UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

# 6ª Lista de SEL0417 – Fundamentos de Controle

Professor: Rodrigo Andrade Ramos

**Exercício 1**

Considerando o sistema de malha fechada da Figura 1, projete um compensador por avanço de fase $G_C(s)$, de modo que a margem de fase seja de 45°, a margem de ganho não seja inferior a 8 dB, e a constante de erro estático de velocidade, $K_v$ seja 4,0 $s^{-1}$. Trace o gráfico das curvas de resposta ao degrau unitário e à rampa unitária do sistema com e sem o compensador com o auxílio do Matlab (Dica: $K_v = \lim_{s\to 0} sG(s)$).

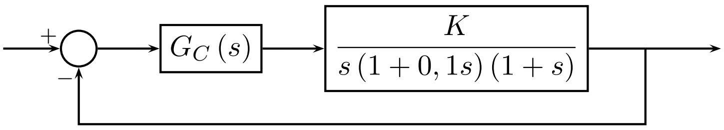


Figura 1: Sistema de malha fechada do Exercício 1.

**Exercício 2**

Considere o sistema mostrado na Figura 2. Projete um compensador de modo que a constante de erro estático de velocidade, $K_v$ seja 50, a margem de fase seja de 50°, e a margem de ganho não seja inferior a 8 dB. Trace o gráfico das curvas de resposta ao degrau unitário e à rampa unitária do sistema com e sem o compensador com o auxílio do Matlab (Dica: $K_v = \lim_{s\to 0} sG(s)$).

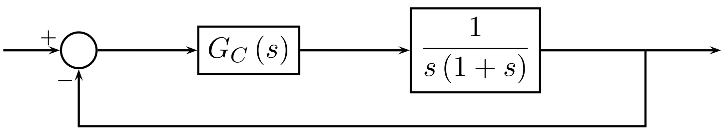


Figura 2: Sistema de malha fechada do Exercício 2.

**Exercício 3**

O projeto de um módulo de excursão lunar é um problema de controle interessante. O sistema de controle de orientação do veículo lunar está mostrado na Figura 3. O amortecimento do veículo é desprezível e a orientação do mesmo é controlada através de jatos de gás. O torque, como primeira aproximação, pode ser considerado proporcional ao sinal $V(s)$, de forma que $T(s) = K - 2V(s)$. O ganho de malha aberta pode ser escolhido pelo projetista de forma a possibilitar um amortecimento desejado para o sistema. Uma amortecimento de $\zeta = 0.6$ com um tempo de acomodação de menos de 2,5% é necessário. Utilizando um controlador em avanço, selecione o compensador necessário através de técnicas de resposta em frequência.

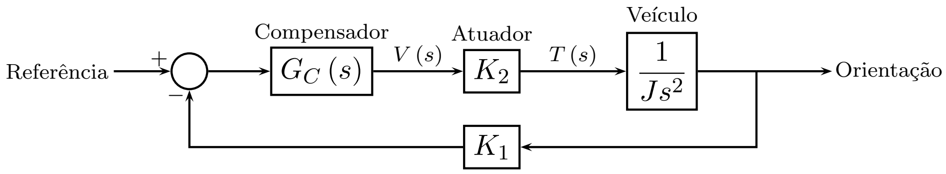

Figura 3: Sistema de malha fechada do Exercício 3.

**Exercício 4**

Em um complexo industrial, deseja-se controlar uma série de diferentes processos. Para tanto, foram levantadas as respostas da planta em malha aberta de alguns destes processos. Obtenha um controlador que garanta erro nulo de regime permanente na resposta ao degrau para estes quatro processos, através das respostas a um degrau unitário apresentadas nas Figuras 4 a 7.

