



CONTROLE-PV DE POSIÇÃO DE UM CARRO DE MOVIMENTO LINEAR

Ivo Adriano Aguiar Zanin

UNESP – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira; Avenida Brasil, 56 - Centro 15385-000 Ilha Solteira - SP
ivo_zanin@yahoo.com.br

Rodrigo Borges Santos

rborges@dem.feis.unesp.br

Vicente Lopes Junior

vicente@dem.feis.unesp.br

Resumo: A prática da engenharia de controle compreende o uso de estratégias de projeto para aprimorar processos manufaturados e industriais, sistemas de controle de tráfego, sistemas robóticos, projeto de automóveis e veículos espaciais. O presente trabalho emprega a simulação da posição de um carro de movimento linear, no qual o modelo matemático pode ser utilizado no estudo de técnicas de controle linear, sendo que o objetivo do projeto é modelar matematicamente o carro de movimento linear e obter a função de transferência à malha aberta no domínio s (de Laplace). A partir da função de transferência, pode-se projetar e simular um controlador de posição proporcional à velocidade (PV), ajustar os ganhos de controle PV e avaliar os efeitos na resposta do sistema dinâmico à malha fechada.

Palavras-chave: controle PV, movimento linear.

INTRODUÇÃO

Em várias situações práticas, é necessária a modificação adequada (ou controle) de um sistema, de modo que este se comporte de forma conveniente. Normalmente, o controle automático de um sistema real tem um dos seguintes objetivos: melhorar a qualidade ou diminuir o custo. Por exemplo, o controle ótimo da trajetória de um avião pode diminuir o consumo de combustível e o controle do processo de fabricação de papel pode melhorar a qualidade do mesmo.

No controle automático de sistemas, o objetivo é obter uma lei de controle que forneça as entradas de um processo, de modo que o sistema tenha um desempenho dinâmico aceitável. Na vasta literatura de controle, pode-se verificar extensa aplicação da utilização de alocação de pólos em diversos sistemas. Contudo, (por exemplo, ver Magni et al. (1997)), a localização correta dos zeros da função de transferência pode ser indispensável para obter determinado desempenho no transitório. É possível alocar zeros em função de transferência, aproveitando estruturas de realimentação dinâmicas já existentes (Kienitz e Grubel, 2000).

Em muitos sistemas de controle aeroespaciais, que requerem precisão elevada, o projeto de sistemas de controle ótimo tem apresentado um papel muito importante (Filatyev, 2000; Betts, 2000; Mclean, 1999; Horie, 1999).

O trabalho tem por objetivo o estudo de técnicas de movimento linear utilizando um carro de movimento linear e analisar os resultados experimentais ajustando os ganhos de controle PV de modo a conseguir um resultado satisfatório.

MODELO DINÂMICO DO SISTEMA

Da Segunda Lei de Newton:

$$M \left(\frac{d^2}{dt^2} x(t) \right) = F_c(t) - B_{eq} \left(\frac{d}{dt} x(t) \right) \quad (1)$$

Sendo F_c :

$$F_c = \frac{\eta_g K_g \eta_m K_t \left(V_m r_{mp} - K_g K_m \left(\frac{d}{dt} x(t) \right) \right)}{R_m r_{mp}^2} \quad (2)$$

Substituindo a equação (2) em (1), aplicando a transformada de Laplace e rearranjando a equação de modo conveniente, obtém:

$$G(s) = \frac{r_{mp} \eta_g K_g \eta_m K_t}{(R_m M r_{mp}^2 s + \eta_g K_g^2 \eta_m K_t K_m + B_{eq} R_m r_{mp}^2) s} \quad (3)$$

Sendo $G(s)$ a função de transferência a malha aberta do sistema.
A Tabela 1 mostra a nomenclatura utilizada.

Tabela 1: Nomenclatura utilizada

Símbolo	Descrição
M	Massa do carro
x(t)	Posição do carro
B_{eq}	Coefficiente de amortecimento viscoso
η_g	Eficiência das engrenagens
K_g	Relação de transmissão nas engrenagens
η_m	Eficiência do motor
K_t	Torque do motor
V_m	Tensão no motor
r_{mp}	Rotação do eixo do motor
K_m	Constante da força-eletromotriz
R_m	Resistência interna do motor

PROJETO DE CONTROLE PROPORCIONAL-VELOCIDADE (PV)

Este controlador possui duas condições corretivas, um ganho (K_v) proporcional a velocidade do carro e um ganho (K_p) proporcional ao erro na posição do carro.

A lei de controle PV pode ser expressa pela seguinte equação:

$$V_m(t) = K_p (x_d(t) - x(t)) - K_v \left(\frac{d}{dt} x(t) \right) \quad (4)$$

Onde,

V_m é a voltagem (força de controle) dirigida ao motor do carro;

$x_d(t)$ é a posição desejada para o carro;

$x(t)$ é a posição medida.

A Figura 1 representa o diagrama de blocos do Controle PV.

