



Universidade Federal do Pará
Instituto de Tecnologia
Faculdade de Engenharia de Computação e
Telecomunicações
Sistemas de Controle
Experiência 3 com *MatLab*®
Prof^a Adriana Castro

Danilo Souza - 10080000801

August 2, 2013

Contents

1	Questão 1 - Controlador Proporcional	3
2	Questão 2 - Controlador Proporcional e Integral	6
3	Questão 3 - Controlador Proporcional e Derivativo	8
4	Questão 4 - Controlador Proporcional, Integral e Derivativo	10

List of Figures

1.1	Sistema utilizado nas simulações	3
1.2	$K_p = 0,8$	3
1.3	$K_p = 2$	4
1.4	$K_p = 20$	4
1.5	$K_p = 60$	5
2.1	$T_i = 0.6$	6
2.2	$T_i = 1$	7
2.3	$T_i = 1,5$	7
3.1	Sem controlador	8
3.2	Controlador proporcional - $K_p = 10$	9
3.3	Controlador PD - $K_p = 10$ e $K_d = 2$	9
4.1	Controlador PD - $K_p = 20$, $K_d = 6$ e $K_i = 13,33$	10

Chapter 1

Questão 1 - Controlador Proporcional

O sistema utilizado nos experimentos 1, 2, 3 e 4 é apresentado na Figura 1.1 e a função de transferência do processo a ser controlado é mostrada na equação 1.1

$$G_p(s) = \frac{1}{s^2 + 2s + 1} \quad (1.1)$$

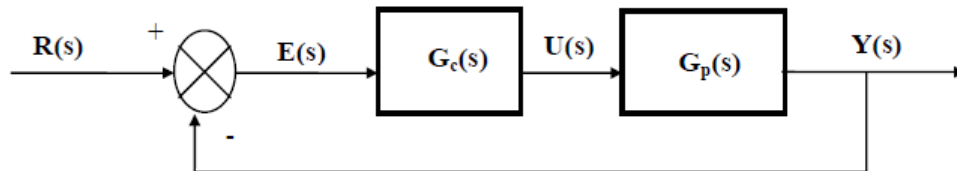


Figure 1.1: Sistema utilizado nas simulações

Neste primeiro experimento apenas o controlador proporcional foi utilizado com seus valores variando entre 0,8; 2; 20 e 60, os gráficos podem ser vistos nas Figuras 1.2, 1.3, 1.4 e 1.5, respectivamente. As variáveis observadas foram $y(t)$ (saída do sistema, em azul), $u(t)$ (saída do controlador, em verde) e $e(t)$ (erro de regime, em vermelho).

