

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

CONTROLO

4^a Série

(root-locus, análise e projecto no plano-s)

- As questões assinaladas com * serão abordadas na correspondente aula de apoio.
- Os alunos devem procurar resolver as referidas questões antes das aulas. Nas aulas de apoio, a discussão dos problemas vai ser feita a partir das dúvidas surgidas nas resoluções previamente feitas pelos alunos.
- Para o seu estudo individual sugere-se ainda que os alunos procurem resolver mais problemas que podem ser encontrados nos livros apontados na bibliografia recomendada da cadeira.

* 1. (E.Morgado, Controlo-problemas, 2001) Considere o sistema da Figura 1 que representa um sistema de controlo de posição angular de uma antena utilizando um motor D.C.-controlo de campo.

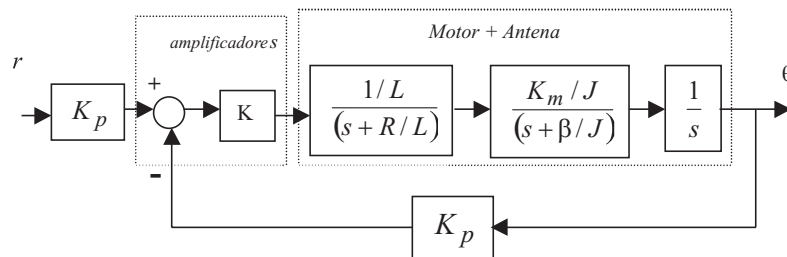


Figure 1:

$$K_p = 2V/rad, R = 3\Omega, L = 0.5H, J = 0.1Kgm^2, \beta = 0.2Nms, K_m = 0.1NmA^{-1}.$$

- a) Determine os valores de K para os quais o sistema é estável.
- b) Esboce o lugar geométrico das raízes da equação característica (“root-locus”) para K positivo, determinando os ângulos e pontos notáveis.
- c) Considere agora retroacção positiva. Esboce o “root-locus” para K positivo.

* 2. (N. S. Nise, “Control Systems Engineering”, capítulo 8, problema 2) Esboce a forma do “root-locus” para cada um dos sistemas com diagrama de polos-zeros apresentado na Figura 2.

