



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76

Recredenciamento pelo Decreto nº 17.228 de 25/11/2016



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XXIII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS SEMANA NACIONAL DE CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA - 2019

PROJETO DE CONTROLADORES ROBUSTOS PARA O SISTEMA QUBE

Fabio Santos de Oliveira¹, Marcia Lissandra Machado Prado²

1. Bolsista PROBIC/UEFS, Graduando em Engenharia de Computação, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: fabiosantos1388@gmail.com
2. Orientador, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: marcia.lissandra@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: Teoria de Controle; Alocação de Pólos; Análise Intervalar; Sistema Qube-Servo 2.

INTRODUÇÃO

Na sociedade moderna sistemas de controle se apresentam como componentes intrínsecos, possuindo uma variada gama de aplicações que se fazem presente ao nosso redor. São comumente utilizados nas diversas áreas de engenharia, abrangendo sistemas robóticos, veículos espaciais e quaisquer operações industriais que envolvam variáveis como: temperatura, umidade, vazão, pressão e velocidade (Ogata, 2010).

As teorias de controle clássica, a teoria de controle moderna e a teoria de controle robusto, são as teorias de controle mais abordadas atualmente (Ogata, 2010). O problema de projetos de controladores por realimentação de estados para sistemas lineares invariantes no tempo possui recorrentes abordagens na literatura, tendo o problema de controle robusto a função de definir um ganho de realimentação de estado que permita alocar todos os polos do sistema em malha fechada em uma região desejada para todos os possíveis parâmetros do sistema (Prado, 2006).

O Qube-Servo 2 do fabricante Quanser é um sistema servo rotativo compacto que pode ser usado para executar uma variedade de experimentos, através de módulos que proporcionam ferramentas suficientes para o estudo de sistemas de controle, dentre eles o controle de posição de disco de inércia e o controle de pêndulo rotativo. Devido suas características, o sistema Qube-Servo é bastante adequado para realização de estudos e projetos de controladores (Quanser, 2019).

O objetivo deste trabalho é apresentar um projeto de controlador robusto através de alocação de pólos e utilizando análise intervalar para o sistema servo rotativo Qube-servo.

METODOLOGIA

1. Modelagem do sistema Qube

O Qube-Servo 2 da fabricante Quanser (Quanser, 2019) é um sistema servo rotativo compacto que pode ser usado para executar uma variedade de experimentos clássicos de

servo controle e de pêndulo invertido. Neste trabalho será abordado o sistema acoplado do disco de inércia e com isso será modelado e controlado em relação a posição do disco.

A modelagem da função de transferência do sistema é dada pela relação entre voltagem por posição (Quanser, 2019) sendo representada da seguinte forma:

$$P_{v-p} = \frac{\theta_m(s)}{V_m(s)} = \frac{K}{s(\tau s+1)} \quad (1)$$

Onde $\theta_m(s)$ é a tensão aplicada ao motor, $V_m(s)$ é a posição da engrenagem de carga e os parâmetros K e τ são definidos da seguinte forma, sendo $K = 23.0 \text{ rad/s}$ o ganho de estado estacionário do modelo e o $\tau = 0.13 \text{ s}$ a constante de tempo do modelo (Quanser, 2019).

2. Controlador PD com realimentação de velocidade

Para o sistema PD em malha fechada pode afirmar que a função de transferência é dada por:

$$G_{pd}(s) = \frac{G(s)(k_p+k_d s)}{1+G(s)(k_p+k_d s)} \quad (2)$$

O controlador PD insere um zero na função de transferência de malha fechada, este componente provoca instabilidade no sistema, podendo tornar o sistema mais oscilatório.

Para evitar estes efeitos provocados pelo controlador PD podemos utilizá-lo com outro esquema de realimentação chamado de realimentação de velocidade.