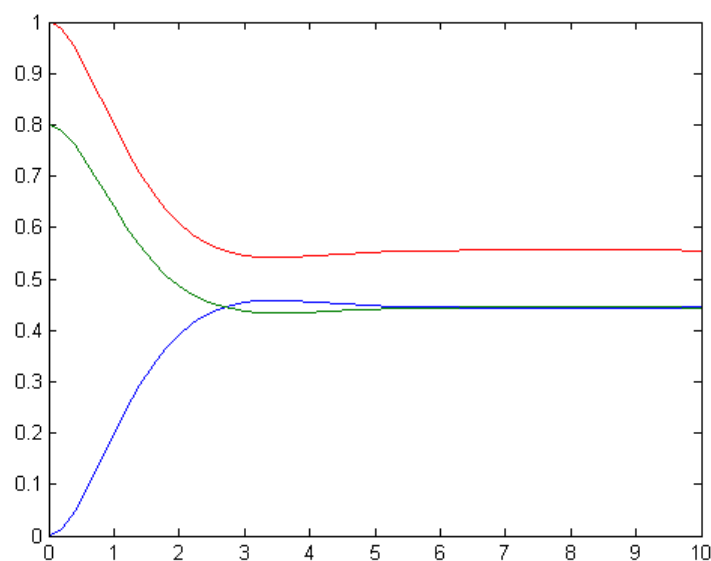


Figure 1.2: $K_p = 0,8$

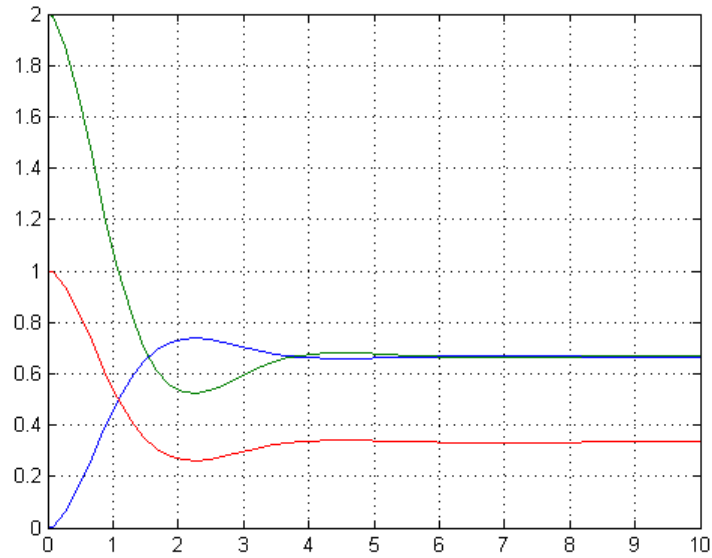


Figure 1.3: $K_p = 2$

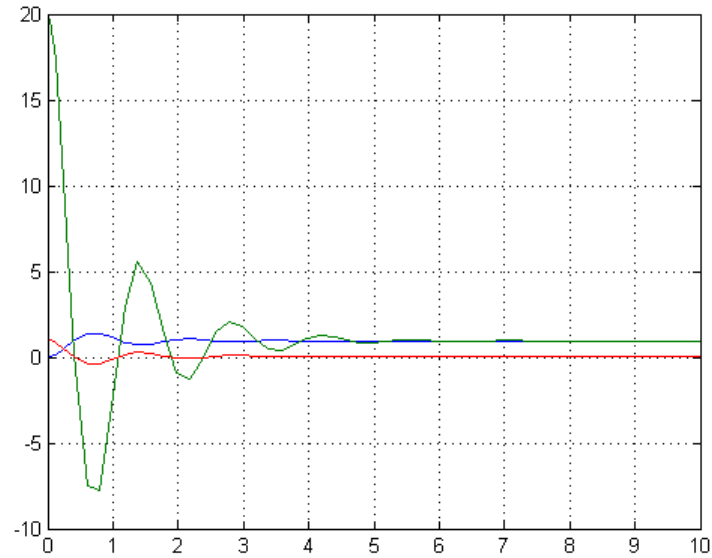


Figure 1.4: $K_p = 20$

Os valores de máximo de sobre-sinal, erro de regime permanente são mostrados na Tabela 1.1

Com os valores da tabela 1.1 é possível constatar que conforme o valor de K_p aumenta, o erro tende a zero, entretanto o máximo de sobre-sinal aumenta, tornando a resposta transitória mais instável. Isso pode ser percebido quando analisamos o sinal $u(t)$, é possível observar que a saída do controlador apresenta maior oscilação conforme o aumento de K_p . Esses valores confirmam o comportamento matemático das equações do cálculo de erro de regime do coeficiente de amortecimento, mostradas abaixo:

$$M_p = e^{\frac{-\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}}$$

$$e(\infty) = \frac{1}{1 + K_p}$$

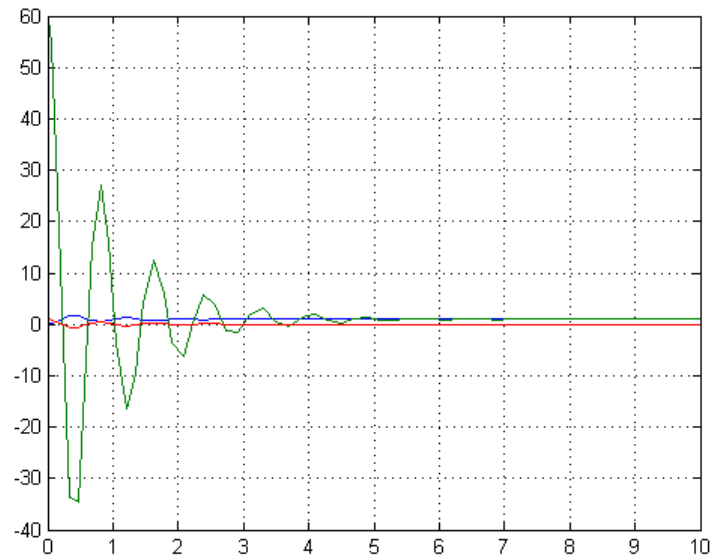


Figure 1.5: $K_p = 60$

Experimento	Máximo de sobre-sinal (M_p)	Erro de regime permanente ($e(t)$)
Experimento 1 - $K_p = 0,8$	0,0295	0,555
Experimento 2 - $K_p = 2$	0,1071	0,3334
Experimento 3 - $K_p = 20$	0,45	0,05
Experimento 4 - $K_p = 60$	0,5991	0,0166