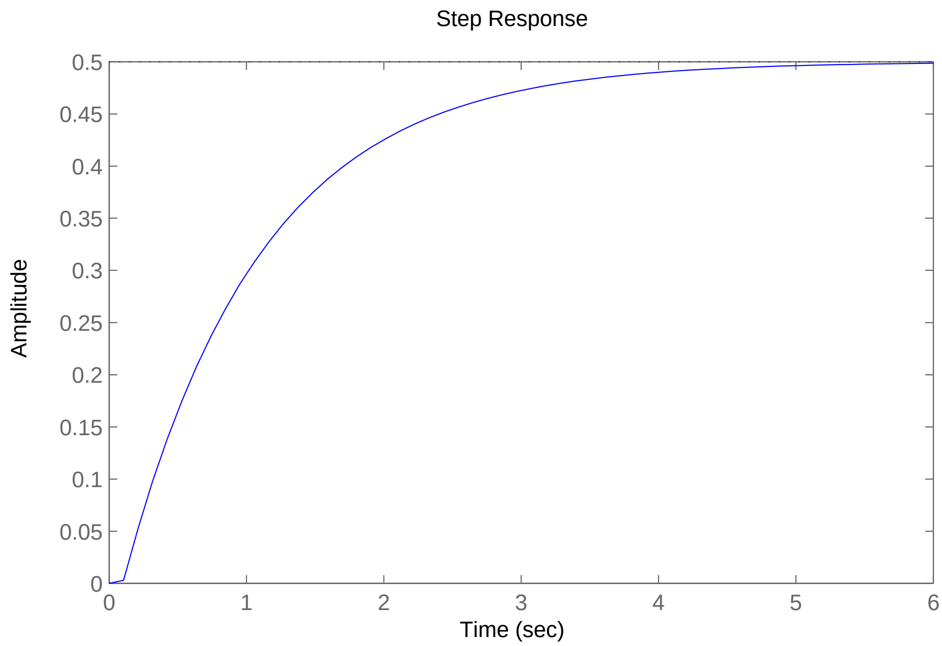

Figura 4: Planta 1 (Exercício 4).

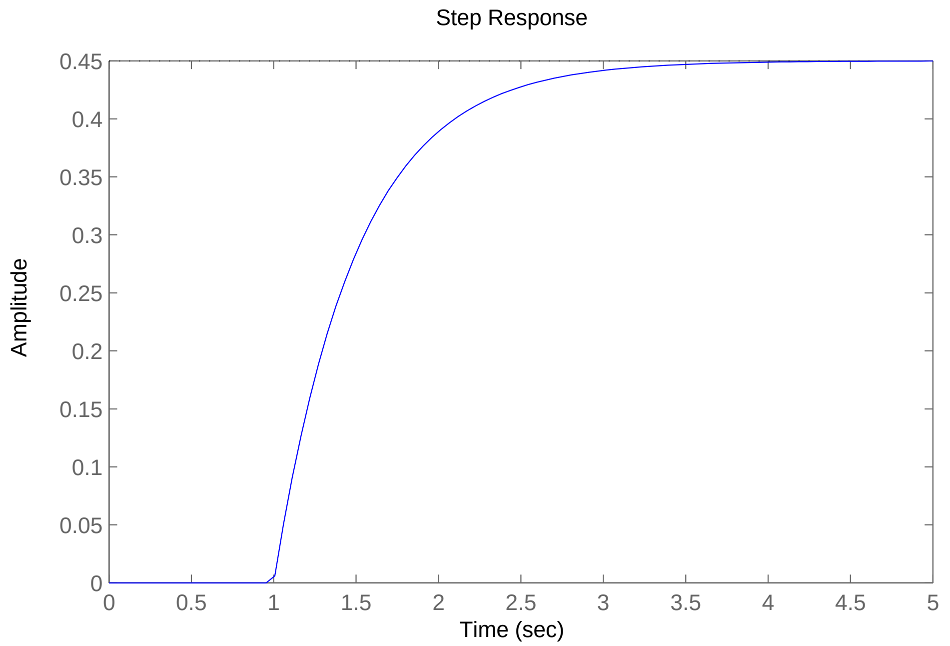


Figura 5: Planta 2 (Exercício 4).

