

Laboratório de ECAi05

Universidade Federal de Itajubá – Campus Avançado de Itabira

Disciplina: ECAi05 - Laboratório de Sistemas de Controle I

Objetivo

Este laboratório tem como finalidade calcular e implementar os ganhos de um controlador PD para controle de posição do motor DC. A implementação será realizada no modelo do motor DC utilizando uma simulação computacional que representa o sistema da Quanser. Analisar o erro em regime permanente e a resposta ao distúrbio.

1. Introdução

O controle da posição do motor é uma forma natural de introduzir os benefícios da ação da derivada. Neste laboratório, um controlador PID é projetado para as especificações. O diagrama de blocos de controle PID em malha fechada é mostrado na Figura 1.

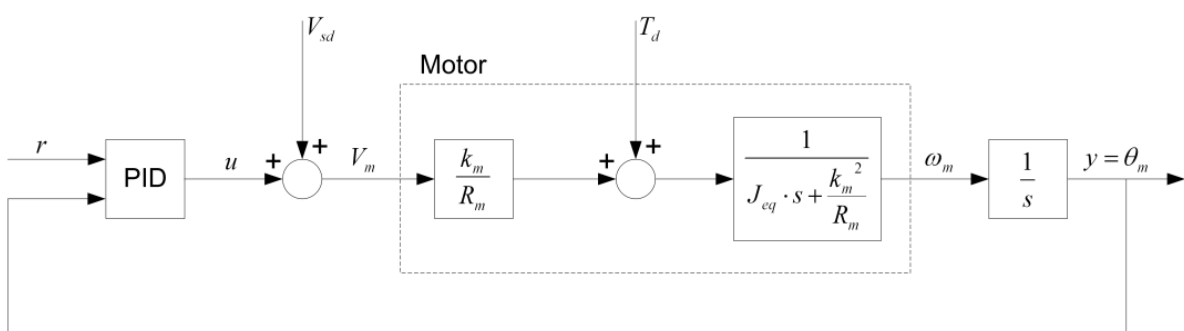


Figura 1: Diagrama de blocos em malha fechada do motor DC.

A caixa pontilhada rotulada como motor é o modelo da malha de velocidade em termos da constante K_m do motor, da resistência de armadura do motor R_m e do momento de inércia do motor J_{eq} . A perturbação direta aplicada ao eixo do motor é representada pela variável T_d e a perturbação na tensão é indicada pela variável V_{sd} .

2. Projeto do controle PD

O comportamento do controle de posição do motor é primeiramente analisado usando o controle PD. Ajustando $k_i = 0$ na equação de controle do PID. Sendo a lei de controle PD para o sistema dada por

$$u = (k_p + k_d s)(r - y) \quad (1)$$

Combinando o modelo do processo de posição

$$\frac{\Theta_m(s)}{V_m(s)} = \frac{K}{s(\tau s + 1)} \quad (2)$$

com a equação do controlador PD, tem-se a função de transferência do sistema em malha fechada de posição do motor

$$G_{\theta,r} = \frac{K(k_p + k_d s)}{\tau s^2 + (1 + K k_d)s + K k_p} \quad (3)$$

Similarmente ao laboratório de controle de velocidade, através do polinômio característico padrão de um sistema em malha fechada, é possível obter os ganhos para o controle em função da frequência natural de oscilação do sistema e do coeficiente de amortecimento. Desse modo, tem-se que o ganho k_p é dado por

$$k_p = \frac{\omega_n^2 \tau}{K} \quad (4)$$

e o ganho k_d dado por

$$k_d = \frac{-1 + 2\zeta\omega_n\tau}{K} . \quad (5)$$

3. Instrumento virtual de controle de posição

O primeiro passo é realizar o rastreamento de um referência de entrada dada por uma onda quadrada usando o controlador PID. Efeitos de distúrbios serão analisados através de interação manual. A Figura 2 mostra o instrumento virtual do controle de posição.

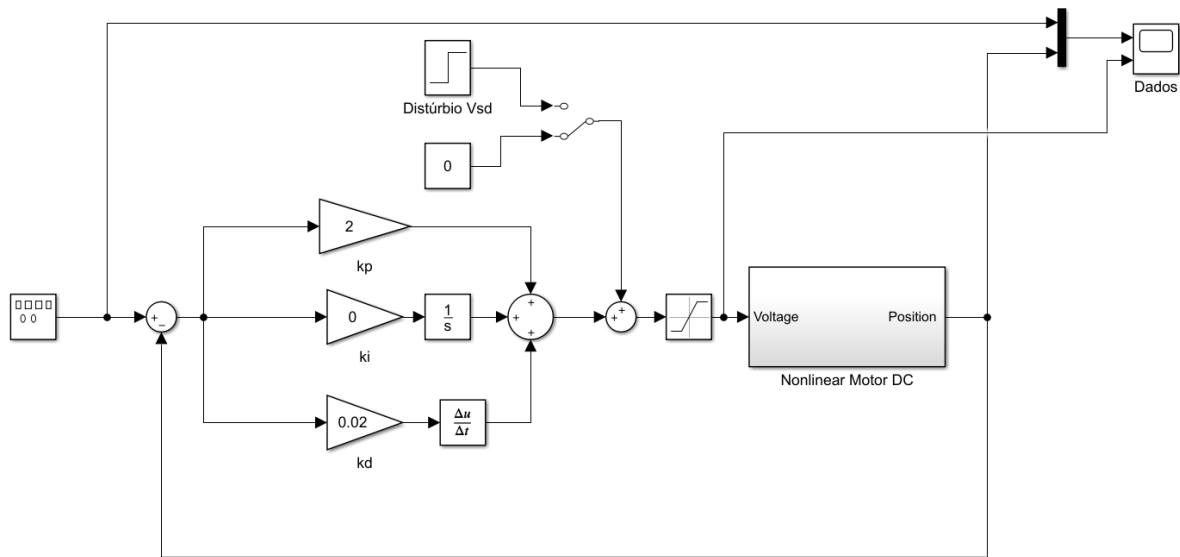


Figura 2: Interface para controle de posição.

