

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA

Controle para Sistemas Computacionais – CMC-12

Lista 10 – Margens de Estabilidade, Atraso, Compensador Lead-Lag e Filtragem

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. Desenvolva uma função em MATLAB que recebe a resposta em frequência da malha aberta de um determinado sistema e retorna as margens de ganho e de fase. Você deve dar sua resposta através da função **[GM, PM, wcg, wcp] = questao1(mag, fase, w)**. **mag** e **fase** são vetores (coluna) com $|G(j\omega)|_{dB}$ (dB) e $\angle G(j\omega)$ (°), respectivamente, calculados nas frequências dadas no vetor (coluna) **w** (rad/s). **GM** (dB) e **PM** (°) são as margens de ganho e de fase, respectivamente, as quais são medidas em **wcg** (rad/s) e **wcp** (rad/s), respectivamente. Considere que se trata de um sistema simples em que uma análise de margens através do diagrama de Bode é adequada. Também assuma que $|G(j\omega)|$ cruza 0 dB uma única vez e que $\angle G(j\omega)$ cruza -180° uma única vez. **Dica:** para obter boa precisão na determinação das margens e das frequências de cruzamento, use interpolação através da função **interp1** do MATLAB.

Questão 2. Projetar um controlador P+V para o sistema de controle de posição de um carro autônomo, conforme diagrama mostrado na Figura 1, em que $m = 1000\text{ kg}$ e $b = 50\text{ Ns/m}$. Os requisitos para essa malha de controle são banda passante ω_b de 1 Hz e margem de fase **PM** de 60° na malha de posição. **Dica:** como o sistema em malha fechada tem dinâmica de segunda ordem padrão, utilize fórmulas exatas, i.e. sem aproximações, para converter os requisitos no domínio da frequência para parâmetros de um sistema de segunda ordem padrão. Dê sua resposta através do arquivo **questao2.m**.

Questão 3. Seja um sistema com realimentação negativa e ganho $K > 0$. Considere o diagrama de Nichols-Black de $KG(s)$ apresentado na Figura 2. Obtenha a partir do

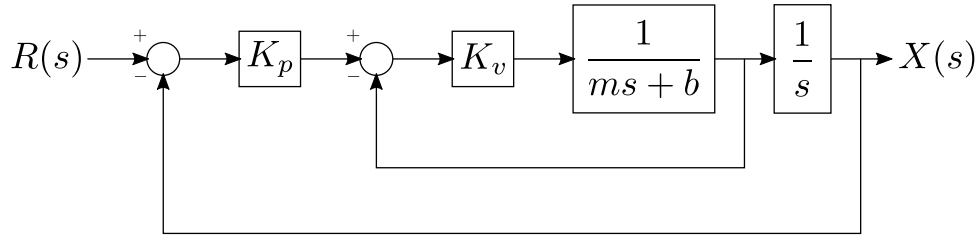


Figura 1: Sistema de controle de posição de um carro autônomo.

diagrama as margens de ganho e de fase desse sistema. Dê sua resposta através do arquivo `questao3.m`. **Observação:** como as margens estão sendo determinadas graficamente, não é esperado muita precisão, logo precisões de $2,5 \text{ dB}$ e 5° serão consideradas suficientes para as margens de ganho e de fase, respectivamente.

