

***DISCIPLINA DE
LABORATÓRIOS INTEGRADOS III***

**CONTROLO DA VELOCIDADE
DE UM
MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA
CONTROLADORES PID E SEUS VARIANTES**

Objectivo : Pretende-se que o aluno: **a)** seja capaz de modelizar e analisar o comportamento de sistemas dinâmicos; **b)** avaliar até que ponto um sistema obedece às especificações impostas para o desempenho e **c)** capaz de escolher, fazer o projecto e sintonizar controladores PID, e seus variantes, para que o sistema dinâmico obedeça às especificações.

Ferramenta de trabalho : MATLAB e Simulink.

Nota :

1. Aconselha-se a consulta dos apontamentos e dos exercícios de Controlo Automático e cap. 10 do Livro “Modern Control Engineering”, K. Ogata, ISBN 0-13-261389-1. Também podem encontrar este capítulo na reprografia associado aos textos de apoio à disciplina de Controlo Digital.

2. Devem ter um caderno onde fazem todos os cálculos, a apontam todos os resultados e respostas às perguntas deste guia de trabalho. Quanto mais completo e ordenado estiver o vosso caderno mais fácil será a vossa avaliação!!

Duração prevista para o trabalho : 5 aulas.

Avaliação: Na última aula entregam o caderno que será posteriormente devolvido.
Teste no final numa data a combinar.

Controlo da velocidade de um motor de corrente contínua

Um dos actuadores mais simples e mais usados em sistemas de controlo é o motor de corrente contínua. Este providencia movimento de rotação e quando acoplado a rodas, tambores ou cabos pode também provocar movimento de translacção.



Fig 1. - Motor de corrente contínua

O circuito eléctrico da armadura e o rotor estão ilustrados na Fig.2.

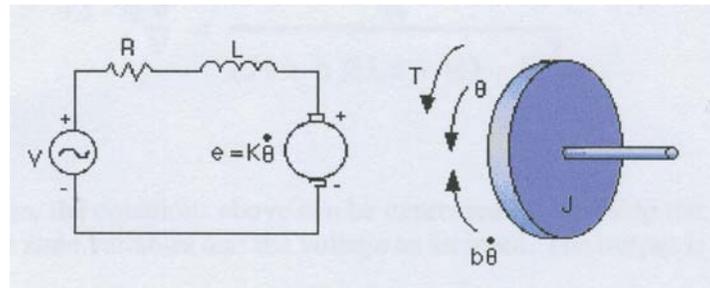


Fig 2. - Armadura e rotor de um motor de corrente contínua. As características físicas deste motor são as seguintes: Momento de inercia do rotor (J) = 0.01 $\text{Kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$. Coeficiente de amortecimento do sistema mecânico (b) = 0.1 $\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$. Constante da força electromotriz ($K = K_e = K_t$) = 0.01 Nm/Amp . Resistência eléctrica (R) = 1 ohm. Indutância eléctrica (L) = 0.5 H. V é a tensão de alimentação. θ É a posição do rotor.

As especificações para o desempenho deste motor são as seguintes:

- Pretende-se que o motor tenha uma velocidade de rotação de 1 rad/s quando a tensão de alimentação tem 1 Volt.
- O motor deve ser capaz de acelerar desde o estado de repouso até à velocidade de rotação desejada em menos de 2 segundos.
- O “overshoot” máximo tolerável para a velocidade rotação é 5%, pois uma velocidade rotação superior pode danificar o equipamento.
- O erro máximo tolerável em regime estacionário para a velocidade de rotação é de 1%.

Modelização do sistema dinâmico e análise do comportamento em malha aberta:

- 1.1 Usando as leis de Newton para o movimento de rotação e as leis de Kirchoff obtenha as equações que modelizam o sistema no domínio do tempo.
- 1.2 Obtenha a função de transferência que relaciona a velocidade de rotação do rotor com a tensão de alimentação. Que deve assumir em relação às condições iniciais?
- 1.3 Analise analiticamente e através de simulação a evolução da velocidade do veículo desde a situação de repouso?
 - 1.3.1 Faça os cálculos necessários para analisar o comportamento do sistema?
 - 1.3.2 Usando o Simulink simule o sistema e faça as medições necessárias.

- 1.3.3 Compare e comente os resultados obtidos nas duas alíneas anteriores.
- 1.3.4 Estamos perante um problema de controlo? i.e. o desempenho do motor obedece às especificações? Justifique.