Table 1.1: Valores de M_p e erro de regime do experimento 1

Quanto maior o valor de K_p maior será o denominador e menor será o valor do erro e quanto maior o valor de M_p menor será o valor do coeficiente de amortecimento ξ , levando o sistema a instabilidade.

Este experimento confirma o que foi visto em sala com relação aos controladores proporcionais, é possível diminuir o erro de regime, porém a resposta transitória também sofrerá alterações e caso essas alterações não interfiram no funcionamento do sistema o controlador proporcional é uma vantagem, pois é barato e fácil de ser implementado.

Chapter 2

Questão 2 - Controlador Proporcional e Integral

Neste experimento o valor K_p foi fixado em 0,5 e os valores T_i variados entre 0,6; 1 e 1,5. As figuras 2.1, 2.2 e 2.3 e mostram os gráficos da simulação do sistema, respectivamente, sendo a função de transferência do controlador dada por:

$$G_c(s) = K_p[1 + (\frac{1}{T_i s})]$$

As variáveis observadas foram as mesmas do experimento anterior mais o tempo de estabilização (T_s) utilizando critério de 2%.

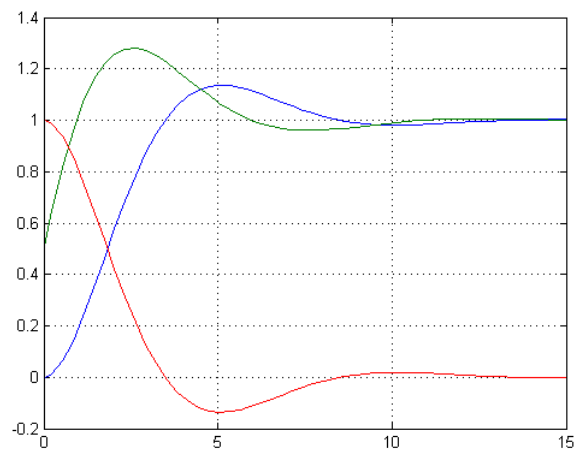


Figure 2.1: $T_i = 0.6$

Conforme mostrado nos gráficos e na tabela 2.1 o máximo de sobre-sinal reduz, ou seja, o valor do coeficiente de amortecimento ξ aumenta, à medida que o valor de T_i aumenta, com isso é possível controlar o comportamento da resposta transitória uma vez que o valor de K_p foi estabelecido.

Podemos observar que para $T_i = 1,5$ o sistema se comporta como um sistema de 1ª ordem, onde $M_p = 0$.

Experimento	Máximo de sobre-sinal (M_p)	Erro de regime ($e(t)$)	T_s
Experimento 1 - $T_i = 0.6$	0,1353	$2,7 \times 10^{-3}$	7,887
Experimento 2 - $T_i = 1$	0,0432	$7,105 \times 10^{-4}$	8,4
Experimento 3 - $T_i = 1,5$	XXX	0	XXX