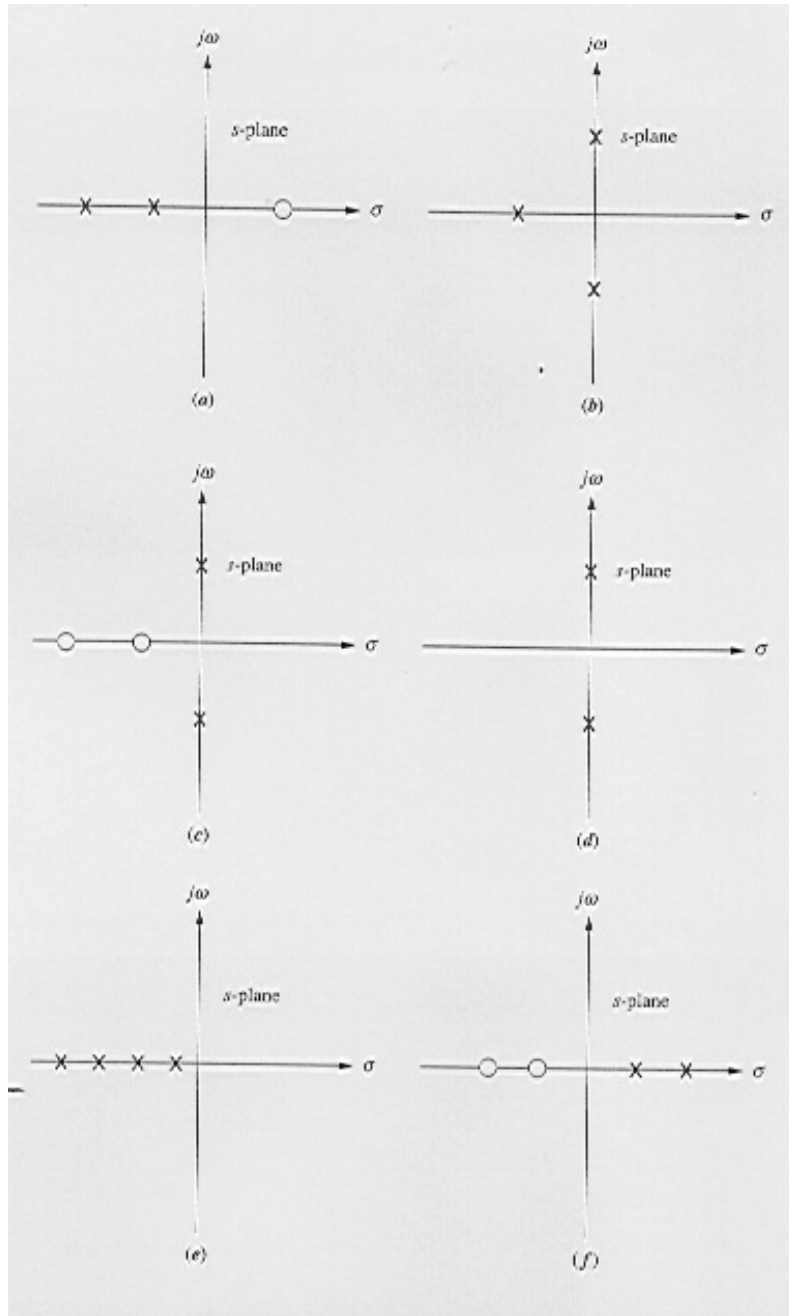


Figure 2:

3. (N. S. Nise, “Control Systems Engineering”, capítulo 8, problema 16) Dado o “root-locus” da Figura 3,

- Determine o valor de ganho que torna o sistema marginalmente estável.
- Determine o valor de ganho para o qual a função de transferência em cadeia fechada tem um polo no eixo real em -10 .

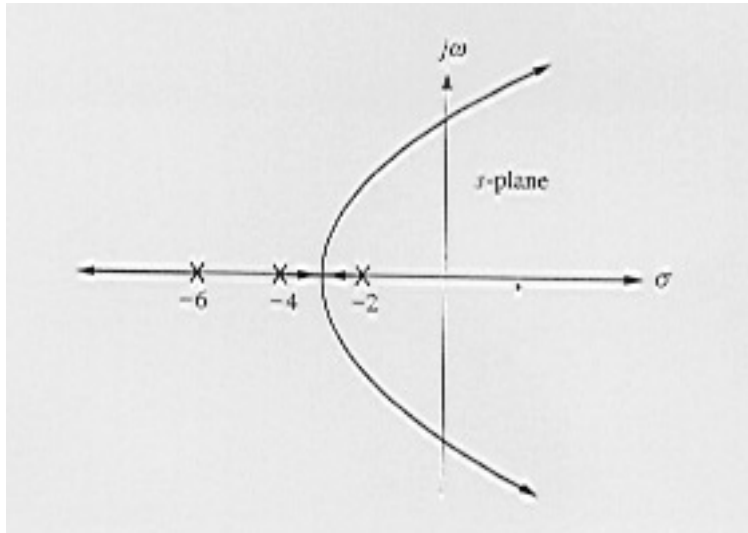


Figure 3:

* 4. (E. Morgado, Controlo-problemas, 1999) Considere o sistema da Figura 4

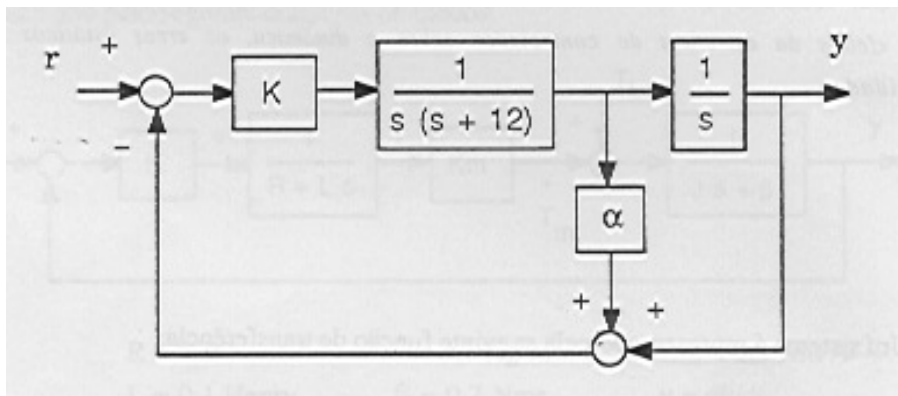


Figure 4:

Para $\alpha = 0$,

- Esboce o “root-locus” em função de K positivo. Conclua sobre a estabilidade do sistema em cadeia fechada para $K > 0$.

Para estabilizar o sistema vamos utilizar o que é habitualmente chamado de “retroação de velocidade”.

