

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA

Controle para Sistemas Computacionais – CMC-12

Lista 6 – Estabilidade, Erro em Regime, Linearização e Projeto com Requisitos no Domínio do Tempo

Professor: Marcos Ricardo Omena de Albuquerque Maximo

10 de abril de 2025

Observação: A entrega da solução dessa lista consiste de submissão de arquivos no Google Classroom. Compacte todos os arquivos a serem submetidos em um único **.zip** (use obrigatoriamente **.zip**, e **não** outra tecnologia de compactação de arquivos) e anexe esse **.zip** no Google Classroom. O arquivo com os passos das soluções de todas as questões (rascunho) deve ser entregue num arquivo chamado **rascunho.pdf** (**não** usar outro formato além de **.pdf**). Para o **.zip**, use o padrão de nome **<login_ga>_listaX.zip**. Por exemplo, se seu login é **marcos.maximo** e você está entregando a lista 1, o nome do arquivo deve ser **marcos.maximo_lista1.zip**. **Não** crie subpastas, deixe todos os arquivos na “raiz” do **.zip**.

Questão 1. Considere uma malha de controle com ganho proporcional K , conforme mostrada na Figura 1. Através do critério de Routh-Hurwitz, determine a faixa de valores de K para que o sistema seja estável em malha fechada.

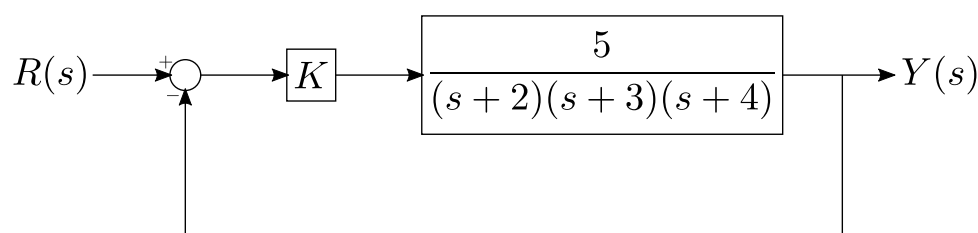


Figura 1: Malha de controle da questão 1.

Dê sua resposta como um vetor de MATLAB **[a,b]**, que possui os limites inferior e superior do intervalo de validade de K (i.e. $K \in (a,b)$). Use o arquivo **questao1.m**.

Questão 2. Seja um sistema de *cruise control* com controlador PI, como mostrado na Figura 2, em que m é a massa do carro, b é um coeficiente de amortecimento, K_p é um ganho proporcional e K_i é um ganho integrativo. Calcule o erro em regime provocado nesse sistema por uma perturbação rampa

$$D(s) = \frac{1}{s^2}. \quad (1)$$

Dê sua resposta em função dos parâmetros do sistema: m , b , K_p e K_i . Para isso, use o arquivo `questao2.m`.

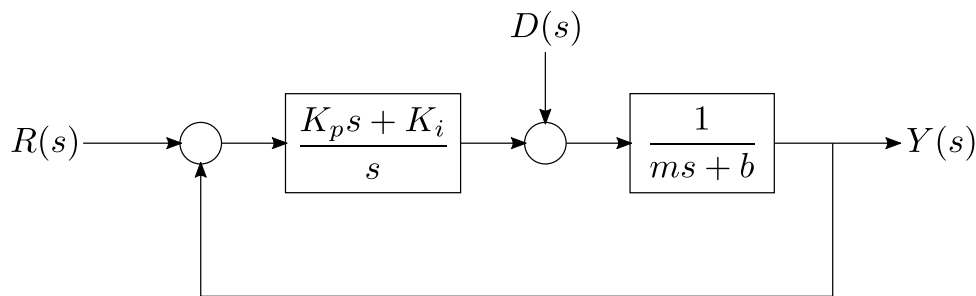


Figura 2: Sistema de *cruise control* com controlador PI com perturbação.

