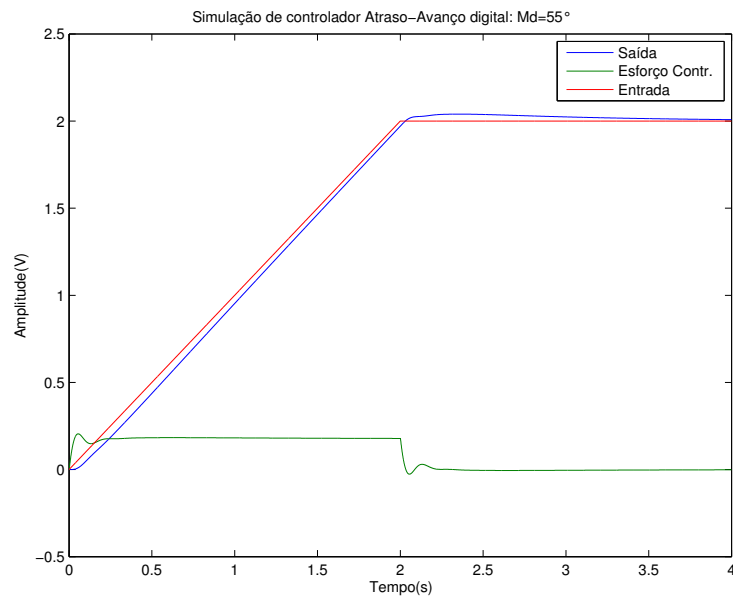


Figura 9: Resposta à rampa do controlador projetado para margem de fase de 55°

O controlador com margem de fase de 45° é o que apresenta o menor tempo de estabilização e erro estacionário. Porém os outros controladores não apresentam a sobrelevação relativamente elevada que o primeiro controlador apresenta. A tabela 3 apresenta as características das respostas desses controladores, obtida com o auxílio da função *stepinfo* do Matlab.

Tabela 3: Características da resposta dos controladores Avanço-Atraso

Características	Controlador 1 $M_d = 45^\circ$	Controlador 2 $M_d = 50^\circ$	Controlador 3 $M_d = 55^\circ$
Sobrelevação	12.3698%	4.0867%	3.4618%
Tempo de estabilização	0.7454s	1.0142s	1.3472s
Tempo de subida	0.0503s	0.0553s	0.0628s
Erro estacionário (degrau)	0.3%	0.6%	1%
Erro estacionário (rampa)	2%	2.5%	3%

Comparamos esse controlador com os controladores projetados no durante o pré relatório do experimento 3 [2]. Para o controlador PID projetado com SISO Tool, cuja performance pode ser vista nas figuras 10, 11 e o controlador proporcional projetado para obter o menor tempo de estabilização, cuja performance pode ser vista nas figuras 12 e 13.

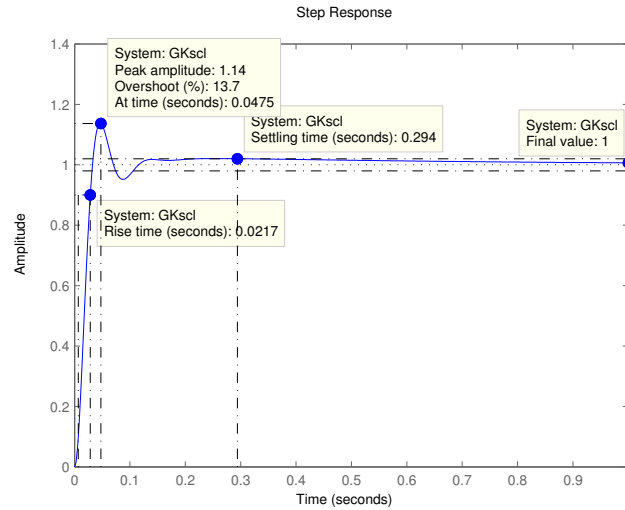


Figura 10: Resposta ao degrau para o sistema com controlador PID projetado com o auxílio do SISOTool