Table 2.1: Valores de M_p , erro de regime e T_i do experimento 2

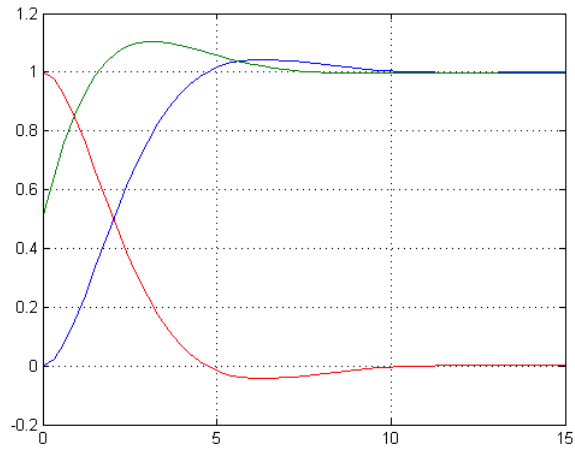


Figure 2.2: $T_i = 1$

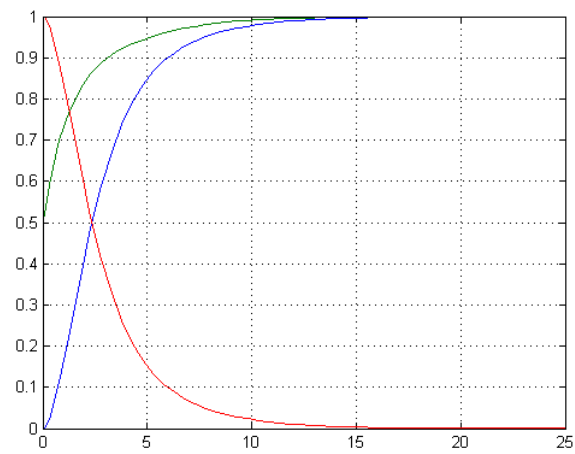


Figure 2.3: $T_i = 1,5$

O erro do sistema é reduzido a zero (os valores mostrados na tabela não são exatamente devido ao erro de aproximação do *MatLab*®), isso ocorre porque o controlador Integral adiciona um zero em $s = -\frac{1}{T_i}$ e um pólo em $s = 0$ à função de transferência de malha aberta do sistema, aumentando assim a ordem e o tipo do sistema.

Chapter 3

Questão 3 - Controlador Proporcional e Derivativo

Neste experimento foi utilizado um controlador Proporcional e Derivativo. Foram simulados os seguintes cenários:

- Sistema sem controlador
- Sistema somente com controlador Proporcional com $K_p = 10$
- Sistema com controlador PD com $K_p = 10$ e $K_d = 2$, onde $K_d = K_p T_d$

A equação da função de transferência do controlador é mostrada abaixo:

$$G_c(s) = K_p(1 + T_d s)$$

As figuras 3.1, 3.2, 3.3 mostram os gráficos da simulação sem controlador, com controlador proporcional e com controlador PD, respectivamente.

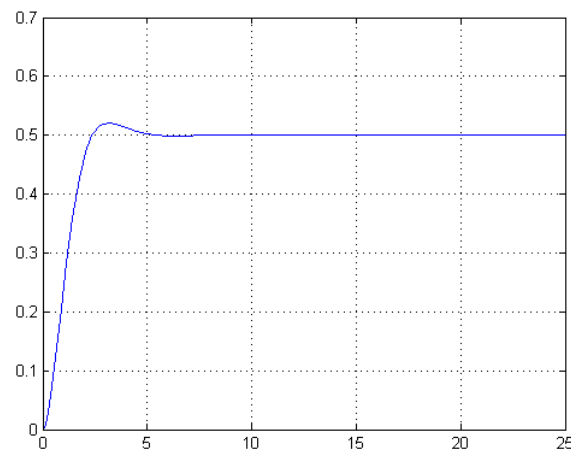


Figure 3.1: Sem controlador

Experimento	M_p	T_s	V_{regime}
Sem controlador	0,108	4,227	0,5
Controlador P	0,3382	3,375	0,9091
Controlador PD	0,1296	1,556	0,9091