Controlo em Malha Fechada: Controladores P, PI e PID:

- 1.4 Para melhorar o desempenho pode-se usar um sistema de controlo com realimentação unitária. Identifique os vários blocos do sistema de controlo e desenhe o respectivo diagrama de blocos.
- 1.5 Admita que para implementar o sistema de controlo dispõe de três tipos de controladores: Controlador Proporcional (C-P), Controlador Proporcional-Integrativo (C-PI) e Controlador Proporcional-Derivativo-Integrativo (C-PID). O passo seguinte consiste obviamente em estudar a influência destes três controladores no desempenho do sistema e escolher o melhor.
- 1.5.1 Um Controlador Proporcional (P) tem a função de transferência:

$$G_P(s) = G_{\text{proporcional}}(s) = K_P$$

- 1.5.1.1 Calcule analiticamente como é que o ganho K_P afecta os três critérios de desempenho (i.e. tempo de subida, “overshoot” e erro em regime estacionário).
- 1.5.1.2 Faça o traçado do lugar das raízes.
- 1.5.1.3 Usando o Simulink analise como é que o ganho K_P afecta os três critérios de desempenho (i.e. tempo de subida, “overshoot” e erro em regime estacionário).
- 1.5.1.4 Compare e comente os resultados obtidos em 1.5.1.1 e 1.5.1.3.
- 1.5.1.5 Qual o valor do ganho que permite ao sistema apresentar o desempenho desejado?
- a) Para este valor do ganho como evolui a variável de comando ao longo do tempo?
- b) O valor encontrado é realista? Justifique.
- 1.5.1.6 Sintonize agora este controlador usando a regra de Ziegler-Nichols em malha aberta. Que valor encontra para K_P ? Comente o valor obtido. Se não conseguir aplicar o método justifique.
- 1.5.1.7 Sintonize agora este controlador usando a regra de Ziegler-Nichols em malha fechada. Que valor encontra para K_P ? Comente o valor obtido. Se não conseguir aplicar o método justifique.
- 1.5.1.8 Compare os valores obtidos nas últimas três alíneas.
- 1.5.2 Um Controlador Proporcional-Integrativo (PI) tem a seguinte função de transferência (ideal):

$$\begin{aligned}
 G_{PI}(s) &= G_{\text{proporcional}}(s) + G_{\text{integral}}(s) = \\
 &= K_p + \frac{K_I}{s} = \\
 &= \frac{K_p s + K_I}{s}
 \end{aligned}$$

- 1.5.2.1 Usando o Simulink analise como é que os ganhos K_p e K_I afectam os três critérios de desempenho (i.e. tempo de subida, “overshoot” e erro em regime estacionário).
- 1.5.2.2 Quais os valores dos ganhos, K_p e K_I , que permitem ao sistema apresentar o desempenho desejado?
- Para estes valores do ganho como evolui a variável de comando ao longo do tempo?
 - Os valores encontrados são realistas? Justifique.
- 1.5.2.3 Sintonize agora este controlador usando a regra de Ziegler-Nichols em malha aberta. Que valores encontra para K_p e K_I ? Comente os valores obtidos. Se não conseguir aplicar o método justifique.
- 1.5.2.4 Sintonize agora este controlador usando a regra de Ziegler-Nichols em malha fechada. Que valores encontra para K_p e K_I ? Comente os valores obtidos. Se não conseguir aplicar o método justifique.
- 1.5.2.5 Compare os valores obtidos nas ultimas três alíneas.
- 1.5.3 O Controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID) tem a seguinte função de transferência (ideal):

$$\begin{aligned}
 G_{PID}(s) &= G_{\text{proporcional}}(s) + G_{\text{integral}}(s) + G_{\text{derivativa}}(s) = \\
 &= K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s = \\
 &= \frac{K_D s^2 + K_p s + K_I}{s}
 \end{aligned}$$

- 1.5.3.1 Usando o Simulink analise como é que os ganhos K_p e K_I e K_D afectam os três critérios de desempenho (i.e. tempo de subida, “overshoot” e erro em regime estacionário).
- 1.5.3.2 Quais os valores dos ganhos, K_p e K_I e K_D , que permitem ao sistema apresentar o desempenho desejado?
- Para estes valores do ganho como evolui a variável de comando ao longo do tempo?
 - Os valores encontrados são realistas? Justifique.

-
- 1.5.3.3 Sintonize agora este controlador usando a regra de Ziegler-Nichols em malha aberta. Que valores encontra para K_P e K_I e K_D ? Comente os valores obtidos. Se não conseguir aplicar o método justifique.
- 1.5.3.4
- 1.5.3.5 Sintonize agora este controlador usando a regra de Ziegler-Nichols em malha fechada. Que valores encontra para K_P e K_I e K_D ? Comente os valores obtidos. Se não conseguir aplicar o método justifique.
- 1.5.3.6 Compare os valores obtidos nas últimas três alíneas.
- 1.5.4 Qual destes três controladores (i.e. P, PI ou PID) escolheria para controlar a a velocidade de rotação do motor DC? Justifique.
-