

CONTROLE ROBUSTO DE UM SISTEMA DE DOIS TANQUES USANDO ANÁLISE INTERVALAR MODAL

Tassalon Ferreira da Silva¹; Márcia Lissandra Machado Prado.²

1. Bolsista PIBIC/CNPq, Graduando em Engenharia de Computação, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: tassalonfs@gmail.com
2. Orientador, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: marcia.lissandra@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas de Controle, Controle Robusto, Intervalos Modais.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de controle são utilizados nas mais diversas áreas da indústria, se tornando essenciais em qualquer campo da engenharia e da ciência (OGATA, 2010). Exemplos de sua utilização estão em sistemas robóticos, veículos espaciais e em operações industriais que envolvam o controle de temperatura, vazão, pressão, etc (OGATA, 2010).

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um controlador robusto usando análise intervalar modal (GARDENES *et al*, 2001). A teoria de controle robusto é utilizada quando se deseja considerar a existência de incertezas ou erros entre a planta real e o seu modelo matemático no projeto do controlador (DORF, 2001). A análise intervalar modal é usada por ser uma alternativa à análise intervalar clássica, contornando o problema de sobre-estimação dos intervalos resultantes no projeto de controladores robustos (PRADO, 2006).

A substituição de valores pontuais dos parâmetros do sistema por intervalos modais permite tornar esses parâmetros variáveis, provocando assim incertezas no sistema, e com isso é possível realizar o projeto do controlador robusto usando a aritmética intervalar modal (GARDENES *et. al*, 2001) e (PRADO e PAZ, 2008). A planta para a qual o controlador foi desenvolvido é o Sistema de Dois Tanques da Quanser (QUANSER, 2004), um exemplo de sistema hidráulico, onde muitas das suas configurações são aplicadas na indústria.

METODOLOGIA

O Sistema de Dois Tanques da Quanser fornece informações suficientes a respeito da planta para que possa ser modelada conforme a configuração adotada. A configuração adotada neste trabalho consiste na alimentação do primeiro tanque, por meio de uma bomba, e o fluxo de saída desse tanque flui para dentro do segundo tanque que tem sua água escoada para dentro da bacia de água (QUANSER, 2004). A partir das equações que modelam o sistema é possível encontrar sua função de transferência em malha aberta como pode ser vista em (1).

$$\frac{L_2(s)}{V_p(s)} = \frac{0,0194}{s^2 + 0,1312s + 0,0043} \quad (1)$$

Neste sistema a variável que é controlada é o nível de água do segundo tanque, representada por L_2 . V_p é a tensão aplicada à bomba, determinando o fluxo de água para o primeiro tanque. A resposta da planta, para o nível de água no segundo tanque, sem nenhuma ação de controle se estabiliza após um longo período, aproximadamente 120 segundos, apresentando ainda um erro estacionário relativamente elevado de 350% para a resposta ao degrau. Desta forma, verifica-se a necessidade de uma ação de controle sobre o sistema para melhorar seu desempenho. Além disso, foi considerado neste projeto que a planta contém incertezas em

seus parâmetros de forma que deve ser desenvolvido um controlador robusto que leve em conta essa variação.

Para o projeto de um controlador robusto será considerado que os parâmetros do Sistema são variáveis com variação de 10% em seus valores padrões para menos e para mais. Esses parâmetros são definidos com valores padrão $P1=0,0194$, $P2=0,1312$ e $P3=0,0043$, em intervalos, $[P1]=[0,01746, 0,02134]$, $[P2]=[0,11808, 0,14432]$ e $[P3]=[0,00387, 0,00473]$.

A função de transferência do sistema em malha aberta em função dos parâmetros $P1$, $P2$ e $P3$ pode ser vista em (2).

$$G(s) = \frac{P1}{s^2 + P2s + P3} \quad (2)$$

Com isso, foi realizado o projeto de um controlador PID usando a abordagem analítica encontrada em (OGATA, 2010) e (DORF, 2001). A função de transferência do controlador PID pode ser vista em (3).

$$G_c(s) = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s = \frac{k_d s^2 + k_p s + k_i}{s} \quad (3)$$

Sendo $G_c(s)$ a função de transferência do controlador PID e $G(s)$ a função de transferência do Sistema de Dois Tanques em malha aberta, a função de transferência de malha fechada do Sistema de Dois Tanques com ação do controlador PID é dada por (4).

$$G_{MF}(s) = \frac{G_c(s)G(s)}{1 + G_c(s)G(s)} = \frac{P1(K_d s^2 + K_p s + K_i)}{s^3 + (P2 + P1K_d)s^2 + (P3 + P1K_p)s + P1K_i} \quad (4)$$

O diagrama de blocos que representa o sistema com ação do controlador PID, $G_{MF}(s)$, pode ser visto na Figura 1.

