ENE/FT/UnB

Departamento de Engenharia Elétrica
Faculdade de Tecnologia
Universidade de Brasília
Prof. Adolfo Bauchspiess

Prova individual, sem consulta.
Só é permitido o uso de ***calculadora científica básica****.*
(Números complexos & funções trigonométricas)
Auditório FT, 23/10/2019, 7^{00}-10^{00}

2ª Prova - CONTROLE DE SISTEMAS DINÂMICOS - 2°/2019

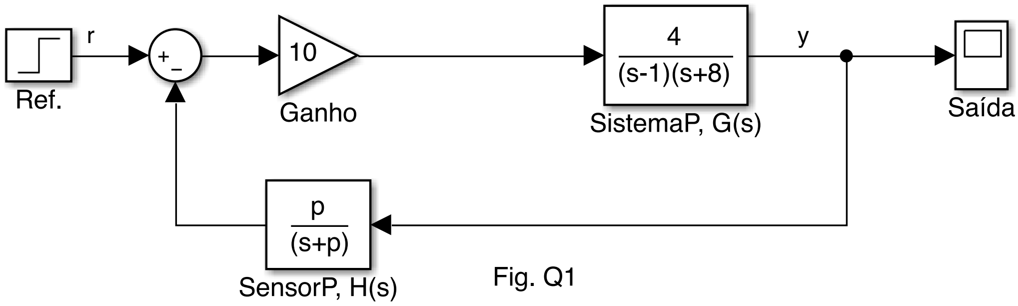


Fig. Q1

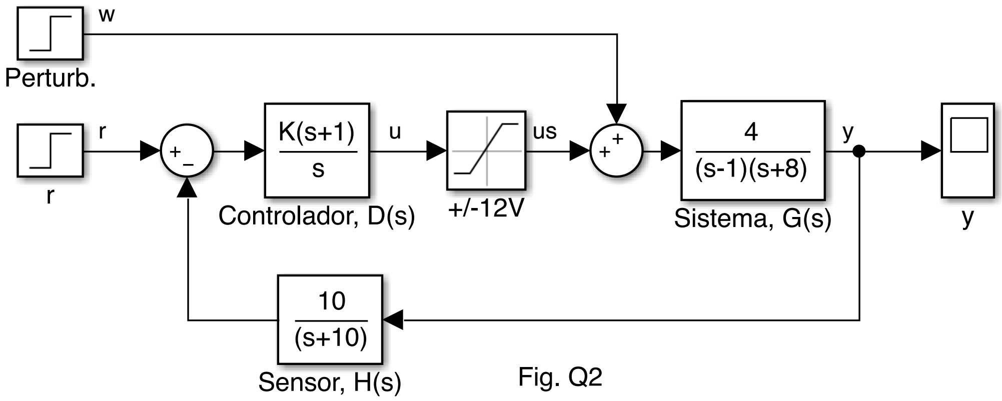


Fig. Q2

As questões 1 e 2, independentes entre si, visam avaliar diferentes aspectos do controle de um mesmo processo: 1) Escolha do sensor e 2) Escolha do ganho de um controlador PI.

1ª Questão: (3,0) Utilizando o LGR generalizado, para que valores do parâmetro p, na Fig. Q1,

a) O sistema é estável?
b) Temos o menor tempo de acomodação ($t_{s,2\%}$) possível de $Y(s)/R(s)$?

2ª Questão: (5,0) Esboce o LGR para o sistema de controle mostrado na Fig. Q2.

a) (0,2) Parte real do LGR$^+$ (K > 0).
b) (0,4) Assíntotas: ângulos e centroide.
c) (0,4) Pontos de ramificação*.
d) (1,0) Para quais valores de K, $-\infty < K < \infty$, este sistema é estável?
e) (1,0) Interseções do LGR$^+$ com o eixo jω.
f) (1,0) Complete o esboço acrescentando o LGR$^-$ ($K < 0$). Indique, com setas "→", o sentido crescente de K, $-\infty < K < \infty$, para cada ramo do LGR.
g) (1,0) Se $K = 80$, a resposta a um degrau unitário de referência será cíclica. Qual a frequência da resposta em regime permanente? Por quê?