4. Análise de erro em regime permanente

(a) Abrir o programa `position_control_motor_DC.mdl` no Simulink.

(b) Em *Signal Generator* ajustar os parâmetros:

- Wave form = square
- Amplitude = 2,00 rad
- Frequency = 0,20 Hz
- Units = Hertz

(c) Ajustar os parâmetros de controle para:

- $k_p = 2,00$ V/rad
- $k_i = 0,00$ V/rad
- $k_d = 0,00$ V.s/rad

(d) Altere o ganho proporcional por passos de 0,25 entre os valores 0 e 4. Examine o comportamento da posição medida com relação ao sinal de referência de entrada. Explique o que acontece?

O aumento de K_p impacta na frequência, aumentando a mesma. Este aumento na frequência resulta simultaneamente em uma redução do amortecimento, sendo assim a saída oscila mais e apresenta um overshoot maior também.

- (e) Descreva o que acontece com o erro em regime permanente. Justifique. Dê um zoom grande para verificar o que acontece.

O erro fica cada vez maior de acordo com o aumento de K_p .

- (f) Mantenha $k_p = 2,00V/rad$ e incremente o ganho derivativo k_d por passos de 0,01. Veja as mudanças ocorridas no comportamento da posição medida em relação a referência de entrada. O que acontece?

Com o aumento do ganho derivativo o comportamento oscilatório é reduzido assim como o erro em regime permanente.

5. Controle PD de acordo com especificações

- (a) Para as especificações de $\zeta = 0,60$ e $\omega_n = 25$ rad/s calcule o overshoot M_p em % e o tempo de acomodação t_a em segundos.

$$M_p = e^{\frac{-\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \quad t_a = \frac{4}{\zeta\omega_n} \quad (6)$$

$M_p = 9,48 \%$

$t_a = 0,2667$ s

- (b) Calcule o ganho proporcional k_p e o ganho derivativo k_d utilizando as equações (4) e (5). Utilizar τ e K com os valores calculados no Laboratório 3.

$K_p = 2.84$ e $K_d = 0,1043$.

Foram utilizados $\tau = 0,142$ s e $K = 31,25$

- (c) Inserir os ganhos calculados e executar o programa novamente. Realize a medição do tempo de acomodação e do overshoot. As especificações foram satisfeitas para uma resposta ao degrau?

O overshoot ficou dentro do especificado.

O tempo de acomodação ficou levemente menor do que o desejado (mais rápido)

- (d) Que efeito a mudança da especificação ζ tem sobre os ganhos? E como essa alteração impacta na resposta da posição medida?

O aumento de ζ aumenta k_d .

A resposta fica mais amortecida: menos overshoot, menor oscilação. Porém, deixa o sistema mais lento.

- (e) Que efeito a mudança da especificação ω_n tem sobre os ganhos? E como essa alteração impacta na resposta da posição medida?

Aumentar ω_n também aumenta ambos os ganhos.

Faz a resposta ficar mais rápida (menor tempo de acomodação).

Mas pode causar overshoot se ζ não for ajustado

6. Análise Resposta para um distúrbio.

- (a) Em *Signal Generator* ajustar

- Amplitude = 0,00 rad
- Frequency = 0,20 Hz

- (b) Ajustar os parâmetros de controle para:

- $k_p = 2,00$ V/rad
- $k_i = 0,00$ V/rad
- $k_d = 0,02$ V.s/rad

- (c) Alterar o *Manual Switch* para que o distúrbio de tensão na entrada seja aplicado. Examine o efeito do distúrbio sobre a posição medida e explique o que acontece?

Como o integrador está zerado, o a posição é afetada pelo distúrbio, se deslocando permanentemente do valor de referência.

- (d) Ajustar os parâmetros de controle para:

- $k_p = 2,00$ V/rad
- $k_i = 2,00$ V/rad
- $k_d = 0,02$ V.s/rad

- (e) Rode o programa novamente, examine o efeito do distúrbio sobre a posição medida e explique a diferença da resposta do distúrbio com a ação integral. **A ação integral compensa o distúrbio e força a saída a retornar ao valor de referência, eliminando o erro permanente.**
-
-
-

Atividades Complementares

O relatório deve ser entregue APENAS em formato PDF até **7 dias** após a aula prática conforme tarefa cadastrada no SIGAA. O guia deve ser entregue com os itens preenchidos. As atividades complementares devem ter o enunciado, desenvolvimento e conclusões também anexados ao guia. Não há necessidade de capa e afins, apenas identificação de nome e número de matrícula da dupla.

1. Para as especificações $M_p = 10\%$ e $t_a = 0,75 [s]$, calcule os ganhos de um controlador PD para o controle de posição do motor DC. Utilize o programa `position_control_motor_DC.mdl` para fazer as simulações e verificar se as condições de projeto foram atendidas para uma resposta ao degrau. Apresente todos os cálculos via *script* e as imagens da resposta do sistema e do sinal de controle de atuação.