Para $\alpha = 0.2$,

- Esboce o “root-locus” em função de K positivo.

Para $\alpha = 1$,

- Esboce o “root-locus” em função de K positivo.

- Determine os valores de K para os quais a função de transferência em cadeia fechada tem um polo duplo. Para esses valores de K indique o valor de todos os polos e zeros da cadeia fechada.

5. (N. S. Nise, “Control Systems Engineering”, capítulo 8, problema 43) Durante a descida, o programa automático de condução do “space shuttle” faz a interface entre o processamento a baixo ritmo dos sinais de comando e o processamento a alto ritmo do controlo de vôo. A sua função é basicamente de suavização. Na Figura 5 representa-se de forma simplificada um sistema suavizador de manobras linearizado para manobras coplanares. $\Theta_{CB}(s)$ é o ângulo proveniente do sistema de comando e $\Theta_{DB}(s)$ é o ângulo desejado enviado para o sistema de controlo de vôo depois de suavizado. Para o sistema representado na Figura 5:

- a) Esboce um “root-locus” onde a localização das raízes varia como função de K_3 .
- b) Determine a localização dos zeros em cadeia fechada.
- c) Repita a) e b) para um “root-locus” em função de K_2 .

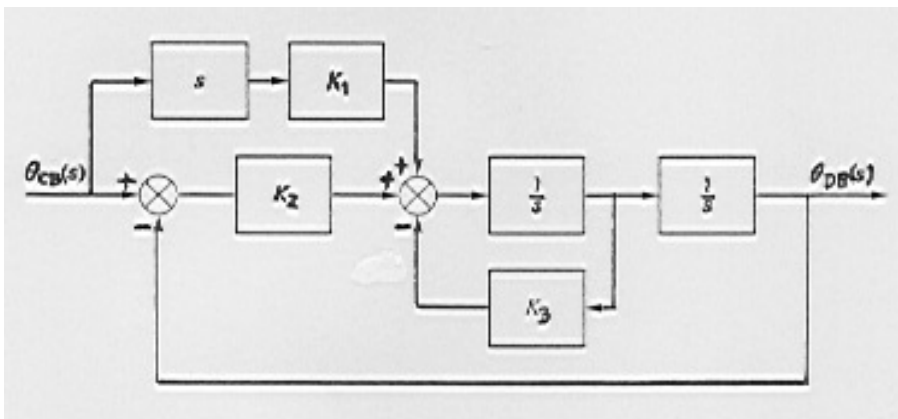


Figure 5:

6. (N. S. Nise, “Control Systems Engineering”, capítulo 9, problema 8) Projecte um controlador PD para o sistema de retroacção unitária ilustrado na Figura 6, onde

$$G(s) = \frac{K}{s(s + 5)(s + 15)}.$$

Pretende-se reduzir o tempo de estabelecimento de um factor de 4 sem alterar a sobrelevação de 20%.

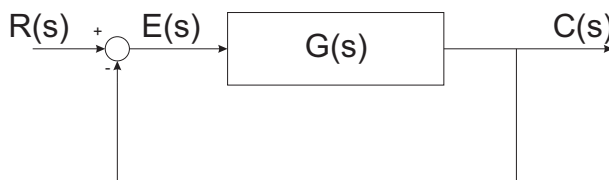


Figure 6:

* 7. (E. Morgado, Controlo-problemas, 1999) Considere o sistema da Figura 7.

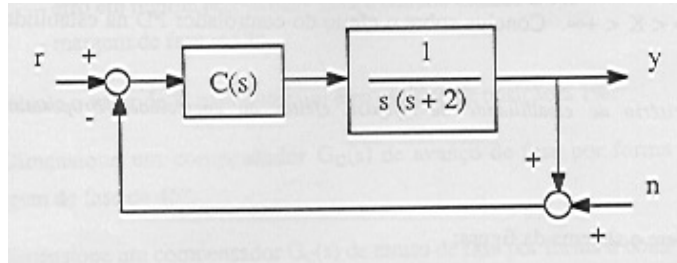


Figure 7:

Dimensione o controlador $C(s)$ de modo a que a resposta no tempo $y(t)$ satisfaça as seguintes especificações:

- para uma entrada escalão $r(t) = u(t)$:
 - sobrelevação = 20.5% (factor de amortecimento $\xi = 0.45$)
 - tempo de estabelecimento (5%) = 0.75s
- para uma entrada rampa $r(t) = tu(t)$:
 - erro em regime permanente (erro estático de velocidade) $e_v \leq 0.04$.