Table 3.1: Valores de M_p, T_s, V_{regime} do experimento 3

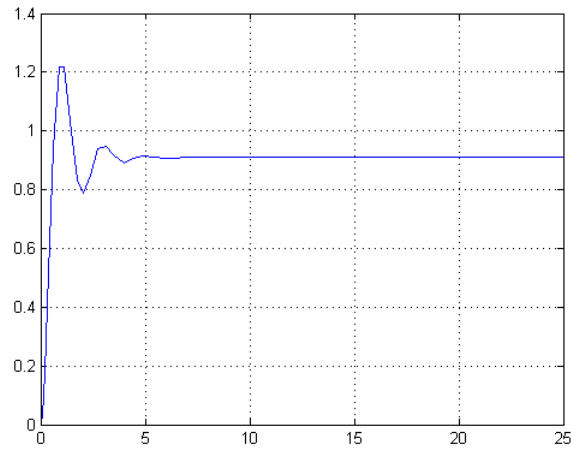


Figure 3.2: Controlador proporcional - $K_p = 10$

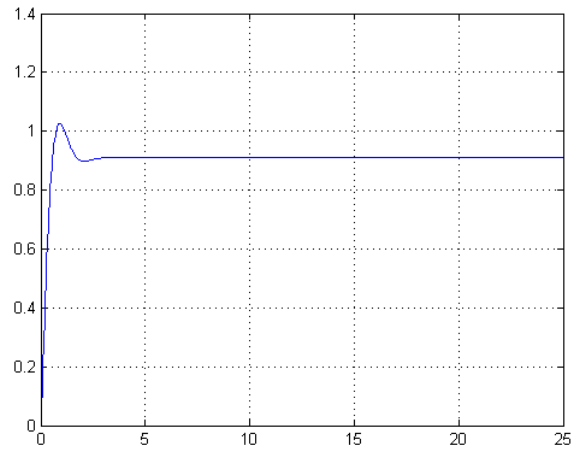


Figure 3.3: Controlador PD - $K_p = 10$ e $K_d = 2$

Analisando os gráficos 3.1 e 3.2 podemos confirmar a conclusão do experimento 1, onde a introdução de um controlador P na malha melhora o ganho do sistema e diminui o tempo de estabilização, entretanto causa maior instabilidade, diminuindo o valor de ξ (coeficiente de amortecimento), isto pode ser verificado com o aumento de M_p , a diminuição de T_s e o aumento de V_{regime} na tabela 3.1.

Observando os gráficos 3.2 e 3.3 percebemos que a introdução do controlador PD na malha manteve o ganho do sistema, como mostra o valor de V_{regime} na tabela 3.1, porém aumentou o valor de ξ como pode ser observado com a redução do valor de M_p , aumentando assim o amortecimento e melhorando a resposta transitória (estabilidade).

Este experimento exemplifica de forma bastante contundente os efeitos de um controlador PD estudados em sala de aula, se mostrando uma excelente alternativa quando se precisa alterar somente a resposta transitória do sistema.

Chapter 4

Questão 4 - Controlador Proporcional, Integral e Derivativo

Neste experimento foi utilizado controlador Proporcional, Integral e Derivativo (PID), utilizando os seguintes parâmetros:

- $K_p = 20$
- $T_i = 1,5$, onde $K_i = \frac{K_p}{T_i}$
- $T_d = 0,3$, onde $K_d = K_p T_d$

Os gráficos mostrados nas Figuras 3.1 e 4.1 mostram o comportamento do sistema sem controlador e com o controlador PID, respectivamente, que possui a seguinte função de transferência:

$$G_c(s) = Kp[1 + (\frac{1}{T_i s}) + T_d s]$$

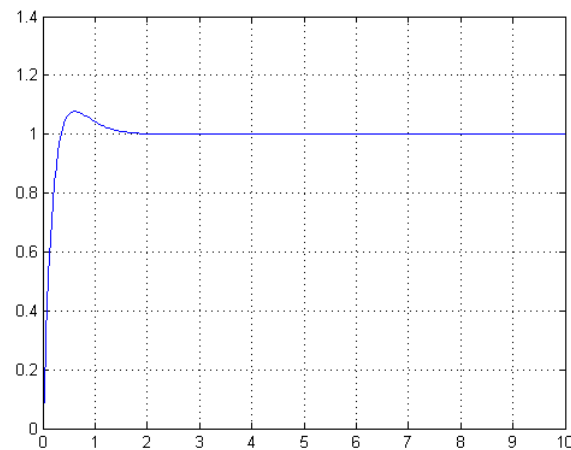


Figure 4.1: Controlador PD - $K_p = 20$, $K_d = 6$ e $K_i = 13,33$

A partir dos gráficos citados acima podemos perceber que a introdução do controlador PID na malha nos permite maior controle de todos os parâmetros relacionados ao sistema, conforme mostrado na tabela 4.1, o valor do ganho é máximo, devido ao controlador Integral, que reduz o erro à zero, o tempo de resposta diminui mais de 3 vezes, devido ao controlador Proporcional, e o coeficiente de amortecimento, ξ , também aumenta devido ao controlador Derivativo.

Experimento	M_p	T_s	V_{regime}
Sem controlador	0,108	4,227	0,5
Com controlador PID	0,0772	1,265	1

Table 4.1: Valores de $M_p, T_s e V_{regime}$ do experimento 4

Com isso podemos concluir que o controlador PID é mais completo que os outros, pois nos permite alterar todos os parâmetros de desempenho do sistema, permitindo corrigir qualquer processo. Naturalmente seu custo é maior do que só usar controlador P ou PI ou PD, porém proporciona maior liberdade para ajustar o desempenho de sistema conforme os requisitos necessários.