

# 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

19 de maio de 2020

**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.

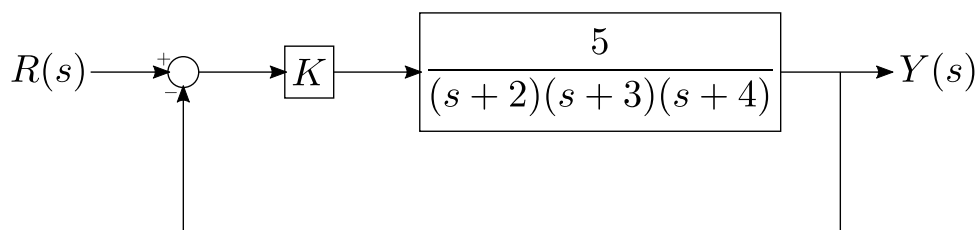


Figura 1: Malha de controle da questão 1.

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`.

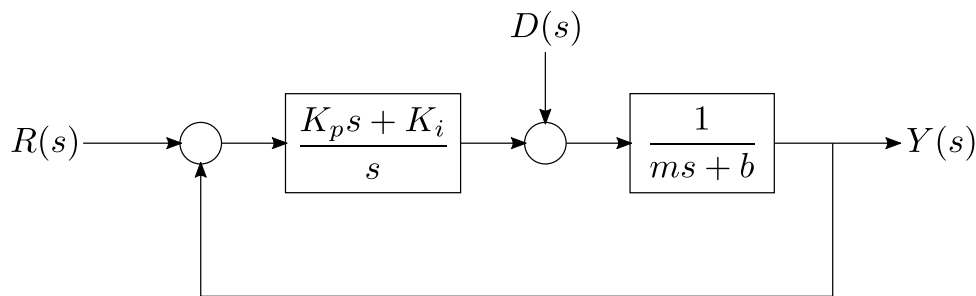


Figura 2: Sistema de *cruise control* com controlador PI com perturbação.

**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

$$G_f(s) = \frac{1}{(s + 10)(s + 20)(s^2 + 2s + 4)}, \quad (6)$$

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

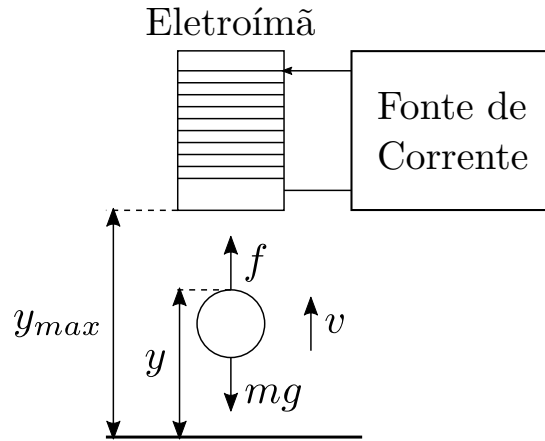


Figura 3: Levitador magnético.

- Erro em regime para entrada degrau  $e_\infty$ .
- 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%  $t_r|_0^{100\%} = 10 \text{ s}$  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`.

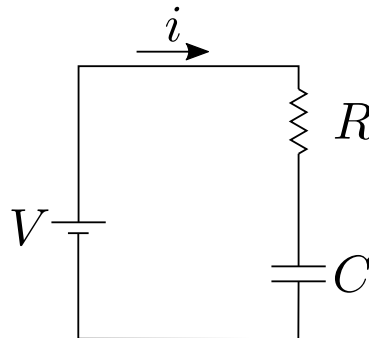


Figura 4: Circuito RC.