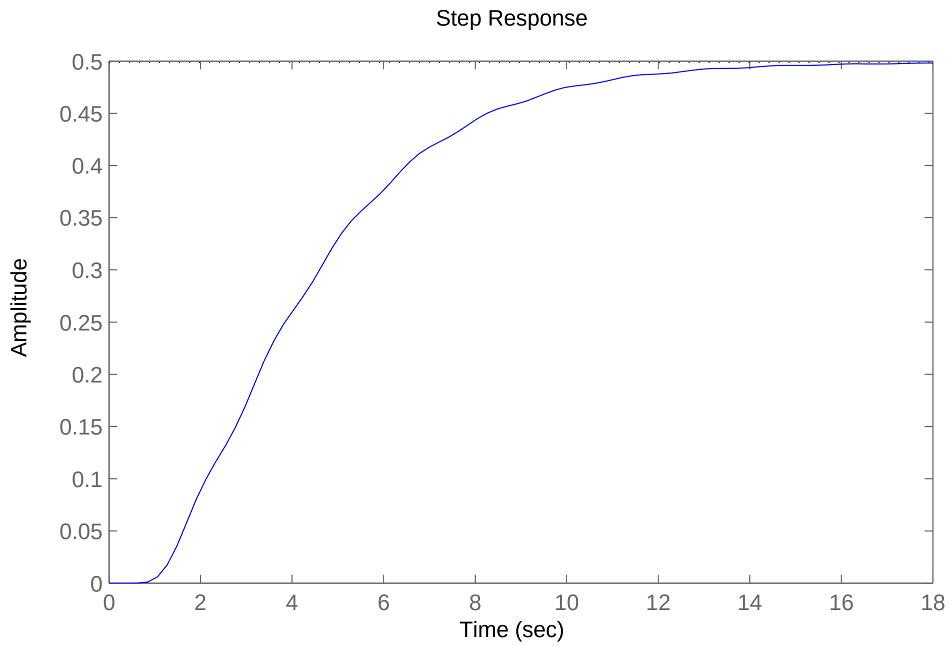


Figura 6: Planta 3 (Exercício 4).

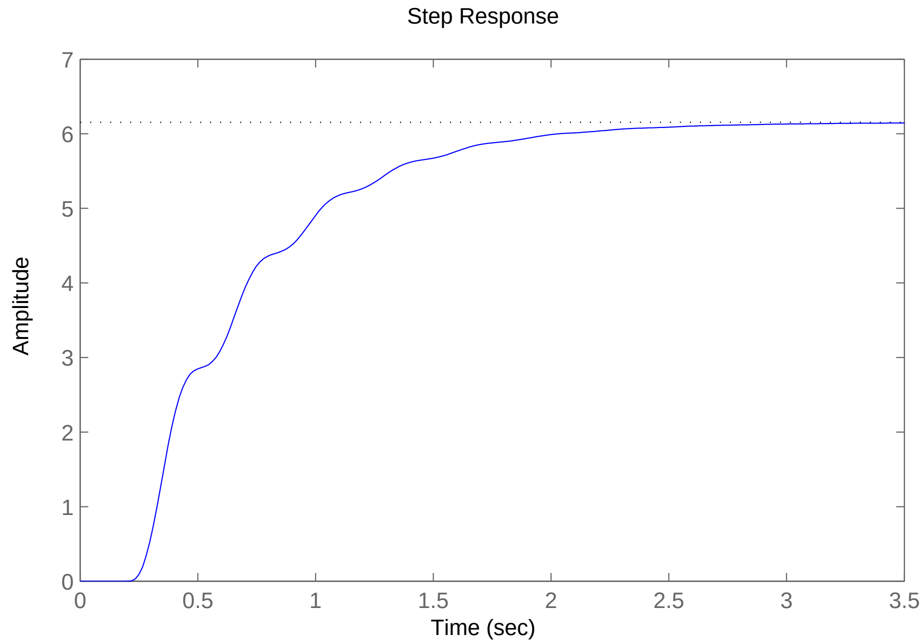


Figura 7: Planta 5 (Exercício 4).

### Exercício 5

No mesmo processo industrial citado acima, foram observadas respostas no tempo de plantas cujos polos dominantes eram complexos conjugados ou que não apresentavam características de sistemas de primeira ordem. Sendo assim, foram realizados testes em melha fechada para a determinação do ganho crítico do sistema, mostradas nas Figuras 8 a 11, sendo que o ganho crítico, $K_{cr}$, de cada um está apresentado juntamente com a Figura. Obtenha um controlador que garanta erro nulo na resposta do sistema em malha fechada a um degrau unitário.