A função de transferência de malha fechada do controlador PD por realimentação de velocidade é dada por:

$$G_{pd}(s) = \frac{G(s)k_p}{1+G(s)(k_p+k_d s)} \quad (3)$$

Considerando a planta do sistema representado pela equação 1. Podemos substituir a equação 1 na equação 3. Obtendo assim, a função de transferência do sistema utilizando controlador PD com realimentação de velocidade.

$$G_{pd}(s) = \frac{Kk_p}{s^2 + \frac{(1+k_d)}{\tau} + Kk_p} \quad (4)$$

Percebe-se que trata-se de um sistema de segunda ordem, logo podemos comparar o seu denominador com o polinômio característico de segunda ordem, apresentado na equação 5 (Ogata, 2010).

$$s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2 \quad (5)$$

Para este projeto os valores para estas especificações foram especificamente $M_p \leq 7\%$ e $T_p \leq 0.15 \text{ s}$. Desta forma podemos determinar os valores de k_p e k_d a partir das equações a seguir: $k_p = \frac{\omega_n^2 \tau}{K}$ (6); $k_d = \frac{2\xi\omega_n \tau - 1}{K}$ (7)

3. Controlador PD robusto utilizando análise intervalar modal

Para garantir a robustez do controlador é necessário que o mesmo seja capaz de agir de forma desejada as variações de parâmetros da planta.

Considerando a equação (1) como a planta do projeto, podemos notar que temos K e τ como parâmetros. Desta forma é possível adicionar incertezas aos mesmos adotando seus valores fixos como ponto central de um intervalo onde os extremos seriam variações percentuais do valor central. A partir das definições da matemática intervalar (Prado, 2006), podemos transformar os nossos ganhos k_p e k_d obtidos nas equações (6) e (7) em intervalos modais, resultando em: $[k_p] = \frac{[\omega_n]^2 [\tau]}{[K]}$ (8); $[k_d] = \frac{2[\xi][\omega_n][\tau]-1}{[K]}$ (9)

Obedecendo a aritmética das propriedades e operações intervalares modais (Prado, 2006), podemos estabelecer as extensões semânticas intervalares dos ganhos, apresentando-se da seguinte forma:

$$[k_p] = \left[\frac{(w_n^-)^2 \tau^-}{K^+}, \frac{(w_n^+)^2 \tau^+}{K^-} \right] \quad (10); \quad [k_d] = \left[\frac{2\xi^- w_n^- \tau^- - 1}{K^+}, \frac{2\xi^+ w_n^+ \tau^+ - 1}{K^-} \right] \quad (11)$$

Onde w_n^- , w_n^+ ; ξ^- , ξ^+ ; τ^- , τ^+ são respectivamente os extremos inferiores e superiores dos intervalos $[w_n]$; $[\xi]$; $[\tau]$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O controlador obtido foi projetado a partir da variação dos parâmetros da planta, desta forma com a variação de 5% , obtivemos os intervalos :

$[K] = [21,8500, 23, 24,1500]$ e $[\tau] = [0,1235, 0,1300, 0,1365]$. As especificações do projeto tiveram seus intervalos definidos como: $[\xi] = [0,6784, 0,6138]$ e $[w_n] = [28,8118, 26,0678]$. Desta forma, podemos observar que, conforme determinado na teoria semântica, os parâmetros da planta são intervalos próprios e os intervalos das especificações são intervalos impróprios.

Com base nesses parâmetros podemos obter os intervalos modais dos ganhos do controlador PD através das equações (10) e (11). Obtendo, desta forma, os seguintes ganhos: $[k_p] = [4,2451, 4,2451]$ e $k_d = [0.1585, 0.1541]$. É possível perceber que os intervalos dos ganhos também são impróprios, apesar dos valores de k_p para esta variação sejam coincidentes. Nota-se que as semânticas referentes às equações (10) e (11), definem que para cada valor de k_p e k_d dentro dos seus intervalos, existirão valores de ξ e w_n dentro dos intervalos das especificações para quaisquer valores dos parâmetros de K e τ dentro dos seus respectivos intervalos (Prado, 2006).

Para representar graficamente os resultados, foi utilizada a resposta ao degrau unitário no sistema controlado, considerando os valores obtidos dos parâmetros e formando seus intervalos podendo assumir 3 valores a partir do seu valor central e variando 5% nas extremidades. Os ganhos do controlador k_d variando entre 0,1585 e 0.1541 e o valor de k_p igual a 4,2451. Desta forma, variando todos os parâmetros foram formadas 18 combinações que serão apresentadas na Figura 1.

