

PROJETO DE UM CONTROLADOR ROBUSTO E ÓTIMO PARA UM SISTEMA DE DOIS TANQUES

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 e Ótimo, Controle H_∞ .

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 propôs o desenvolvimento de um controlador para o sistema de Dois Tanques da *Quanser* (sistema hidráulico, onde muitas das suas configurações são aplicadas na indústria) visando o desempenho robusto do sistema em malha fechada. Para isso, foram analisados os conceitos de controle H_∞ (ZHOU E DOYLE, 1998), (ZHOU, DOYLE E GLOVER, 1996).

METODOLOGIA

Para projetar um controlador $K(s)$ de um sistema de controle de forma que ele satisfaça várias especificações de estabilidade e desempenho, pode-se utilizar o conceito de planta generalizada. Uma planta generalizada é um modelo linear que consiste em um modelo da planta e funções de ponderação correspondentes às especificações para o desempenho exigido (OGATA, 2010).

Considerando a planta generalizada mostrada na Figura 1, o problema do controle H_∞ é projetar um controlador $K(s)$ que torne a norma H_∞ da função de transferência entre o distúrbio w e a variável controlada z , menor que um valor especificado (OGATA, 2010).

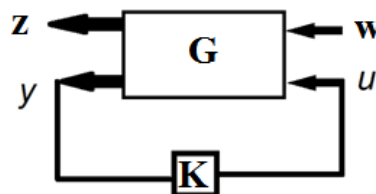


Figura 1. Diagrama de planta generalizada.

O diagrama da Figura 1 contém dois blocos principais, o controlador $K(s)$ e a planta a ser controlada $G(s)$:

$$G(s) = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{bmatrix}$$

De acordo com a Figura 1, existem dois conjuntos de sinais de entrada, w e u , e dois sinais de saída, y e z (AGUIRRE, 2007). A matriz que compõe $G(s)$ é uma representação das relações entre as entradas e as saídas dada da seguinte forma:

$$z = G_{11}(s)w + G_{12}(s)u$$

$$y = G_{21}(s)w + G_{22}(s)u$$

$$u = K(s)y$$

Combinando z , y e u obtém-se a função de transferência do sistema realimentado entre a entrada externa w e a saída controlada z . Essa função de transferência é escrita como:

$$T_{zw}(s) = G_{11}(s) + G_{12}(s)K(s)(I - G_{22}(s)K(s))^{-1}G_{21}(s).$$

onde T_{zw} é uma matriz de transformação linear fracionária para a entrada w e a saída z (AGUIRRE, 2007).

Uma função de transferência estável pode ser medida por diversas normas, de forma a atenuar a máxima influência de perturbações externas na saída z . Essa atenuação pode ser adquirida pela minimização da norma H_∞ da transformação fracional linear T_{zw} , que pode ser calculada com base nos valores assumidos por T_{zw} no eixo imaginário, ou seja (AGUIRRE 2007).

$$\|T_{zw}\|_\infty = \sup\{|T_{zw}(j\omega)| : \omega \in \mathbb{R}\}$$

Para obter o controlador H_∞ deve-se resolver o problema de controle relacionado ao mesmo. Um problema de controle ótimo H_∞ consiste em encontrar todos os controladores que estabilizem a planta generalizada $G(s)$ e garantam que a norma H_∞ da função de transferência $T_{zw}(s)$ seja minimizada (AGUIRRE, 2007). O controlador para minimizar a norma H_∞ pode ser representado como (XUE, CHEN e ATHERTON, 2007):

$$K(s) := \begin{bmatrix} \hat{A}_\infty & -Z_\infty L_\infty \\ F_\infty & 0 \end{bmatrix}$$

onde

$$\hat{A}_\infty := A + \gamma^{-2}B_1B_1^*X_\infty + B_2F_\infty + Z_\infty L_\infty C_2$$

$$F_\infty := -B_2^*X_\infty, \quad L_\infty := -Y_\infty C_2^*, \quad Z_\infty := (I - \gamma^{-2}Y_\infty X_\infty)^{-1}.$$

sendo X_∞ e Y_∞ soluções da equação de Riccati e γ um valor positivo dado de forma que garanta que: $\|T_{zw}(s)\|_\infty < \gamma$ (ZHOU e DOYLE, 1996)(XUE, CHEN e ATHERTON, 2007).

Para construir o controlador para o sistema baseado no H_∞ é necessário realizar um aumento no modelo da planta usando funções de ponderação para representar distúrbios e ruídos (ZHOU e DOYLE, 1996). Além disso, qualquer função de ponderação $w(s)$ é um parâmetro importante que influenciará o controlador $K(s)$ resultante. Assim, a qualidade do sistema depende da escolha das funções de ponderação utilizadas no projeto (OGATA, 2010).

Para o desenvolvimento do controlador H_∞ , o primeiro passo realizado foi modelar o sistema no espaço de estados. Com isso, obteve-se a representação matricial para o Sistema de Dois Tanques da Quanser conforme mostram as Equações (1) e (2).

