

# Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA

## Controle para Sistemas Computacionais – CMC-12

### Lista 11 – Projeto no Domínio do Tempo e Controle por Computador

**Professor:** Marcos Ricardo Omena de Albuquerque Maximo

29 de maio de 2022

**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 um sistema de controle em malha fechada com realimentação unitária e ganho  $K > 0$  para controlar a planta

$$G(s) = \frac{1}{s(s+1)(s+2)}. \quad (1)$$

Pede-se determinar **analiticamente** a região  $[a, b]$  tal que se  $K \in [a, b]$ , então os seguintes requisitos são atendidos:

- Erro em regime para entrada rampa com inclinação unitária  $e_{\infty, rampa} \leq 1$ .
- Margem de ganho  $GM \geq 6 \text{ dB}$ .

Dê sua resposta através do arquivo **questao1.m**.

**Questão 2.** Seja

$$G(s) = \frac{6}{(s+2)(s+3)}. \quad (2)$$

Projetou-se um controlador em malha fechada com realimentação unitária e ganho  $K = 9$  para esse sistema. Entretanto, após o projeto, verificou-se que o erro em regime para entrada degrau unitário estava excessivo. Assim, pede-se projetar **analiticamente** uma compensação do tipo *lag* a ser adicionada em série ao ganho  $K$  para reduzir o erro em regime pela metade. Posicione o zero do *lag* em  $s = -\omega_{CP}/10$ , em que  $\omega_{CP}$  é a frequência de cruzamento antes da introdução da compensação *lag*. Dê sua resposta através do arquivo **questao2.m**.

**Questão 3.** Um circuito RL tem dinâmica

$$G(s) = \frac{1}{Ls + R}. \quad (3)$$

Considere  $L = 0,1H$  e  $R = 1 \Omega$ . Então, projete **analiticamente** um controlador em malha fechada com função de transferência

$$C(s) = K \frac{s - z}{s(s - p)}, \quad (4)$$

de modo a atender aos seguintes requisitos:

- Erro em regime para entrada rampa com inclinação unitária  $e_{\infty, rampa} \leq 0,05$ .
- Banda passante  $\omega_b \geq 15 \text{ rad/s}$ .
- Margem de fase  $PM \geq 50^\circ$ .

Perceba que a solução dessa questão não é único. Qualquer solução que atenda aos requisitos será aceita. É permitido o uso de reiteraões de projeto para ajuste final da margem de fase. Dê sua resposta através do arquivo **questao3.m**.

**Questão 4.** Projetou-se um controlador PD para o controle de posição de um carro autônomo, cuja dinâmica é dada por

$$G(s) = \frac{1}{s(ms + b)}, \quad (5)$$

em que  $m = 1000 \text{ kg}$  é a massa do carro e  $b = 50 \text{ Ns/m}$  é a constante de amortecimento. Os ganhos do controlador PD foram projetados para alocar os polos de malha fechada em

$$p_{1,2} = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1 - \xi^2}, \quad (6)$$

com  $\omega_n = 1 \text{ Hz}$  e  $\xi = 0,7$ , considerando apenas a dinâmica contínua apresentada em (5). Entretanto, quando o sistema de controle foi implementado no computador embarcado do carro, verificou-se baixo amortecimento. Para implementação em computador, usou-se uma taxa de amostragem de apenas  $10 \text{ Hz}$  por conta da necessidade de processamento da visão computacional, baseada em uma rede neural profunda, a qual requer  $50 \text{ ms}$  para processamento de uma imagem. Considerando que os demais atrasos na malha de controle são negligenciáveis, calcule **analiticamente** a perda de margem de fase ocasionada pelos atrasos na malha de controle, incluindo o atraso introduzido pela discretização. Dê sua resposta através do arquivo **questao4.m**.

**Questão 5.** Em um sistema de controle, projetou-se um filtro como um sistema de segunda ordem padrão, i.e. com a função de transferência

$$F_m(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}. \quad (7)$$

Assim, através do método de Tustin, encontre **analiticamente** uma lei de controle em tempo discreto para cálculo de  $u[k]$ , de modo a permitir a implementação desse filtro em computador. Dê sua resposta através do arquivo **questao5.m**.