



Sinais e Sistemas Mecatrónicos

LEMec21 LENO

Professor responsável: Carlos Carneira

2º Semestre 2021/2022, 4º período

2º exame, 2022/julho/20, 18h00 – 20h00

- Responda às questões no próprio enunciado e nos locais corretos, tanto para as questões de escolha múltipla como para as questões de desenvolvimento. O espaço disponibilizado é suficiente para conter as respostas. Se mesmo assim não couber, pode esse espaço ser estendido pelo aluno colocando sempre uma moldura retangular em torno do espaço acrescentado. O verso das folhas ou outros espaços livres podem ser usados como rascunho e não são corrigidos.
- Identifique todas as folhas, com o seu número e com o seu primeiro e último nome. De preferência, faça-o no início da prova.
- **Não desagrafe o enunciado.**
- O incumprimento de cada uma das regras anteriores resulta numa penalização de 0,5 valores na sua nota.
- Nas questões de escolha múltipla assinale apenas uma resposta correta.
- O exame decorre sem consulta, excetuando-se a consulta de um máximo de seis páginas A4 (três folhas, frente e verso) trazidas pelo aluno. Pode usar até 10 folhas de rascunho.
- Não é permitido o uso de calculadoras programáveis (em caso de necessidade, o corpo docente reserva-se o direito de fazer *reset* à memória das calculadoras dos alunos). Em caso algum é permitido o uso de calculadoras com qualquer capacidade gráfica.
- As questões de escolha múltipla são respondidas numa tabela única no fim do grupo. As respostas assinaladas nas próprias perguntas não são avaliadas. Responda às questões de escolha múltipla colocando uma circunferência em torno da resposta correta na tabela existente no final do grupo I. Caso queira emendar uma resposta, risque completamente o círculo e coloque nova circunferência à volta da opção que considera correta. Nos exemplos abaixo, na questão 1 é considerada a resposta A, na questão 2 é considerada a resposta D, na questão 3 é considerada a resposta E uma vez que o aluno se enganou quando assinalou a resposta B. A resposta à questão 4 é válida, embora tenha cotação zero porque não foi respondida. A questão 5 tem cotação -0.5 porque viola as regras. Na questão 6 é considerada a resposta E uma vez que o aluno se enganou três vezes e voltou à resposta E. Esta tabela constitui um mero exemplo de validação das respostas, não tendo nada que ver com o facto de as respostas estarem corretas ou não.

Questão	Resposta A	Resposta B	Resposta C	Resposta D	Resposta E	
1	<input checked="" type="radio"/> A	<input type="radio"/> B	<input type="radio"/> C	<input type="radio"/> D	<input type="radio"/> E	✓Válido
2	<input type="radio"/> A	<input type="radio"/> B	<input type="radio"/> C	<input checked="" type="radio"/> D	<input type="radio"/> E	✓Válido
3	<input type="radio"/> A	<input checked="" type="radio"/> B	<input type="radio"/> C	<input type="radio"/> D	<input checked="" type="radio"/> E	✓Válido
4	<input type="radio"/> A	<input type="radio"/> B	<input type="radio"/> C	<input type="radio"/> D	<input type="radio"/> E	✓Válido
5	<input type="radio"/> A	<input checked="" type="radio"/> B	<input type="radio"/> C	<input checked="" type="radio"/> D	<input type="radio"/> E	✗Inválido
6	<input checked="" type="radio"/> A	<input type="radio"/> B	<input checked="" type="radio"/> C	<input type="radio"/> D	<input checked="" type="radio"/> E	✓Válido
...						

- Justifique todas as questões, exceto as de escolha múltipla.
- O docente que vigia a prova só deve ser chamado em questões de interpretação, ambiguidade ou aparente gralha que poderão dar lugar a comunicações com o necessário esclarecimento em todas as salas de exame.
- Questões como *Prof., isso que eu fiz está bem ? Prof., acha que esta explicação chega ou devo justificar melhor ? Prof., Eu risquei aqui mas continuei além, pode ficar assim ?*, não devem ser colocadas. O aluno deve escrever o que for necessário para que o docente que for corrigir não se perca nas respostas do exame.