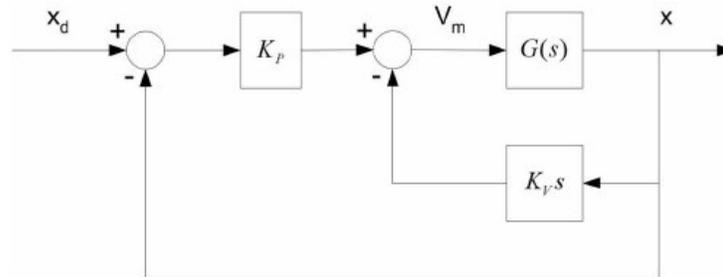


Figura 1: Diagrama de blocos do Controle PV.

Analise da Resposta Transitória

Frequentemente, as características de desempenho de um sistema de controle são especificadas em termos da resposta transitória a uma dada excitação. Neste trabalho as características de resposta transitória serão analisadas especificando o tempo de pico t_d e o percentual de overshoot PO (máxima ultrapassagem) da resposta. O tempo de pico é o tempo necessário para que a resposta alcance o primeiro pico de ultrapassagem e o PO é o máximo valor de pico da curva de resposta medido a partir do valor desejado.

O tempo de pico é dado por:

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}} \quad (5)$$

Sendo ω_n a frequência natural e ζ relação de amortecimento.

O percentual de overshoot é dado por:

$$PO = 100e^{\left(\frac{-\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)} \quad (6)$$

Sendo ζ relação de amortecimento.

SETUP EXPERIMENTAL

Os principais componentes utilizados neste experimento são:

Módulo de Potência: Quanser UPM 1503

Placa de Aquisição de Dados: Quanser MultiQ PCI

Carro de Movimento Linear: Quanser IP02 (Figura 2)

Softwares de Controle em Tempo Real: WinCon-Simulink-RTX.

Computador Pentium IV de 2.8 GHz com 1 GB de RAM e 40 MB de Hard Disc

Apresentação do Carro de Movimento Linear

O sistema consiste de um carro de alumínio movido por um motor DC de alta qualidade equipado com uma caixa planetária. O carro desliza ao longo de uma barra cilíndrica de aço e corre através de um trilho por um mecanismo de pinhão, assegurando tração consistente e contínua. A posição do carro é medida por um sensor ligado a um pinhão adicional.

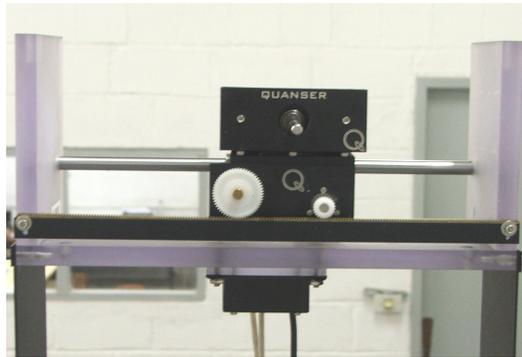


Figura 2: Carro de Movimento Linear

Especificações de Projeto

Para se implementar uma estratégia de controle PV, deve-se obter os ganhos K_p e K_v , o qual permitirá posicionar o carro na posição desejada. O esforço de controle correspondente também deve ser considerado e minimizado. Em geral, o propósito do controle é permitir melhor intercâmbio entre desempenho e custo de controle. Deve-se ajustar o controlador PV para o sistema de modo a satisfazer as seguintes exigências de desempenho do projeto:

1. Ter um tempo de pico, t_p , na resposta da posição do carro menor que 0.3 segundos.
2. Ter um percentual de overshoot na resposta da posição do carro menor que 10%.
3. Minimizar o esforço de controle produzido, o qual é proporcional à voltagem de entrada do motor.

As especificações são dadas em resposta de uma onda quadrada de modo que a posição desejada para o carro seja ± 20 mm.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Considerando $K_p = 38.6179$ V/m e $K_v = -2.2875$ V.s/m s foram obtidos os seguintes valores para o percentual de overshoot (PO) e tempo de pico (t_p)

$$PO = 10 \% \text{ e } t_p = 0.4 \text{ s}$$

A figura 3 mostra os valores obtidos para a posição do carro. A cor verde é o sinal de entrada do sistema, isto é, a posição desejada para o carro (± 20 mm), o sinal vermelho corresponde a posição simulada do carro (obtida numericamente), o sinal azul é a posição do carro obtida experimentalmente.