Analise as opções:

a) Controlador Proporcional

$$C(s) = K$$

b) Controlador Proporcional Integral

$$C(s) = K \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

c) Compensador de fase

$$C(s) = K \frac{s + z}{s + p}$$

Dimensione este controlador para os seguintes casos particulares:

- i) $z = 4$.
- ii) $p = +\infty$ (Proporcional Derivativo ideal).

No projecto utilize técnicas de “root-locus” e faça uma análise crítica das soluções no que se refere a:

- cumprimento das especificações da resposta temporal
- atenuação do ruído $n(t) = A \sin(100t)$ na saída $y(t)$

Apoie a sua análise com simulação em MATLAB.

Nas figuras 8 e 9 mostra-se a resposta temporal e a resposta em frequência para os casos c-i) e c-ii).

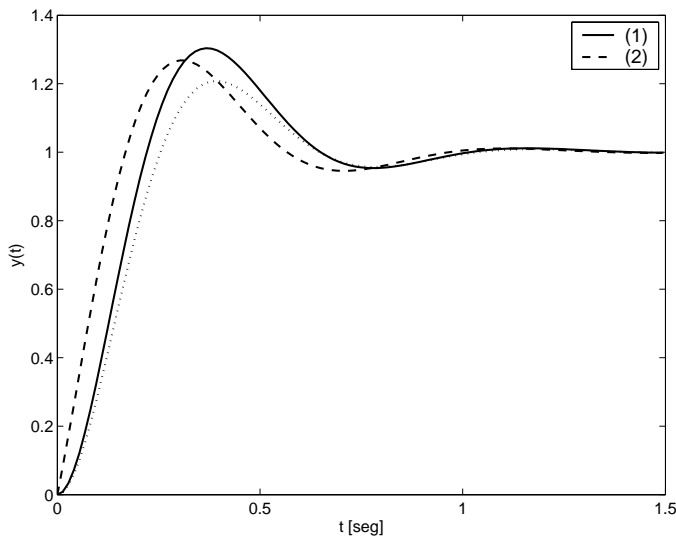


Figure 8: resposta ao escalão

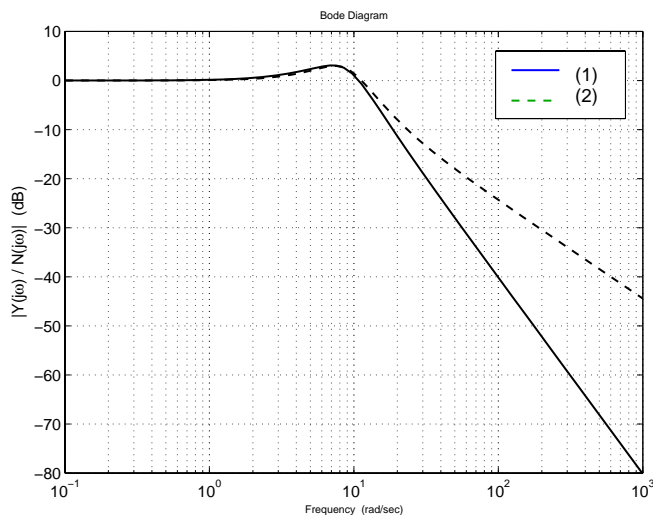


Figure 9: Diagrama de Bode

Soluções

1 - a) $0 < K < 24$; b) $\phi = \pi/3; -\pi/3; \pi, \sigma = -2,67$, pts. entrada/saída: $-0,90; -4,43$, pts. intersecção c/ eixo imaginário: $\pm j\sqrt{12}$.

4 - a) $\phi = \pi/3; -\pi/3; \pi, \sigma = -4$, instável para $K > 0$; b) $\phi = \pi/2; -\pi/2, \sigma = -3,5$, pt. saída: $s=0$, estável para $K > 0$; c) $\phi = \pi/2; -\pi/2, \sigma = -5,5$, pts. entrada/saída: $0; -2,31; -5,19$, estável para $K > 0$; d) $K = 39,5: -2,31; -2,31; -7,38. K = 43,8: -5,19; -5,19; -1,62$.

7- a) não serve; b) não serve; c)i) $p=11; K = 98; e_v(+\infty) = 0,056; |Y(j\omega)/N(j\omega)|_{\omega=100} \approx 0,01$; c)ii) $z=13; C(0) = 78; e_v(+\infty) = 0,026; |Y(j\omega)/N(j\omega)|_{\omega=100} \approx 0,06$.