Grupo I (10 perguntas)

Cada pergunta tem a cotação de 1 valor. Cada resposta errada desconta 0,2 valores. A cotação mínima do grupo é de 0 valores.

Salvo indicações em contrário, considere condições iniciais nulas.

As respostas são assinaladas na tabela que encerra este grupo. As respostas assinaladas nas próprias perguntas não são avaliadas.

1. A ordem de um sistema linear representado pela sua função de transferência, depende
 - A dos zeros.
 - B do denominador.
 - C do numerador.
 - D da função toda.
 - E Nenhuma das anteriores

2. A estabilidade de um sistema linear representado pela sua função de transferência, depende
 - A apenas dos polos.
 - B apenas dos zeros.
 - C dos zeros serem complexos conjugados.
 - D dos polos serem complexos conjugados.
 - E Nenhuma das anteriores

3. O valor final da resposta no tempo de um sistema linear ao degrau unitário
 - A não pode ser obtido através da Resposta em Frequência do sistema.
 - B tende para zero se o sistema for estável.
 - C tende para a unidade se o sistema for estável.
 - D pode ser obtido através da Resposta em Frequência do sistema.
 - E Nenhuma das anteriores

4. A derivada inicial da resposta no tempo de um sistema linear de 2ª ordem, sem zeros, ao degrau unitário
 - A é nula.
 - B é positiva.
 - C é negativa.
 - D é diferente de zero.
 - E Nenhuma das anteriores

5. Na resposta no tempo de um sistema linear de 1ª ordem, sem zeros, ao degrau unitário
 - A nunca existe sobre-impulso.
 - B existe sempre sobre-impulso.
 - C pode existir sobre-impulso.
 - D tende para zero.
 - E Nenhuma das anteriores

6. O diagrama de fase da resposta em frequência de um sistema linear com igual número de polos e zeros em que todos são negativos
 - A tende para infinito.
 - B tende para -180° .
 - C tende para 90° .
 - D tende para -90° .
 - E Nenhuma das anteriores

7. A partir do diagrama de Bode de um sistema LTI estável,
 - A podemos calcular apenas a resposta impulsiva desse sistema.
 - B não podemos calcular a resposta impulsiva desse sistema.
 - C apenas podemos calcular a resposta no tempo ao degrau unitário.
 - D podemos calcular a resposta no tempo ao degrau unitário.
 - E Nenhuma das anteriores

8. Se a curva de amplitude de um diagrama de Bode de um sistema estável, de 2ª ordem, sem zeros, apresentar uma sobre-elevação, a resposta no tempo desse mesmo sistema ao degrau unitário
 - A não apresenta um sobre-impulso.
 - B pode ou não apresentar um sobre-impulso.
 - C diverge.
 - D apresenta necessariamente um sobre-impulso.
 - E Nenhuma das anteriores

9. A resposta impulsiva de sistema LTI com dois polos complexos conjugados sobre o eixo imaginário,
 - A tende para zero.
 - B tende para a unidade.
 - C Diverge.
 - D Converge para uma constante.
 - E Nenhuma das anteriores

10. Pretende-se medir a velocidade linear de um veículo, através da leitura de um contador do número de impulsos de um encoder, que se encontra acoplado a uma das rodas. A leitura é realizada a um intervalo fixo T_s . Se a resolução do encoder aumentar, para o mesmo T_s ,

- A a velocidade mínima que é possível medir, torna-se mais alta.
- B a velocidade mínima que se consegue medir fica limitada pelo n.º de *bits* do contador.
- C tanto as velocidades mínima e máxima que se conseguem medir aumentam.
- D a velocidade máxima que é possível medir corretamente, pode ficar limitada pelo n.º de *bits* do contador existente.
- E Nenhuma das anteriores