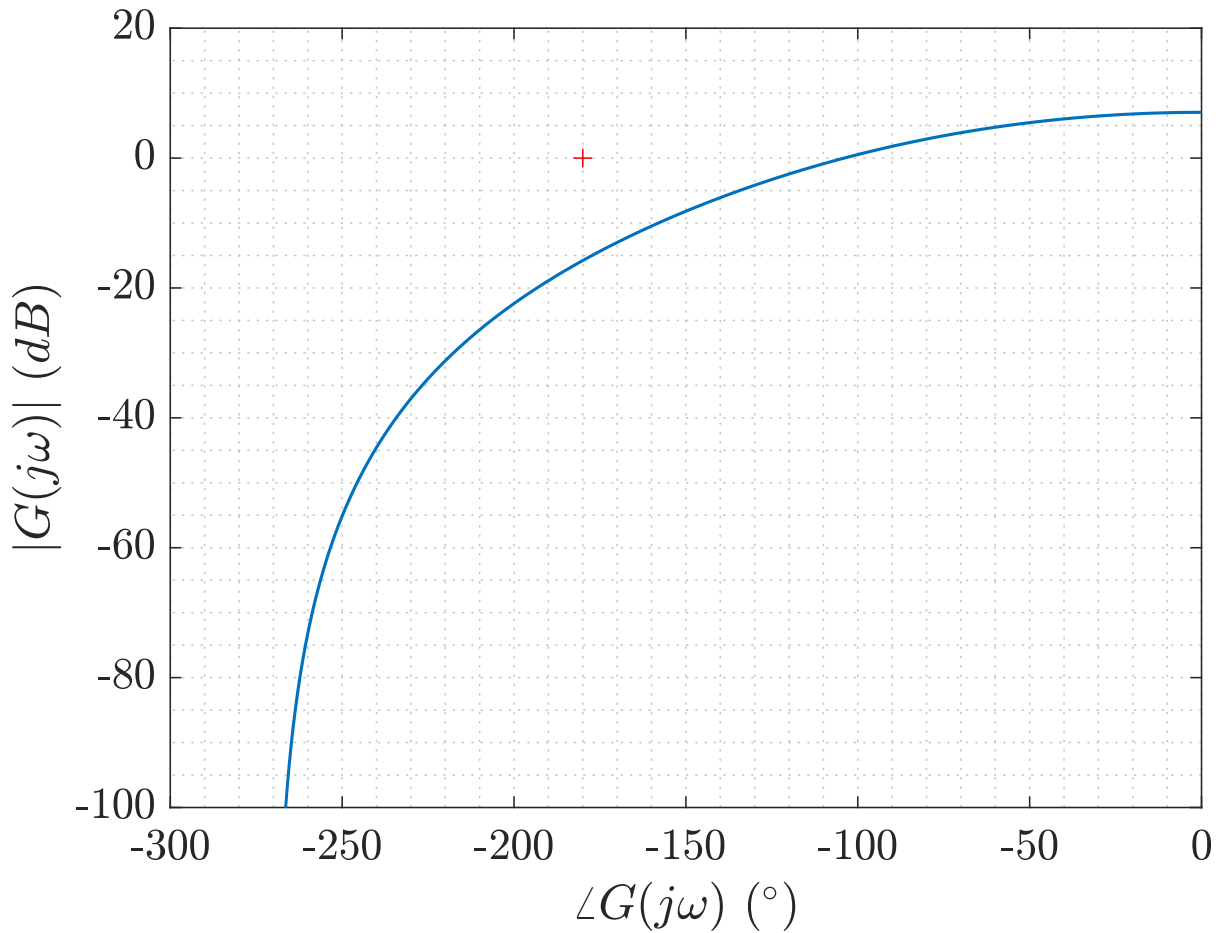


Figura 2: Carta de Nichols-Black da Questão 3.

Questão 4. Seja a dinâmica do robô seguidor de linha

$$G(s) = \frac{v}{s^2}, \quad (1)$$

em que $v = 1 \text{ m/s}$ é a velocidade linear do robô. Considere que o sistema de controle foi implementado com um compensador *lead* com função de transferência

$$C(s) = 6 \left(\frac{1,5s + 1}{0,1s + 1} \right). \quad (2)$$

Considere que inicialmente usava-se como sensor uma câmera com atraso τ_1 de 100 ms , que foi trocada por outra de melhor qualidade com atraso τ_2 de 30 ms . Um diagrama de blocos para a situação apresentada é mostrado na Figura 3. Determine **analiticamente** a frequência de cruzamento ω_{CP} e então calcule o aumento de margem de fase (em graus) obtido com a troca do sensor. Pode usar a função `roots` do MATLAB para encontrar as raízes de um polinômio. Dê sua resposta através da função `questao4.m`.

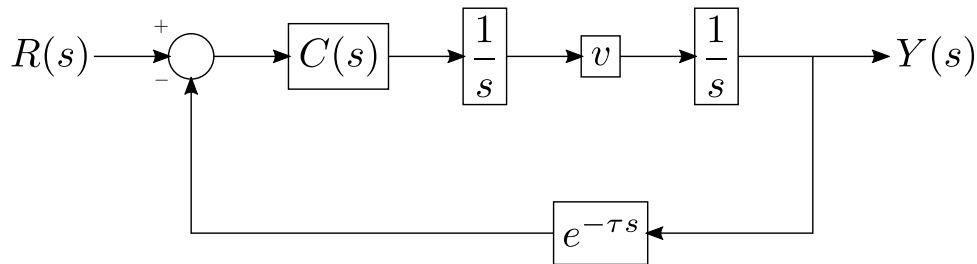


Figura 3: Diagrama de blocos do sistema de controle da Questão 4.

Questão 5. Considere um sistema de controle para a malha de corrente de um motor elétrico, conforme mostra a Figura 4. Nesse sistema, além do compensador $C(s)$, usa-se um pré-filtro $F(s)$ e um filtro de ruído de sensor $F_m(s)$. As funções de transferência usadas são

$$C(s) = \frac{K_p s + K_i}{s}, \quad F(s) = \frac{K_i}{K_p s + K_i}, \quad F_m(s) = \frac{a}{s + a}. \quad (3)$$

Em função de L , R , K_p , K_i e a , determine as funções de transferência

$$G_R(s) = \frac{Y(s)}{R(s)}, \quad G_N(s) = \frac{Y(s)}{N(s)}, \quad G_D(s) = \frac{Y(s)}{D(s)}. \quad (4)$$

Dê sua resposta através do arquivo `questao5.m`.

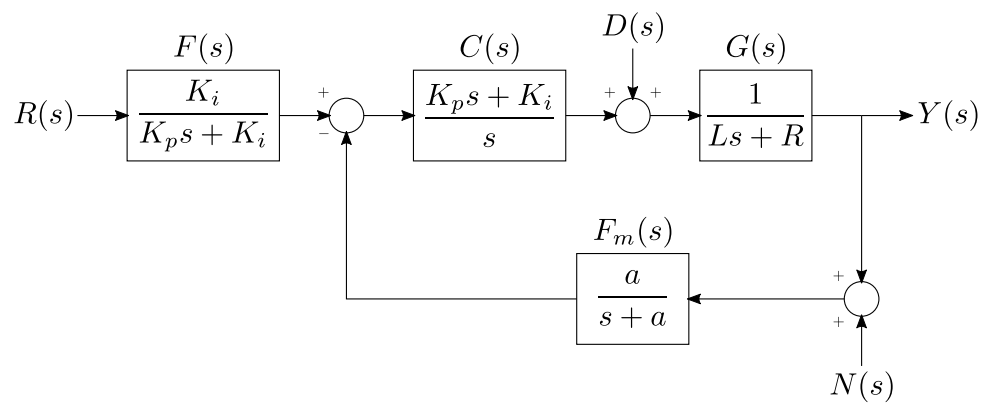


Figura 4: Sistema de controle para malha de corrente de um motor elétrico (Questão 5).