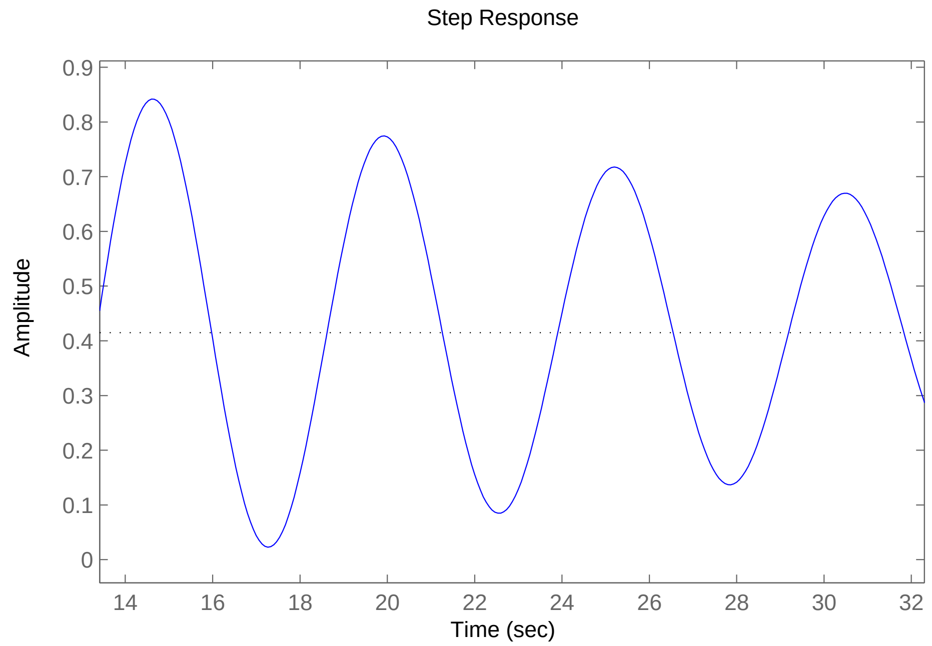


Figura 8: Planta 5 (Exercício 5) – $K_{cr} = 1,7$.

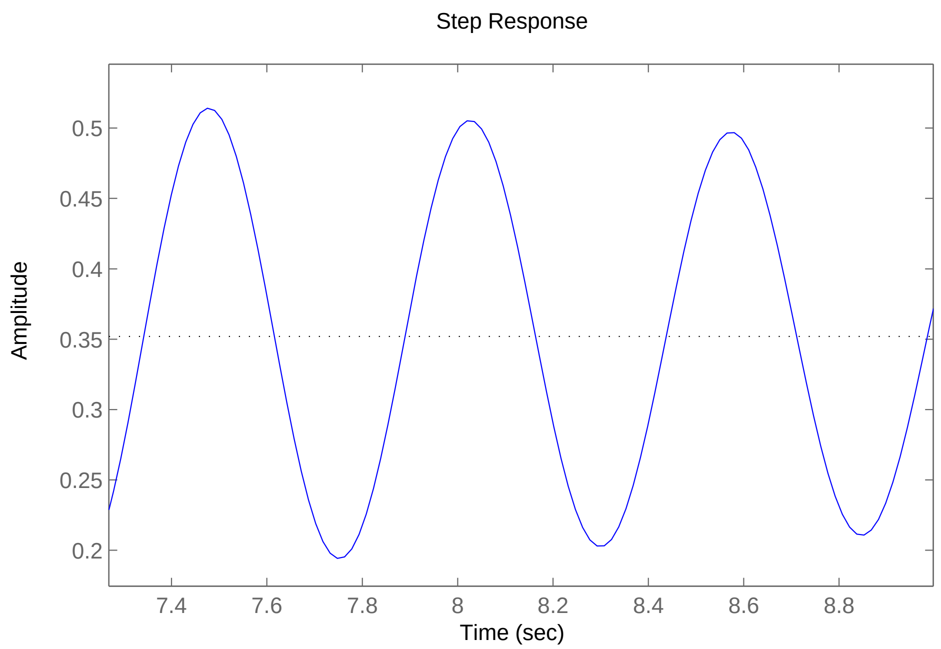


Figura 9: Planta 6 (Exercício 5) – $K_{cr} = 32$.