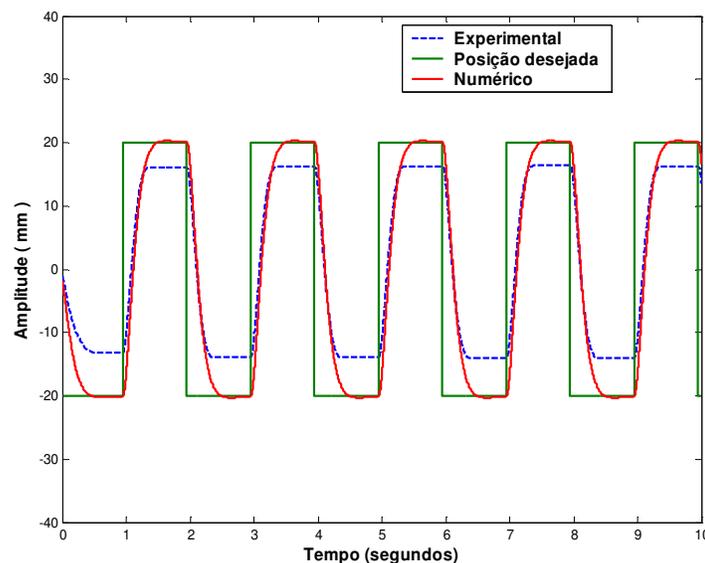


Figura 3: Resultado numérico e experimental

Nota-se que o resultado não apresenta um desempenho satisfatório, visto que, a resposta transitória apresenta um tempo de pico maior do que foi especificado. No entanto, se fez necessário o ajuste dos ganhos K_p e K_v .

Para os valores de $K_p = 154.4714$ V/m e $K_v = 2.4014$ V.s/m obteve se

$PO = 10\%$ e $tp = 0.2$ s

A figura 4 mostra os valores obtidos para a posição do carro. Nota-se que o agora a resposta apresenta um desempenho satisfatório.

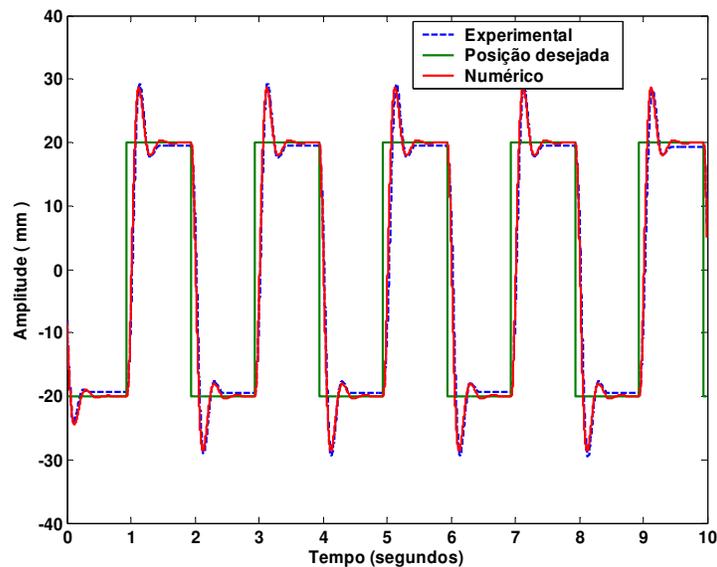


Figura 4: Resultados numéricos e experimentais

CONCLUSÃO

O presente trabalho possibilitou a compreensão dos princípios básicos de funcionamento do controle PV bem como o seu ajuste para as exigências pré-definidas. Além disso, o principal objetivo foi atingido, ou seja, manter o carro na posição desejada. De modo a entender o ajuste do controlador projetado, os valores de K_p e K_v foram modificados de modo que o sistema atingisse as especificações pré-estabelecidas. As figuras 3 e 4 mostram os resultados obtidos. Esta experiência permitirá aos alunos de graduação do curso de Engenharia Mecânica a familiarização com o projeto e ajuste do controle PV.

AGRADECIMENTOS

O Autor Agradece ao Grupo GMSINT e ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Quanser Innovate Educate. IP01 and IP02 “Single Inverted Pendulum User Manual”, MultiQ User Manual, MultiQ User Manual, 2003.
- Ogata, K., 1993, “Engenharia de Controle Moderno”, Prentice-Hall do Brasil, RJ.

- Magni, J. F.; Bennani, S.; Terlouw, J. (1997). Robust flight control: a design challenge, Lecture Notes in Control and Information Sciences, v. 224, Springer, Berlin.
- Kientz, H. K., Grubel G. (2000) Zero Assignment in a Scalar Control System Transfer Function Exploiting Linear dynamic Feedback Structures, In: XIII Congresso Brasileiro de Automática. Anais, UFSC-SC, Florianópolis.
- Filatyev, A. S. (2000). "Paradoxes" of optimal solutions in problems of space vehicle injection and reentry. *Acta Astronaut* 47(1):11-18.
- Betts, J.T. (2000). Very low-thrust trajectory optimization using a direct SQP method. *J. Comput Appl math* 120(1-2):27-40.
- McLean, D., Zaludin, Z. A. (1999) Stabilization of longitudinal motion of a hypersonic transport aircraft. *TI Meas Control* 21(2-3): 99-105.
- Horie, K., Conway, B. A. (1999). Optimal aeroassisted orbital interception. *J Guid Control Dynam* 22(5): 625-631.