*Obs: Algumas "opções" para as raízes de $(b\frac{da}{ds} - a\frac{db}{ds})$. Apenas uma opção corresponde à Questão 2.

i) roots([3 38 82 62 -80]) = [-10.2136 -1.5378 ± 1.352j 0.6226]
ii) roots([3 -30 -20 62 -80]) = [10.4714 -1.9871 0.7579 ± 0.8409j]
iii) roots([3 38 113 124 -80]) = [-9.0428 -2.0323 ± 1.5995j 0.4409]

3ª Questão: (2,0) Assinale **V**erdadeiro ou **F**also (na folha de respostas), justificando ***cada*** aspecto que considere polêmico (em particular, as afirmações incorretas).

a) (0,5) O número de mudanças de sinal na 1ª coluna do arranjo de Routh Hurwitz permite verificar se o sistema é estável ou não. Se todos os sinais forem positivos ou todos forem negativos o sistema será estável.

b) (0,5) O controle de temperatura usual de aparelhos de ar condicionado de janela é do tipo liga-desliga. Se o compressor do aparelho, num dia quente, nunca desliga, é porque o sistema foi subdimensionado, e a temperatura nunca atingirá o valor desejado. Este fenômeno (não chaveamento) pode também ocorrer, se, por ignorância (da teoria de conforto térmico) a temperatura de referência for, inadvertidamente, escolhida muito baixa, e.g., 17 ºC. Neste caso, a temperatura do ambiente será desconhecida e o sistema opera em malha aberta.

c) (0,5) A operação em Malha Fechada aumenta o sobrepasso do sistema ao degrau de referência, quando ocorre saturação do atuador. Na operação em Malha Aberta, quando ocorre saturação do atuador, o sobrepasso não se altera.

d) (0,5) Estabilidade e equilíbrio são conceitos distintos. Um ponto de equilíbrio pode ser estável ou instável, como ocorre, e.g., com um pêndulo. Há dois pontos de equilíbrio, um estável e outro instável. No ponto de equilíbrio instável há forças restauradoras que mantem o processo no ponto de equilíbrio. De acordo com o número de integradores no caminho direto, podemos calcular o erro a diferentes tipos de sinais, em malha fechada.

$1+K\dfrac{b(s)}{a(s)}=0$ $\quad 1+p\dfrac{\bar{b}(s)}{\bar{a}(s)}=0$ $\quad \alpha=\dfrac{\sum pólos-\sum zeros}{n-m}$ $\quad \theta=\dfrac{180°(2k+1)}{n-m}$ $\quad$ se $m<n-1 \Rightarrow \sum_{MA} p_i=\sum_{MF} p_j$

Nome: ____ Matrícula: ______________

Eng. E☐ M☐

CADERNO DE RESPOSTAS – 2ª PROVA CSD 2º/2019

A resolução das questões, **organizada de forma clara e objetiva**, nas páginas anexas, **é considerada na correção**. **Transcreva aqui**, as respostas finais. ***Não separar***, por favor, ***as folhas*** deste caderno de repostas!!

1ª Questão: (3,0)

a) (2,0) p(estável):

b) (0,5) $\min_{p} t_s$ = (0,5) p_{min} =

2ª Questão: (5,0)

a) (0,2) Parte real do LGR+ :

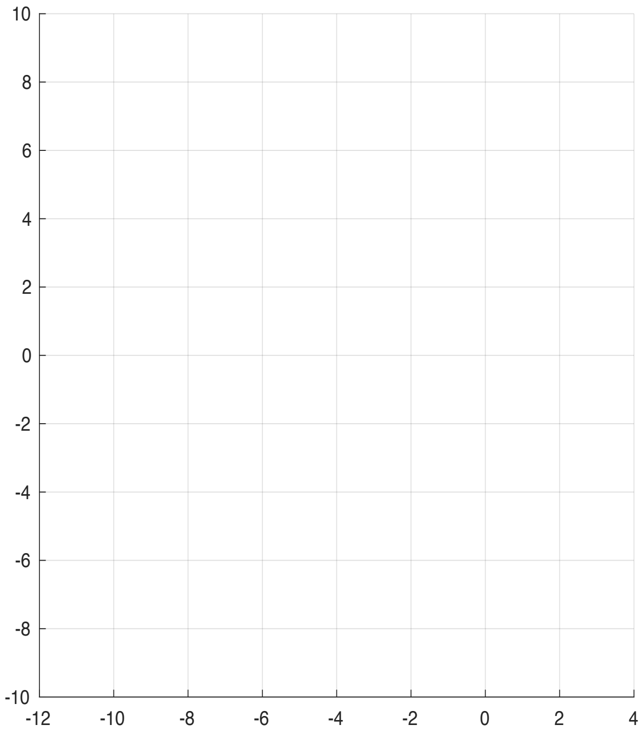
b) (0,4) Assíntotas:

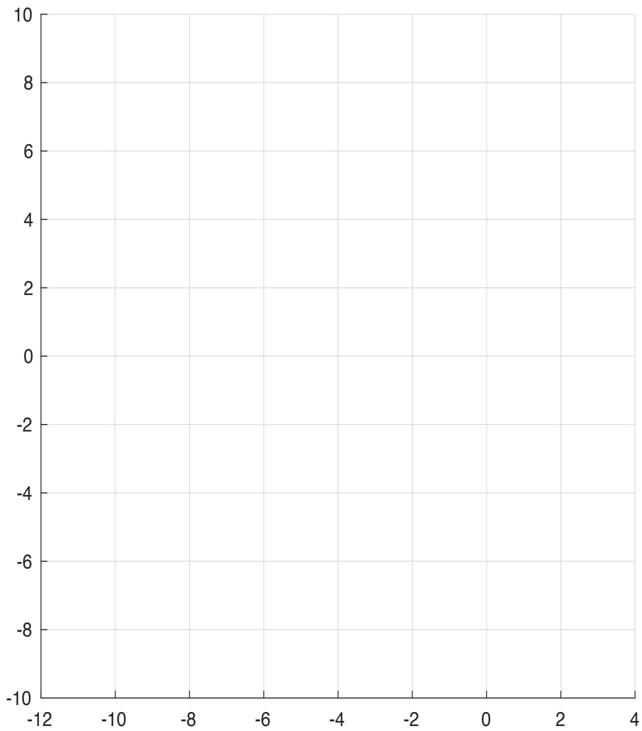
c) (0,4) Pontos de ramificação:

d) (1,0) $K_{\text{estável}}$:

e) (1,0) ω_{cr1} = ω_{cr2} = ω_{cr3} =

f) (1,0)





g) (1,0) $\omega_{\text{osc.}}$ = Justificativa:

3ª Questão: (2,0) V/F.

a) (0,5)

b) (0,5)

c) (0,5)

d) (0,5)

Gabarito

1ª Questão:

Função de transf. em MF: $\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{\frac{40}{(s-1)(s+8)}}{1+\frac{40p}{(s-1)(s+8)(s+p)}} = \frac{4(s+p)}{(s-1)(s+8)(s+p)+40p} = \frac{4(s+p)}{s^3+(7+p)s^2+(7p-8)s+32p}$;

Eq. Característica: $s^3 + 7s^2 - 8s + p(s^2 + 7s + 32) = 0$

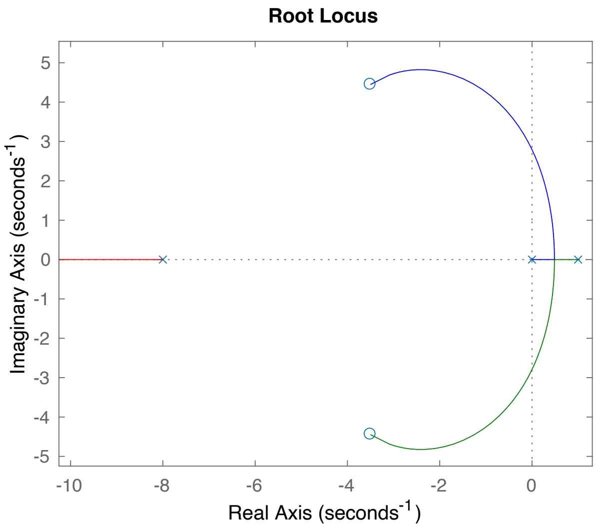
$$1 + p\frac{(s^2+7s+32)}{s^3+7s^2-8s} = 0;$$