Questão 3. O diagrama mostrado na Figura 3 mostra um sistema de levitação magnética, em que uma força magnética gerada no eletroímã devido à circulação de corrente produzida por uma fonte de corrente. Supondo a corrente seja controlável, é possível controlar a altura da esfera com um sistema de controle. Esse sistema é regido pelas seguintes equações:

$$\begin{cases} \dot{y} = v, \\ m\dot{v} = f - bv - mg, \\ f = K_f \frac{u^2}{(y_{max} - y)^2}, \end{cases} \quad (2)$$

em que y é a altura da esfera, y_{max} é a máxima altura da esfera, v é a velocidade da esfera, m é a massa da esfera, b é um coeficiente de amortecimento, g é a aceleração da gravidade, f é a força gerada pelo eletroímã, K_f é uma constante e u é a corrente (entrada do sistema). Linearize o modelo não-linear que descreve o sistema e o escreva no formato

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \delta y \\ \delta v \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} \delta y \\ \delta v \end{bmatrix} + \mathbf{B} \delta u, \quad (3)$$

em que

$$\begin{cases} \delta y = y - y_0, \\ \delta v = v - v_0, \\ \delta u = u - u_0, \end{cases} \quad (4)$$

em que (y_0, v_0, u_0) é um ponto de equilíbrio dado por

$$\begin{cases} v_0 = 0, \\ u_0 = \sqrt{\frac{mg}{K_f}} (y_{max} - y_0). \end{cases} \quad (5)$$

Dê sua resposta através do arquivo `questao3.m`.

Questão 4. Seja uma função de transferência em malha fechada dada por

$$G_f(s) = \frac{600}{(s + 10)(s + 20)(s^2 + 2s + 4)}, \quad (6)$$

Usando aproximação por polos dominantes e as fórmulas analíticas apresentadas para especificações no domínio do tempo, determine aproximadamente os valores de:

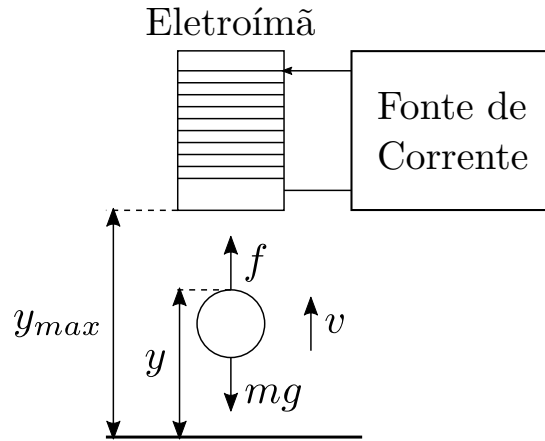


Figura 3: Levitador magnético.

- Erro em regime para entrada degrau e_∞ .
- Tempo de subida de 10% a 90% $t_r|_{10\%}^{90\%}$.
- Tempo de acomodação de 2% $t_s|_{2\%}$.

Dê sua resposta através do arquivo **questao4.m**.

Questão 5. Seja um circuito RC como mostrado na Figura 4. Considerando que a tensão da fonte V é controlável, projete um sistema de controle com controlador PI e pré-filtro para que o sistema em malha fechada tenha tempo de subida de 0 a 100% $t_r|_0^{100\%} = 0,01 \text{ s}$ e sobressinal $M_p = 0,046$. Assuma $R = 10 \text{ k}\Omega$ e $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$. Dê como resposta os ganhos K_p e K_i através do arquivo **questao5.m**.

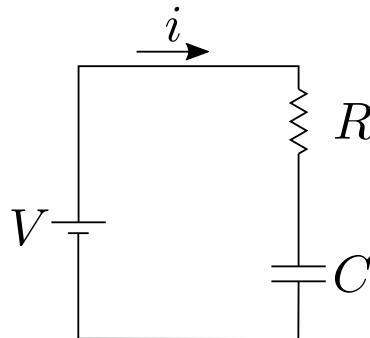


Figura 4: Circuito RC.