

ES710 - Controle de Sistemas Mecânicos

Projeto de Aplicação Prática - Controle de um Sistema Ponte Rolante

Profa Grace S. Deaecto, Helder R. Daiha

- Cada projeto deve ser desenvolvido em dupla.
- **É proibido consultar os colegas de grupos diferentes**, mas é permitida a consulta a qualquer referência bibliográfica desde que mencionada a fonte.

Um equipamento muito presente na indústria é a ponte rolante. Esta é utilizada para elevação e deslocamento de cargas classicamente grandes e pesadas que não podem ser movidas facilmente de forma manual. Ela é composta por um trilho, carro e talha. Sendo assim, pode ser modelada como um sistema carro-pêndulo apresentado na Figura 1.

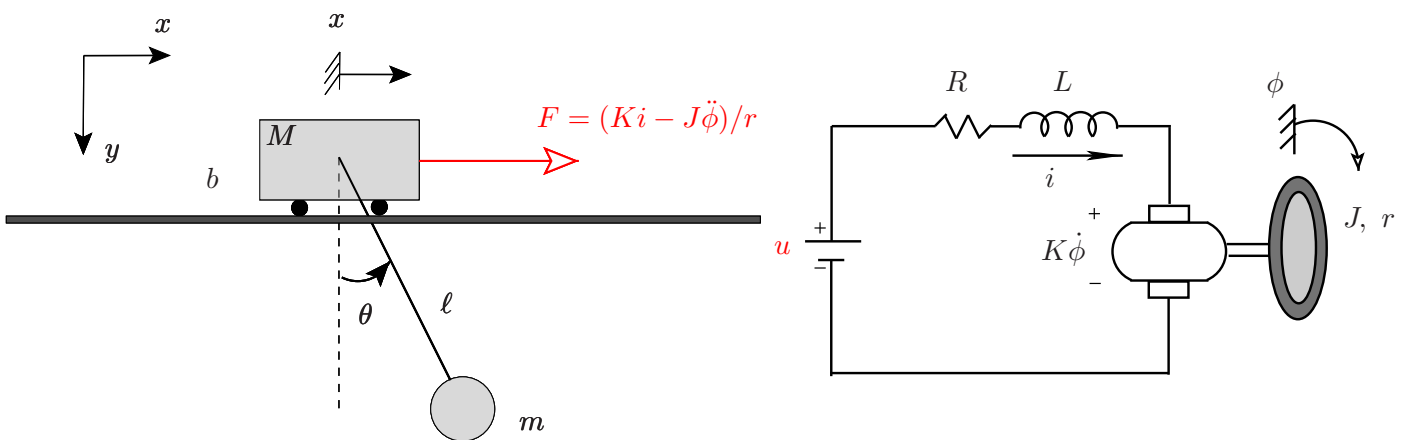


Figura 1: Carro-pêndulo

Este sistema consiste de um pêndulo, composto por uma haste de massa desprezível de comprimento ℓ e uma esfera de massa m , acoplado a um carro de massa M . Como pode ser observado na Figura 1, a medida que o carro desloca-se em x sobre a ação de uma força horizontal F , o pêndulo realiza um deslocamento angular θ . Considere que o atrito viscoso entre o ar e o carro é denotado por b . Nosso objetivo é realizar o projeto de um controlador $C(s)$ de forma a levar o carro para uma posição de referência $r(t) = 10$ [m]. A ideia é sintetizar a força $F(t)$ que é transferida ao carro a partir da aplicação de uma tensão $u(t)$ no motor, processando-se o erro entre $r(t)$ e $x(t)$. Considere que não existe escorregamento entre o motor e o trilho e que a indutância do motor é desprezível $L \approx 0$.

1. Determine o modelo matemático não linear em função de $x(t)$ e $\theta(t)$ e da entrada $u(t)$ utilizando o referencial proposto na Figura 1.

2. Determine a representação em espaço de estado do modelo não linear considerando que a saída é $y(t) = x(t)$.
3. Determine o modelo matemático linearizado em torno do ponto de equilíbrio.
4. Escreva o modelo matemático linearizado na representação em espaço de estado

$$\dot{\xi}(t) = A\xi(t) + Bu(t), \xi(0) = 0 \quad (1)$$

$$y(t) = C\xi(t) + Du(t) \quad (2)$$

considerando $\xi = [x \ \dot{x} \ \theta \ \dot{\theta}]'$ e $y(t) = x(t)$.

5. Considere os dados numéricos apresentados na Tabela 1. Utilizando a estrutura de controle em malha fechada da Figura 2 a seguir

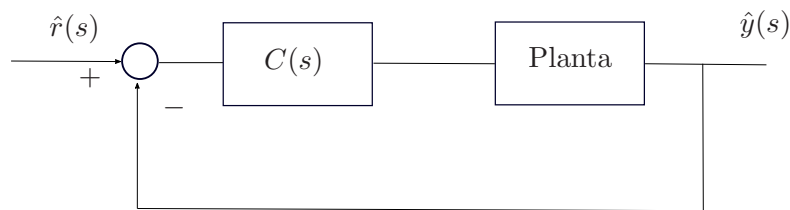


Figura 2: Estrutura de controle em malha fechada

projete um controlador $C(s)$ para o sistema linearizado de forma a satisfazer os seguintes requisitos de desempenho:

- Erro nulo para entrada degrau;
- Tempo de estabilização menor do que 4,5 segundos;
- Fator de amortecimento $\xi \geq \sqrt{2}/2$;
- Esforço de controle $|u| \leq 25$ [V].

Utilize o método do lugar das raízes. Apresente a resposta no tempo de $y(t)$ e do esforço de controle $u(t)$.

Parâmetro	Valor	Unidade
$M + J/(r^2)$	1,0731	[kg]
m	0,209	[kg]
ℓ	0,3302	[m]
$b + K^2/(r^2 R)$	5,4	[N.s/(m ²)]
$K/(rR)$	1,0717	[N/V]

Tabela 1: Valores dos parâmetros do sistema em unidades SI.

6. Aplique o controlador $C(s)$ no sistema não linear obtido no item 5 e compare as respostas com as obtidas pelo modelo linear. Em ambos os casos (linear e não linear), apresente x , \dot{x} , θ e $\dot{\theta}$.
7. Utilizando o controlador projetado, apresente o controlador digital equivalente para todos os seguintes métodos: Segurador de Ordem Zero $C_S(z)$, Tustin $C_T(z)$ e Mapeamento de Polos e Zeros $C_M(z)$. Analise o desempenho e apresente qual o melhor controlador digital, justifique sua conclusão. Considere $T = \{0,2; 0,5; 1,0\}$.
8. Para $T = 1$ realize o projeto direto do controlador digital de forma a fornecer um desempenho melhor do que o controlador digital apresentado no item anterior.
9. Aplique o melhor controlador digital do item #7 para $T = 0.2$ [s] e do item #8 para $T = 1$ [s] no sistema não-linear e compare as respostas com as obtidas pelo modelo linear. Forneça os sinais x , \dot{x} , θ e $\dot{\theta}$.

Entrega: A entrega deverá ser feita pelo EA em portfólio de grupo nomeado pelos RAs dos participantes em ordem crescente (ex: 000000_010000) até o dia 29/11 às 23h59. O arquivo a ser entregue deve ser um *script* `main.m` com os programas utilizados bem como os códigos no Simulink. Além disso apresente um relatório descrevendo os passos realizados durante o projeto contendo também o lugar das raízes da equação característica do sistema em malha fechada.