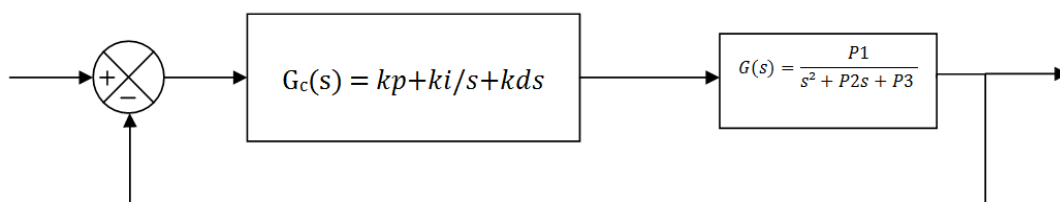


Figura 1. Sistema de Dois Tanques com Controlador PID.

O sistema resultante é de terceira ordem, ou seja, tem três polos. Comparando esse sistema com um sistema de segunda ordem acrescido de mais um polo, que pode ser visto em (5), é possível encontrar os valores das constantes do controlador em função de ξ , coeficiente de amortecimento, e ω_n , frequência natural não amortecida.

$$G_d(s) = \frac{\omega_n^2}{(s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2)(s + p)} = \frac{\omega_n^2}{s^3 + (p + 2\xi\omega_n)s^2 + (2\xi\omega_n p + \omega_n^2)s + \omega_n^2 p} \quad (5)$$

Para requisitos do projeto foram considerados o tempo de estabelecimento (t_s) de 30 segundos com critério de 5% e sobre-elevação máxima (M_p) de 10%. Assim, os intervalos dos valores de coeficiente de amortecimento e frequência natural não amortecida, já representados como

intervalos modais, são $[\xi] = [0,7, 0,59]$ e $[\omega_n] = [0,17, 0,169]$, respectivamente, conforme (OGATA, 2010).

As equações intervalares para determinar os valores das constantes do controlador PID, que são K_p , K_i e K_d , podem ser encontradas comparando o denominador de $G_{MF}(s)$ com o de $G_d(s)$ e utilizando as técnicas de análise intervalar modal (GROUP, 1998), (GARDENES et. al, 2001) resultando em (6), (7) e (8).

$$[K_p] = \left[\frac{2p\xi_1\omega_{n1} + \omega_{n1}^2 - P3_2}{P1_2}, \frac{2p\xi_2\omega_{n2} + \omega_{n2}^2 - P3_1}{P1_1} \right] \quad (6)$$

$$[K_i] = \left[\frac{p\omega_{n1}^2}{P1_2}, \frac{p\omega_{n2}^2}{P1_1} \right] \quad (7)$$

$$[K_d] = \left[\frac{p+2\xi_1\omega_{n1}-P2_2}{P1_2}, \frac{p+2\xi_2\omega_{n2}-P2_1}{P1_1} \right] \quad (8)$$

Onde p é um dos pólos do sistema ao inserir o controlador PID, para esse polo determinou-se o valor de 0,022 para evitar valores altos de K_p , K_i e K_d , que remetem a valores elevados de tensão sobre a bomba, tornando a implementação do controlador inviável devido às limitações físicas do sistema. Desenvolvendo as equações obtém-se $[K_p] = [1,378, 1,665]$, $[K_i] = [0,0298, 0,0360]$ e $[K_d] = [5,42, 5,918]$.

RESULTADOS

O primeiro teste realizado apresenta a resposta do sistema ao degrau unitário para três diferentes valores de parâmetros da planta. Os valores dos parâmetros da planta, P1, P2 e P3, foram variados de forma sincronizada para representar os dois extremos dos intervalos e o seu ponto médio. Os valores de K_p , K_i e K_d foram fixados em seus valores medianos. Os resultados obtidos podem ser vistos na Figura 2.

Percebe-se na Figura 2 que os requisitos de desempenho foram atendidos obtendo M_p inferior a 10% e t_s menor que 30 segundos (considerando critério de 5%) mesmo quando há variações nos parâmetros da planta. Foi desenvolvido ainda um controlador PID tradicional (não robusto) para realizar comparações com o controlador robusto projetado. O controlador PID tradicional foi desenvolvido considerando os valores padrões da planta.