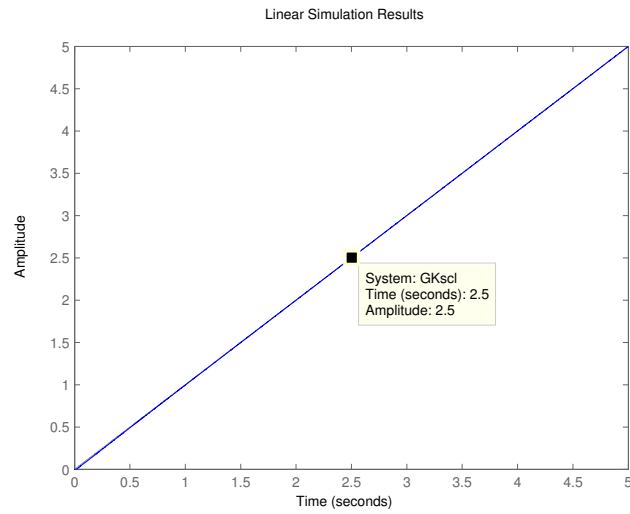


Figura 11: Resposta à rampa para o sistema com controlador PID projetado com o auxílio do SISOTool

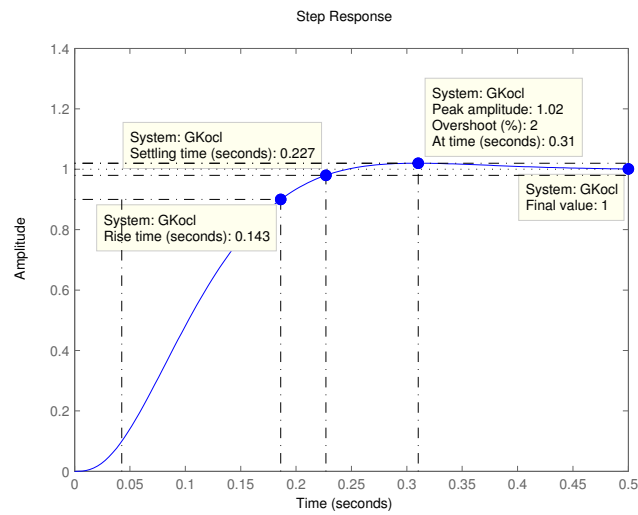


Figura 12: Resposta ao degrau do sistema com controlador proporcional

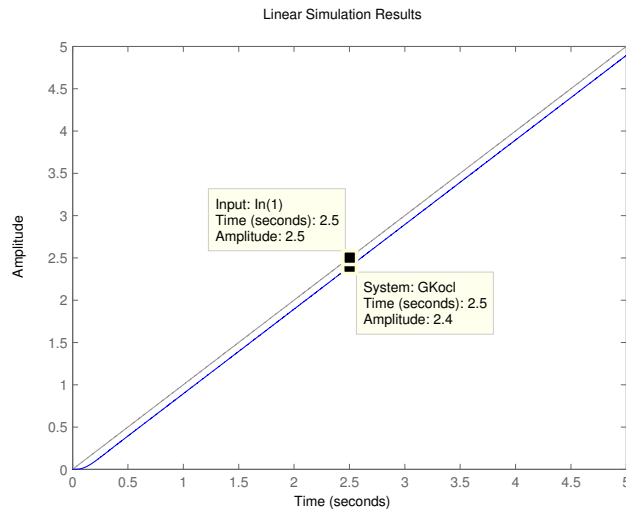


Figura 13: Resposta à rampa do sistema com controlador proporcional

Como podemos perceber os controladores Avanço-Atraso apresentam uma resposta mais lenta que os controladores PID e proporcional. Porém suas respostas à rampa apresentam um erro estacionário significativamente menor que o controlador proporcional e sabemos que a margem de fase do sistema é maior para esse controlador que ela é para o PID projetado pelo SISOTool. Embora o controlador PID tenha apresentado um desempenho simulado significativamente melhor, sabemos que quando implementado o mesmo foi inferior, logo não podemos comparar efetivamente ambos os controladores sem antes implementá-los.

3 Referências

- [1] Roteiro do experimento disponibilizado para os alunos
- [2] KIAN, Marcelli; OLIVEIRA, Daniel. *Pré Relatório - Experimento 3: Controle de plantas eletrônicas utilizando um controlador PID digital*.
- [3] KIAN, Marcelli; OLIVEIRA, Daniel. *Relatório - Experimento 2: Identificação de plantas eletrônicas*.