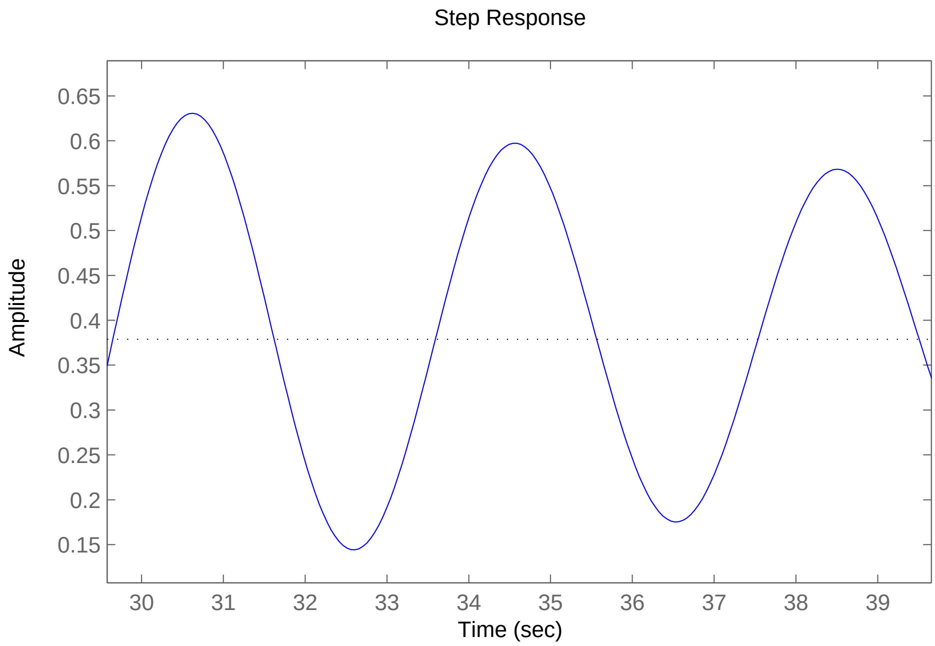


Figura 10: Planta 7 (Exercício 5) – $K_{cr} = 2$.

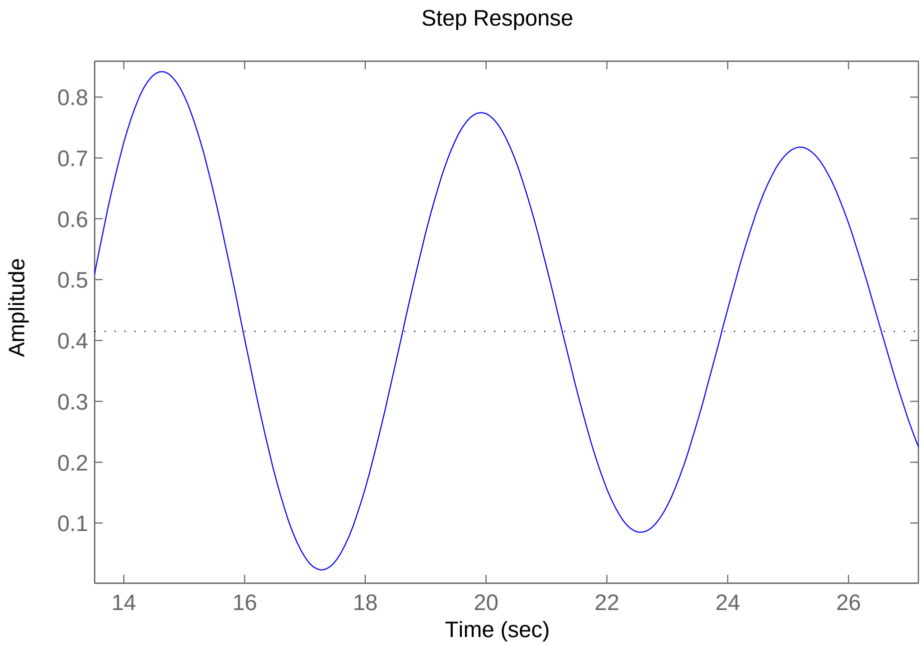


Figura 11: Planta 8 (Exercício 5) – $K_{cr} = 31$.

**Exercício 6**

De posse dos controladores obtidos nos Exercícios 5 e 6, ensaie os processos industriais a serem controlados com o auxílio do Matlab e verifique se os objetivos de controle foram atendidos, sabendo que as plantas possuem as seguintes funções de transferência:

- Planta 1: $G(s) = \dfrac{0,5 \cdot \mathrm{e}^{-0,1s}}{s+1}$
- Planta 2: $G(s) = \dfrac{0,9 \cdot \mathrm{e}^{-s}}{s+2}$
- Planta 3: $G(s) = \dfrac{2 \cdot \mathrm{e}^{-0,5s}}{(s+0,5)^2 (s^2+0,4s+16,04)}$
- Planta 4: $G(s) = \dfrac{5000 \cdot \mathrm{e}^{-0,2s}}{(s+2)(s^2+5s+406,3)}$
- Planta 5: $G(s) = \dfrac{500(s+10)}{(s+2,5)(s^2+5s+406,3)}$
- Planta 6: $G(s) = \dfrac{150(s+50)}{(s+10)(s^2+4s+104)(s^2+10s+425)}$
- Planta 7: $G(s) = \dfrac{150(s-1)(s-10)}{(s+3)(s+5)(s^2+4s+8)(s^2+8s+41)}$
- Planta 8: $G(s) = \dfrac{-150(s-1,5)(s-2)(s-10)}{(s+3)(s+5)(s^2+12s+40)(s^2+4s+8)(s^2+8s+41)}$

Ainda, tente obter respostas melhores ao degrau com outras sintonias do controlador, minimizando o máximo overshoot e o tempo de acomodação do sistema em malha fechada (Dica: começe modificando o ganho $K_p$).