A eficácia do controlador robusto pode ser verificada na Figura 3. Essa simulação mostra o bom resultado do controlador PID Robusto em acompanhar o sinal de entrada quando comparado ao controlador PID tradicional, que apresenta uma resposta indesejada para M_p quando há variações nos parâmetros da planta. Enquanto o controlador robusto atende os requisitos do projeto com t_s de 21,6 segundos e M_p de 9,09%, o controlador tradicional apresenta um t_s de 23,7 segundos e M_p de 10,4 %.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto de controladores robustos utilizando análise intervalar modal mostrou-se uma boa técnica de projeto de sistemas de controle, servindo de grande importância para sistemas que necessitem de garantia de desempenho mesmo que sujeito a variações nos seus parâmetros. Com isso, percebe-se que os resultados obtidos foram satisfatórios mostrando a importância deste trabalho e que o objetivo principal do projeto foi alcançado.

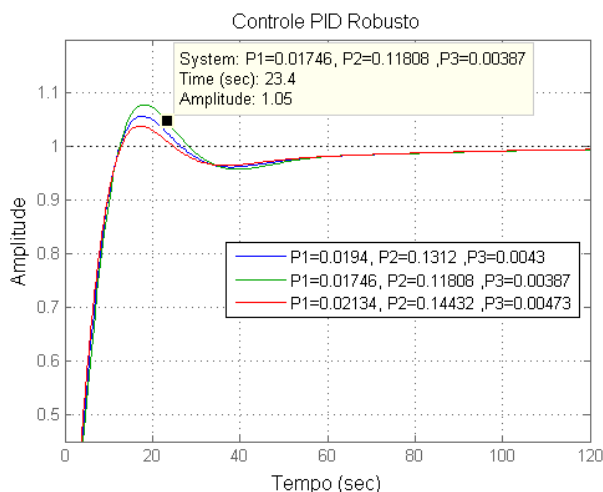


Figura 2. Resposta ao degrau unitário do Sistema com controlador PID.

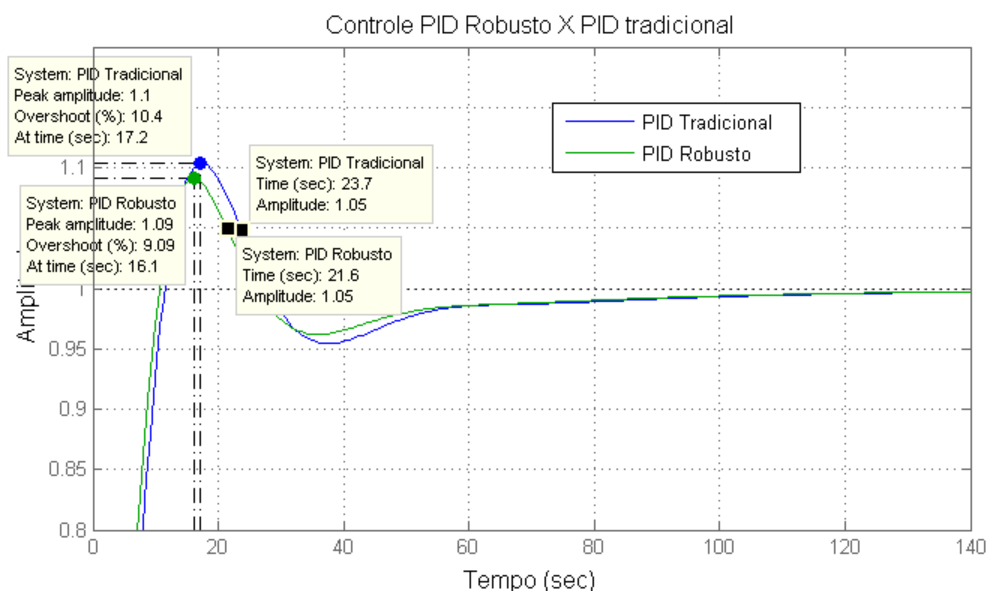


Figura 3. Comparação entre controlador Robusto e Tradicional.

REFERÊNCIAS

- DORF, R. C.; R. BISHOP. 2001. *Sistemas de Controle Moderno*. 8 ed, LTC.
- GARDENES, E., M. SAINZ, L. JORBA, R. CALM, R. ESTELA, H. MIELGO; A. TREPAT. 2001. Modal intervals, *Reliable Computing* 7: 77-111.
- GROUP, S. 1998. Extensiones de las funciones continuas, Report IMA 98-04-RR, Dept. de Informatica y Matematica Aplicada, Universidad de Girona, Spain.
- OGATA, K. 2010. *Engenharia de Controle Moderno*. 5ª ed, Prentice Hall.
- PRADO, M. L. M. 2006. *Controle Robusto por Alocação de Pólos via Análise Intervalar Modal*, Tese-Unicamp, Campinas.
- PRADO, M. L. M.; M. A. PAZ. 2008. Controle Robusto utilizando Estrutura PD e Análise intervalar Modal. In: XIII Congresso Latinoamericano de Control Automatico, Mérida.
- QUANSER. 2004. *Coupled Water Tank Experiments*, Quanser, EUA.