Tabela de respostas às questões de escolha múltipla

Questão	Resposta A	Resposta B	Resposta C	Resposta D	Resposta E
1	A	<input checked="" type="radio"/> B	C	D	E
2	<input checked="" type="radio"/> A	B	C	D	E
3	A	B	C	<input checked="" type="radio"/> D	E
4	<input checked="" type="radio"/> A	B	C	D	E
5	A	B	<input checked="" type="radio"/> C	D	E
6	A	B	C	D	<input checked="" type="radio"/> E
7	A	B	C	<input checked="" type="radio"/> D	E
8	A	<input checked="" type="radio"/> B	C	D	E
9	A	B	C	D	<input checked="" type="radio"/> E
10	A	B	C	<input checked="" type="radio"/> D	E

Grupo II (5 perguntas)

Cada pergunta tem a cotação de 2 valores.

As respostas são colocadas no enunciado, nos espaços assinalados, Faça 1º no rascunho e depois passe a resposta para o enunciado de forma a organizar o espaço disponível da melhor forma

Considere o sistema apresentado na Figura .

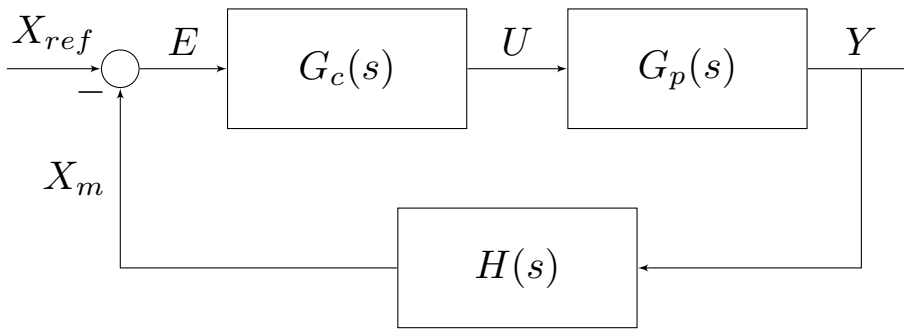
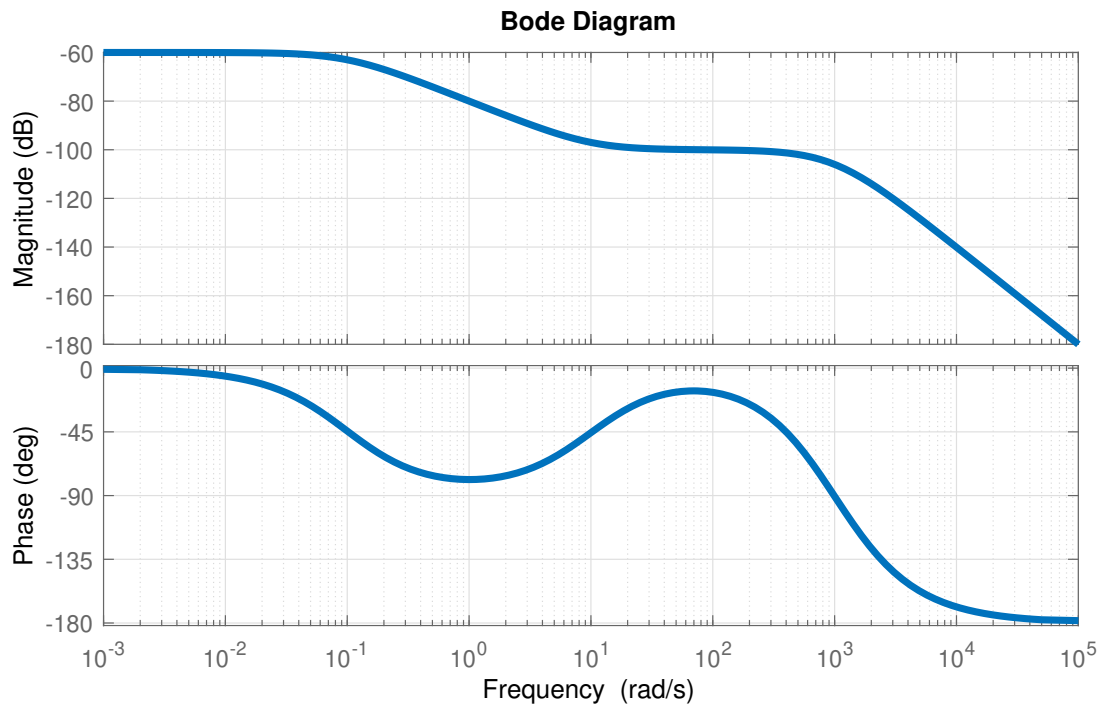


Figura 1: Diagrama de blocos

1. Determine a expressão de $G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)}$ a partir do seu diagrama de Bode que é apresentado na figura abaixo.