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,0656 & 0 \\ 0,0656 & -0,0656 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,296 \\ 0 \end{bmatrix} V_p \quad (1)$$

$$y = L_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Para o projeto deste controlador foi utilizada a função para obtenção do controlador H_∞ fornecida pelo Matlab, *hinft* (). O parâmetro passado para a função é o modelo da planta no espaço de estado aumentada, incluindo as especificações das funções de ponderação (XUE, CHEN e ATHERTON, 2007). As funções de ponderações utilizadas foram definidas com base em testes nos quais o objetivo foi obter uma resposta próxima dos requisitos definidos nos projetos realizados em (SILVA, 2013), que são tempo de estabelecimento de 15 s e sobrelevação máxima de 10%, de forma a ser possível realizar comparações com os demais projetos. Com isso, as funções utilizadas foram:

$$w_1 = \frac{10}{(30s+1)^2} \quad w_2 = s^2$$

Após o projeto do controlador H_∞ , foi testada sua robustez variando os parâmetros da planta em 10% para mais e para menos, assim como realizado em (SILVA, 2013), e exibidos graficamente os resultados obtidos.

RESULTADOS

Após o projeto do controlador H_∞ , foram realizados alguns testes com o objetivo de analisar o seu desempenho. Como se trata de um controlador robusto foram realizadas algumas variações nos parâmetros da planta para verificar se a resposta do sistema se mantém estável. A Figura 2 mostra os resultados obtidos considerando os valores padrões da planta e também com variações de 10% para mais e para menos.

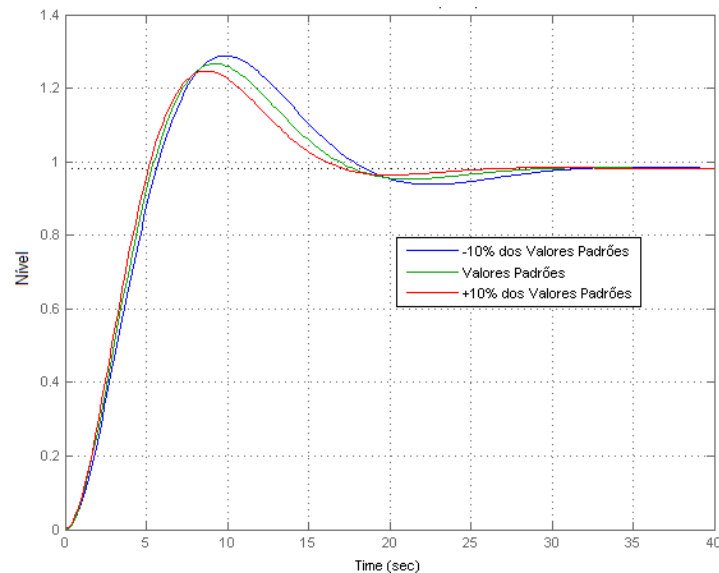


Figura 2. Resposta do controlador H_∞ .

Percebe-se que mesmo com a variação nos parâmetros da planta o sistema continua apresentando um desempenho satisfatório, alcançando a estabilidade e o tempo de estabelecimento inferior a 30 s. A única diferença apresentada em relação aos projetos de

controladores realizados anteriormente é com relação a máxima sobre-elevação que chega a ser de 30%.

Foi realizada também uma comparação dos três principais controladores desenvolvidos em Silva (2013): PID Robusto, o controle Ótimo utilizando a técnica de LQR e o controle Robusto e Ótimo utilizando a técnica de H_∞ . A Figura 3 apresenta essa comparação.

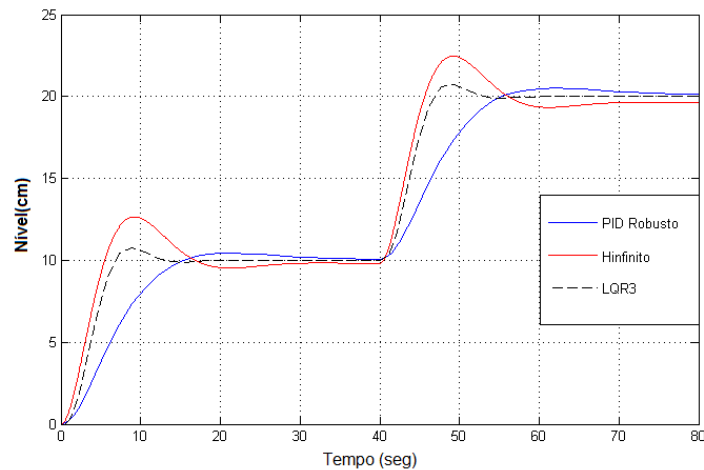


Figura 3. Comparação entre os controladores PID Robusto, LQR e H_∞ .

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controlador H_∞ além dos bons resultados obtidos tem a característica de robustez o que garante que mesmo com variação nos parâmetros da planta, o sistema manterá a resposta estável, como foi apresentado nas simulações realizadas. Com isso, percebe-se a importância deste trabalho e que os seus objetivos foram alcançados. As comparações feitas com os controladores desenvolvidos no projeto de IC anterior e em Silva (2013) completaram o trabalho mostrando a importância e características de cada uma das técnicas aplicadas.

REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, L. A. 2007. Enciclopédia de Automática: Controle e Automação. 1. ed. São Paulo: Blucher.
- OGATA, Katsuhiko. 2010. Engenharia de Controle Moderno. 5 ed, Prentice Hall.
- SILVA, T.F. 2013. Projeto de Controladores Robustos para um Sistema de Dois Tanques. Monografia de TCC, Universidade Estadual de Feira de Santana – Bahia.
- XUE, D.; Chen, Y.; Atherton, D. P. 2007. Linear Feedback Control: Analysis and Design with MATLAB. [S.l.]: SIAM.
- ZHOU, K.; Doyle, J. C. 1996. Essentials Robust Control. 1. ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- ZHOU, K.; Doyle, J. C.; Glover, K. 1996. Robust and Optimal Control. 1. ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.