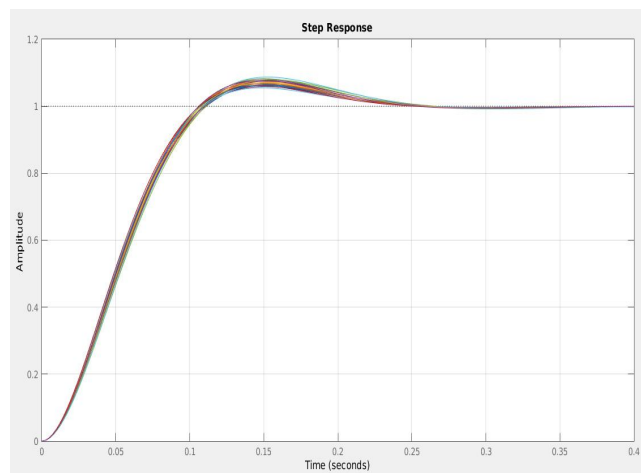


Figura 1: Resposta ao degrau unitário utilizando o controlador PD robusto.

É possível constatar que os resultados obtidos estão de acordo com as especificações desejadas do sistema, que consistiam em uma sobrelevação máxima (MP) de 7% e um tempo de pico (T_p) 0.15s. O esforço de controle para este controlador PD Robusto é apresentado na Figura 2.

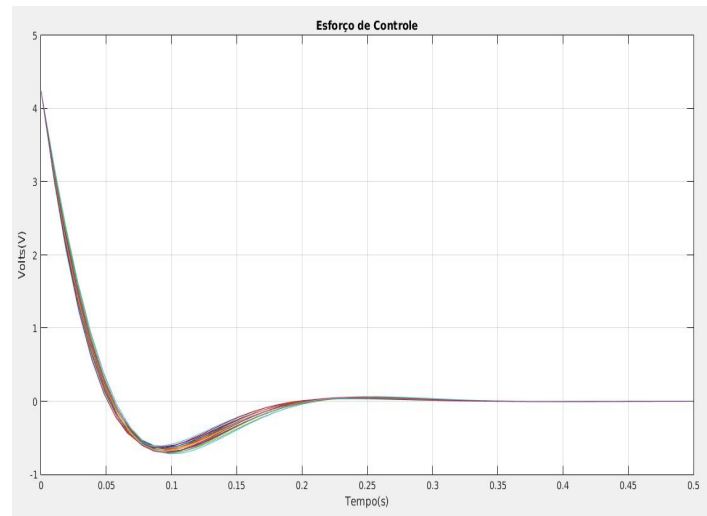


Figura 2: Sinal de controle utilizando controlador PD robusto

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste projeto foi proposta uma abordagem para controladores robustos, dentre eles foi implementado um controlador PD com realimentação de velocidade e através de parâmetros intervalares.

O controlador PD robusto se mostrou mais eficiente do que sua versão tradicional, pelo fato de se comportar melhor em situações de incertezas e variações de parâmetros. A técnica de análise intervalar modal para adição de robustez ao controlador demonstrou um desempenho satisfatório trazendo resultados desejados.

Como trabalho futuro, se encontra em andamento o desenvolvimento de um controlador robusto por espaço de estados. Desta forma será possível desenvolver mais conhecimentos sobre técnicas de controle e seus benefícios.

REFERÊNCIAS

OGATA, K. . Engenharia de Controle Moderno, 5ª Edição, São Paulo, Prentice Hall, 2010.

PRADO, M. L. M. . Controle Robusto por Alocação de Pólos via Análise Intervalar Modal. 2006, 118f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade de Campinas (Unicamp), Campinas, 2006.

QUANSER. Qube Servo 2: Labview Courseware. Disponível em: <https://www.quanser.com/products/qube-servo-2/>. Acesso em 14 de agosto de 2019.