R:

$$\begin{aligned}
 & 1 \text{ polo em } 10^{-1} \text{ rad s}^{-1} && \frac{1}{s+0.1} \\
 & 1 \text{ zero em } 10^1 = 10 \text{ rad s}^{-1} && (s+10) \\
 & 1 \text{ polo duplo em } 10^3 \text{ rad s}^{-1} && \frac{1}{(s+1000)^2} \\
 \\
 & G_c(s) = K \frac{s+z_1}{(s+p_1)(s+p_2)^2} = K \frac{s+10}{(s+0.1)(s+1000)^2} \\
 \\
 & s \rightarrow 0 \quad G_c(s) \rightarrow -60 \text{ dB} = 10^{-3} \\
 \\
 & G_c(0) = K \frac{10}{(0.1)(1000)^2} = K \frac{10^1}{10^{-1} 10^6} = K 10^{-4} = 10^{-3} \\
 & \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad K = 10 \\
 \\
 & G_c(s) = 10 \frac{s+10}{(s+0.1)(s+1000)^2}
 \end{aligned}$$

Critério de correção: polo em 0.1 rad/s - 20%, zero em 20 rad/s - 10%, polo em 1000 rad/s - 20%, cálculo de K - 20%, Expressão final de $G_c(s)$ - 20%

2. Considere

$$G(s) = 32 \frac{s^2 + 6s + 25}{6s^5 + 5s^4 + 3s^2 + 2s + 1}$$

Usando o critério de estabilidade de Routh-Hurwitz, discuta a estabilidade de $G(s)$ e o que pode afirmar acerca da disposição dos seus polos no plano complexo.

R:

$6s^5 + 5s^4 + 4s^3 + 2s + 1$

s^5	6	4	2
s^4	5	3	1
<hr/>			
s^3	$\frac{20-18}{5} = 0.4$	$\frac{10-6}{5} = 0.8$	
s^2	$\frac{1.2-4}{0.4} = -7$	1	
s^1	$\frac{-5.6-0.4}{-7} = 0.85$		
s^0	1		

s^5	6	4	2
s^4	5	3	1
<hr/>			
s^3	0.4	0.8	
s^2	-7	1	
s^1	0.85		
s^0	1		

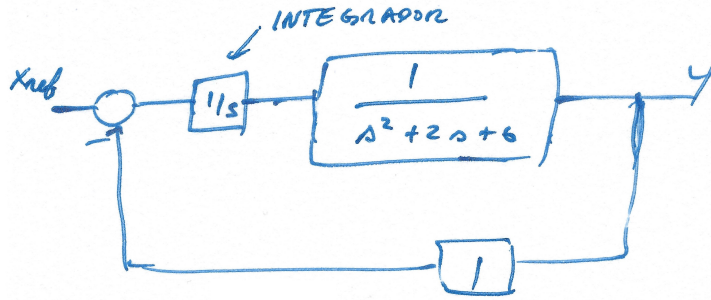
INSTÁVEL
DUAS MUDANÇAS DE SINAL
DOIS POLOS NO SPCD

Critério de correção: Tabela - 70%, Instabilidade - 10%, Posição dos pólos - 20%

3. Na figura 1, considere:

$$G_c(s) = \frac{1}{s} \quad G_p(s) = \frac{1}{s^2 + 2s + 6} \quad H(s) = 1$$

Determine a função de transferência $\frac{y(s)}{X_{ref}(s)}$ e comente a expressão: "A ação integradora no loop de controle torna o ganho estático unitário".