$$1 + p\frac{(s+3{,}5+4{,}4441j)(s+3{,}5-4{,}4441j)}{s(s-1)(s+8)} = 0$$

$s^3 + (p+7)s^2 + (7p-8)s + 32p = 0$

Routh-Hurwitz

$$\begin{array}{lll} s^3 & 1 & 7p-8 \\ s^2 & p+7 & 32p \\ s^1 & \frac{(p+7)(7p-8)-32p}{p+7} & \\ s^0 & 32p & \end{array}$$



$$\frac{7p^2 + 9p - 56}{p+7}$$

$$\begin{cases} p > -7 \\ p < -3{,}5434 \; ou \; p > 2{,}2577 \\ p > 0 \end{cases}$$

a) (2,0) p(estável): $\boxed{p > 2{,}2577}$

b) $\boxed{\min_p t_s = 4/3{,}5 = 1{,}1429\ s}$; $\boxed{p_{min} = \infty.}$

O LGR generalizado, em função de p, mostra que a resposta mais rápida possível ocorre com p→∞ (polos → zeros). Neste caso os polos dominantes têm parte real = -3,5; $t_s = 4/\sigma$.

Na Fig. Q1, p→∞ implica realimentação unitária. Assíntotas $\pm$ 90°, centroide -3,5.

2ª Questão:

Função de transferência em MF: $\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{\frac{4K(s+1)}{s(s-1)(s+8)}}{1+\frac{40K(s+1)}{s(s-1)(s+8)(s+10)}} = \frac{4K(s+1)(s+10)}{s(s-1)(s+8)(s+10)+40K(s+1)} =$

$\frac{4Ks^2+44Ks+40K}{s^4+17s^3+62s^2+(40K-80)s+40K}$;

a) (0,2) Polos em [0, 1, -8 e -10], zero em -1. LGR eixo real: [0 1], [-inf -10], [-8 -1].
b) (0,4) 3 assíntotas: $\pm 60°\ e\ 180°$; centroide (1 + 0 -8 -10 – (-1))/3 = 5,333
c) (0,4) b(s) = s+1; $a(s) = s^4 + 17s^3 + 62s^2 - 80s$

roots(conv([1 1],[4 17*3 62*2 -80])-[1 17 62 -80 0]) =
roots([3 38 113 124 -80]) = $\boxed{[-9.0428\ \ -2.0323 \pm 1.5995i\ \ \ 0.4409]}$

d) Routh-Hurwitz

$$\begin{array}{llll} s^4 & 1 & 62 & 40\text{K} \\ s^3 & 17 & 40K-80 & \\ s^2 & 1134-40K & 17*40K & \end{array}$$

$$s^1 \quad \frac{(1134-40K)(40K-80)-17*17*40K}{1134-40K} = \frac{-1600K^2+37000K-90720}{1134-40K} \quad \begin{cases} K < 28{,}35 \\ 2{,}788 < K < 20{,}337 \\ K > 0 \end{cases}$$

$$s^0 \quad 680K$$

Estável: $\boxed{2{,}788 < K < 20{,}337}$

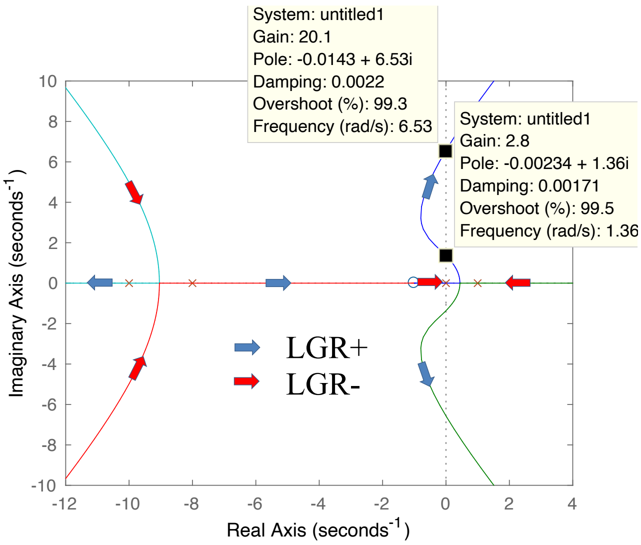
e) Interseções com o eixo jw:

