EA721 - Princípios de Controle e Servomecanismos

2o. Semestre de 2003 - 2a. Prova - Prof. Paulo Valente

RA: **Nome:** **Ass.:**

1. A Tabela 1 apresenta a resposta em freqüência de um certo sistema em malha aberta $G_1(s)$. Ao recorrer à Tabela para resolver os itens a seguir, utilize sempre os valores que mais próximos (em termos absolutos) dos valores teoricamente procurados.

a) Determine as margens de ganho e de fase aproximadas do sistema. Indique o procedimento utilizado. O sistema realimentado é estável ? Justifique;

b) Dado que o sistema é do Tipo 1, obtenha uma estimativa para a constante de velocidade k_v. Use o fato de que $k_v \simeq j\omega G_1(j\omega)$ em baixas freqüências;

c) Projete um compensador avanço de tal maneira que a margem de fase do sistema compensado seja igual a 45^o, com margem adicional de 5^o.

2. Um sistema de controle com realimentação unitária tem como planta um duplo integrador:

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

Projete um compensador avanço de tal forma que a margem de fase do sistema compensado seja de 45^o, com margem adicional de 5^o.

3. Considere um sistema de controle com realimentação unitária e funções de malha aberta do compensador e da planta dadas por

$$C(s) = k\left(1 + \frac{a}{s}\right) \quad \text{e} \quad P(s) = \frac{1}{(s+5)(s-4)},$$

respectivamente. A partir das propriedades do Lugar das Raízes, determine a faixa de variação de a para que o sistema em malha fechada seja estável quando $k \to \infty$. Assuma inicialmente que $a < 5$. Construa o Lugar das Raízes do sistema compensado e interprete o resultado.

4. Considere um sistema de controle com realimentação unitária e funções de malha aberta do compensador e da planta dadas por

$$C(s) = k_P + k_D s \quad \text{e} \quad P(s) = \frac{100}{s(s+1)(s+100)},$$

respectivamente. Através do Lugar das Raízes, projete $C(s)$ (isto é, determine k_P e k_D) de tal forma que o sistema em malha fechada apresente um pólo real dominante em $s = -2$.

Tabela 1: Resposta em freqüência de $G_1(s)$ (Questão 1)

ω (rad/s)	$\lvert G_1(j\omega)\rvert_{\text{dB}}$	$\angle G_1(j\omega)_{\text{graus}}$
0.10	25.96	−98.57
0.20	19.78	−107.02
0.30	16.00	−115.23
0.40	13.16	−123.11
0.50	10.80	−130.60
0.60	8.74	−137.66
0.70	6.88	−144.28
0.80	5.16	−150.46
0.90	3.55	−156.21
1.00	2.04	−161.56
1.14	0.00	−168.57
1.41	−3.51	−180.00
2.00	−10.00	−198.43
3.00	−18.64	−217.87
4.00	−25.31	−229.39
5.00	−30.71	−236.88
6.00	−35.22	−242.10
7.00	−39.09	−245.92
8.00	−42.47	−248.83
9.00	−45.47	−251.13
10.00	−48.17	−252.97

5. Obtenha o Diagrama de Nyquist referente à função de malha aberta

$$G(s) = \frac{5}{(s+1)^3},$$

Esboce as curvas $\mathcal{C}_s$ e $\mathcal{C}_G$ nos planos s e $\mathrm{Re}\,G(s)\times\mathrm{Im}\,G(s)$, respectivamente, indicando os mapeamentos de $\mathcal{C}_s$ em $\mathcal{C}_G$. Com base no Critério de Nyquist, o sistema é estável em malha fechada ? Justifique.

6. A função de transferência de malha aberta

$$P(s) = \frac{\Theta(s)}{V(s)} = \frac{0.15}{s(s+1)(s+5)}$$

representa o deslocamento angular θ da junta de um robô devido a uma tensão de entrada v.

a) Esboce o Lugar das Raízes do sistema com compensação proporcional apenas. Indique possíveis pontos de entrada, saída e cruzamento com o eixo imaginário;

b) Qual a quantidade de fase que deve ser adicionada por um compensador avanço para que o sistema em malha fechada (realimentação unitária) apresente pólos em $-1 \pm j$? Indique como ficaria (qualitativamente) o Lugar das Raízes do sistema compensado após a introdução do compensador avanço.

7. O compensador

$$C(s) = \frac{1.45s + 0.35}{s + 0.07}$$

é do tipo avanço ou do tipo atraso ? Justifique. Determine os ganhos de $C(s)$ quando $\omega \to 0$ (DC) e $\omega \to \infty$.

Lugar das Raízes. Considere

$$1 + kG(s) = 1 + k\frac{N(s)}{D(s)} = 0$$

1. Magnitude e fase: $|kG(s)| = 1$, $\angle G(s) = 180^o \times r,\ r = \pm 1, \pm 3, \ldots$.
2. Assíntotas: $\theta = \dfrac{180^o \times r}{n - m},\ r = \pm 1, \pm 3, \ldots$
3. Interseção:

$$\sigma_a = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_i - \sum_{i=1}^{n} z_i}{n - m} \qquad \text{(pólos e zeros de } G(s))$$

4. Pontos de entrada e saída: entre as raízes de

$$D'(s)N(s) - D(s)N'(s) = 0$$

Compensador Avanço

$$C(s) = k_c \alpha \frac{Ts + 1}{\alpha Ts + 1}$$

$$\operatorname{sen} \phi_m = \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha}, \quad \omega_m = \frac{1}{T\sqrt{\alpha}}, \quad \left| \frac{jT\omega + 1}{j\alpha T\omega + 1} \right|_{\omega = \omega_m} = 20 \log \frac{1}{\sqrt{\alpha}}$$

Respostas

1. a) MG=3.51 dB, MF=11.4^o, estável; b) $k_v = 1.98$ s^{-1};
c) $C(s) = 4.31(s + 0.67)/(s + 2.92)$;

2. $C(s) = 7.54(s + 0.60)/(s + 4.55)$;

3. $0 < a < 1$;

4. $C(s) = 1.96(s + 1)$;

5. (Ver Aula 10) $N = Z = 0$, estável;

6. a) Ponto de saída: $s = -0.47$; cruzamento com o eixo imaginário: $s = \pm j\sqrt{5}$;
b) O compensador avanço deve adicionar 59^o;

7. Atraso; $C(j0) = 5$, $C(j\infty) = 1.45$.