$$\frac{Y(s)}{X_{ref}(s)} = \frac{G_c(s) G_p(s)}{1 + G_c(s) G_p(s)}$$

$$= \frac{\frac{1}{s(s^2 + 2s + 6)}}{1 + \frac{1}{s(s^2 + 2s + 6)}} = \frac{1}{s^3 + 2s^2 + 6s + 1}$$

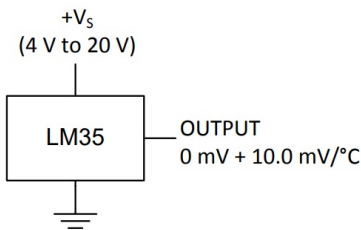
$$\lim_{s \rightarrow 0} G_p(s) = \frac{1}{6} \quad \lim_{s \rightarrow 0} \frac{Y(s)}{X_{ref}(s)} = 1$$

CONCLUSÃO: A AÇÃO INTEGRADORA NO LOOP DE CONTROLE Torna O GANHO ESTÁTICO FICAR UNITÁRIO

Critério de correção: Expressões inicial e final de $y(s)/X_{ref}(s)$ - (30+30)%, Justificação do ganho estático - 40%.

4. Considere que se pretende medir a temperatura de um fluido que varia entre 60°C e 80°C. Foi escolhido o sensor LM35 conforme a figura abaixo. Pretende que o sinal do circuito condicionador do sinal deve variar entre 0V (a 60°C) e 1V (a 80°C). Desenhe um circuito com *ampops* que implemente o condicionamento de sinal indicado. Suponha que tem apenas disponíveis tensões de ±15V.

**Basic Centigrade Temperature Sensor
(2°C to 150°C)**

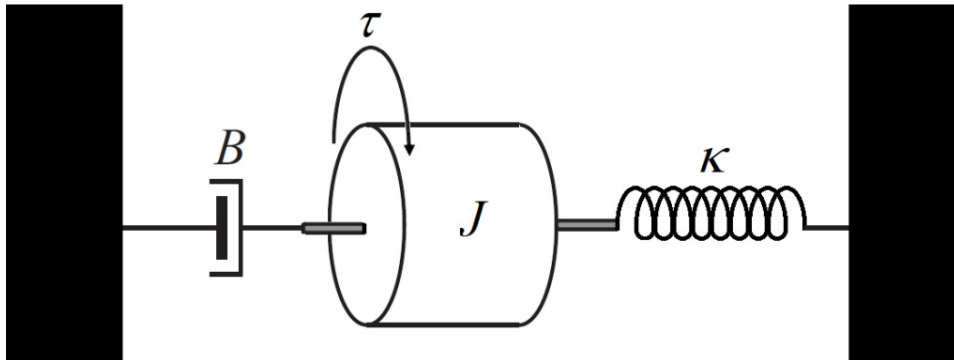


$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$
 $y - 0 = \frac{1 - 0}{0.8 - 0.6} (x - 0.6) \quad y = 5x - 3$

Critério de correção: Expressão de $y = f(x)$ - 40%, Circuito - (20+20)%, Valores das resistências 20%.

Nota: Esta solução recorre a dois circuitos inversores mas há resoluções alternativas, nomeadamente recorrendo a circuitos amplificadores não inversores e a circuitos subtratores.

5. Considere o sistema representado pela figura abaixo:



Calcule o modelo matemático do sistema e função de transferência entre a posição angular e o binário aplicado.

$$\begin{aligned} T_k(t) &= -k\omega(t) \\ T_B(t) &= -B\dot{\omega}(t) \\ J\ddot{\omega}(t) &= T(t) - k\dot{\omega}(t) - B\dot{\omega}(t) \\ T(s) - k\Omega(s) - B s\Omega(s) &= J s^2\Omega(s) \\ \frac{\Omega(s)}{T(s)} &= \frac{1}{J s^2 + B s + k} \end{aligned}$$

Critério de correção: Equação diferencial do sistema - 40%, Transformada de Laplace - 30% Função de Transferência - 30%.