$$s^4 + 17s^3 + 62s^2 + (40K-80)s + 40K$$

$$\omega^4 - 62\omega^2 + 40K = 0$$
$$-17\omega^3 + (40K-80)\omega = 0$$

$$\omega_{1,2} = \sqrt{\frac{(40K-80)}{17}}$$

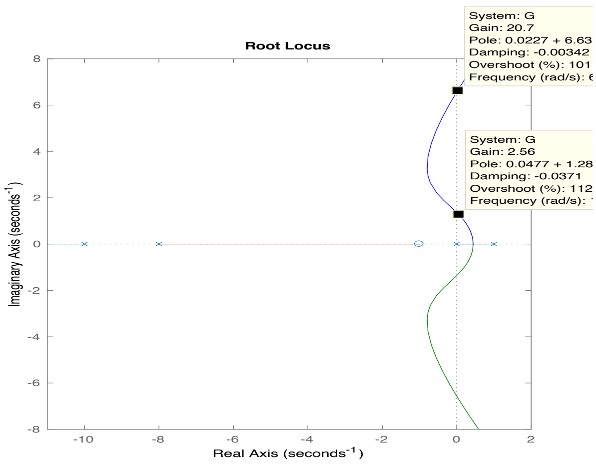
$$\boxed{\omega_{0,1,2} = 0;\ 1{,}3617; 6{,}5686}$$



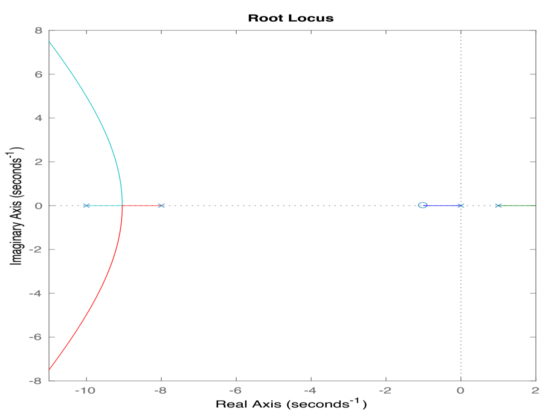
Obs: $roots(\omega^4 - 62\omega^2 + 40K)_{K_1} = \{\pm 7.7554;\ \ \pm 1.3617\}$, e $roots(\omega^4 - 62\omega^2 + 40K)_{K_2} = \{\pm\ 4.3421;\ \pm 6.5685\}$. A interseções com o eixo $j\omega$ atendem a parte par e a parte impar da equação característica. Com $K = 0$, parte par e impar também são satisfeitas (origem do LGR).

f) LGR^- ; setas

LGR^+



LGR^-



g) $K = 80$; ponto de operação instável, ($K > K_{cr2} = 20{,}337$). Saturação reduz o ganho efetivo de malha e leva à operação no ponto crítico $\omega_2 = 6{,}5686\ rad/s$ – freq. da oscilação).

3ª Questão: (2,0) **V**erdadeiro ou **F**also.

a) F (0,5) O número de mudanças de sinal na 1ª coluna do arranjo de Routh Hurwitz permite verificar se o sistema é estável ou não. Se todos os sinais forem positivos ou todos forem negativos o sistema será estável. Polo duplo em $j\omega$ é instável.

b) V (0,5) O controle de temperatura usual de aparelhos de ar condicionado de janela é do tipo liga-desliga. Se o compressor do aparelho, num dia quente, nunca desliga, é porque o sistema foi subdimensionado, e a temperatura nunca atingirá o valor desejado. Este fenômeno (não chaveamento) pode também ocorrer, se, por ignorância (da teoria de conforto térmico) a temperatura de referência for, inadvertidamente, muito baixa, e.g., 17 ºC. Neste caso, a temperatura do ambiente será desconhecida e o sistema opera em malha aberta.

c) (0,5) A operação em Malha Fechada aumenta o sobrepasso do sistema ao degrau de referência, quando ocorre saturação do atuador. Na operação em Malha Aberta, quando ocorre saturação do atuador, o sobrepasso não se altera. Depende do LGR.

d) (0,5) Estabilidade e equilíbrio são conceitos distintos. Um ponto de equilíbrio pode ser estável ou instável, como ocorre, e.g., com um pêndulo. Há dois pontos de equilíbrio, um estável e outro instável. No ponto de equilíbrio instável há forças restauradoras que mantem o processo no ponto de equilíbrio. De acordo com o número de integradores no caminho direto, podemos calcular o erro a diferentes tipos de sinais, em malha fechada. Se o sistema for estável.