

Departamento de Engenharia Mecatrônica da Escola Politécnica da USP
 PMR 2470
 Prof. Larissa Driemeier, Marcilio Alves, Rafael T. Moura

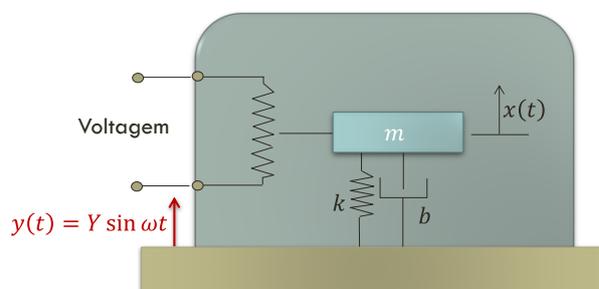
LISTA DE EXERCÍCIOS

Sistema de primeira ordem

- Um termômetro de mercúrio com constante de tempo de 0,1min é colocado em uma temperatura $T=100^{\circ}\text{C}$ até atingir o equilíbrio com o líquido. No instante $t = 0$, a temperatura do líquido começa a variar de forma senoidal, em torno de 100°C , com amplitude de 2°C . Se a frequência de oscilação é $10/\pi$ ciclos/min, plote a resposta do termômetro com o tempo. Qual o atraso da resposta?
- Um tanque com constante de tempo de 1 min e resistência de $1/9 \text{ m}^3/\text{s}$ opera em regime, com vazão de entrada de $10 \text{ m}^3/\text{s}$. No instante $t = 0$ o escoamento é aumentado $100 \text{ m}^3/\text{s}$ por 0.1 min.
 - Encontre a função de transferência para o sistema.
 - Plote a resposta do nível h do tanque em função do tempo e compare com a resposta a uma função impulso.

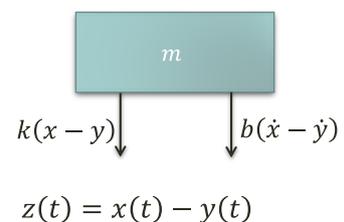
Sistema de segunda ordem

- Na modelagem do acelerômetro a seguir, qual a relação entre a compressão do sistema $z(t)$ e a aceleração da base $\ddot{y}(t)$?



$y(t)$: movimento da base

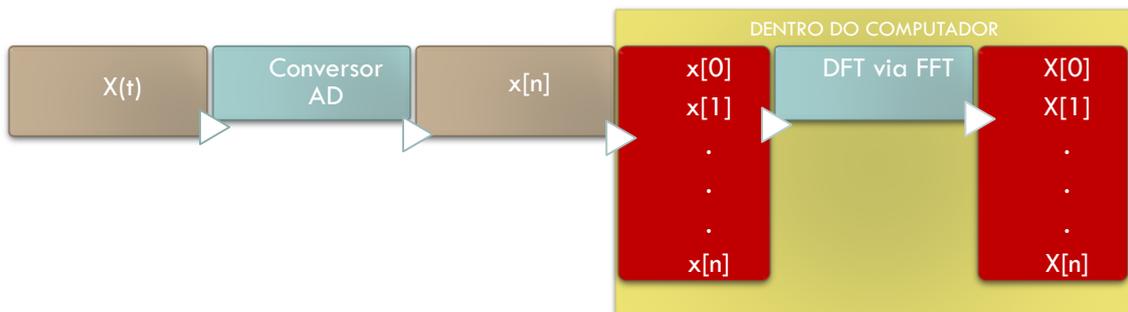
$x(t)$: movimento da massa sísmica



4. Qual a frequência natural mínima aceitável para um acelerômetro se desejamos medir sinais de até 10 kHz com não mais de 3% de erro na amplitude e $-0,75\sigma$ na fase? Assume-se uma relação de amortecimento $\zeta = 0,05$.

Análise de sinais

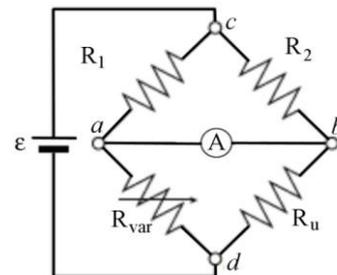
5. A figura a seguir resume a entrada de um sinal contínuo, até a análise dos dados, via computador, no domínio da frequência. Defina os erros inerentes de cada etapa e as possíveis soluções. Dê ênfase aos problemas de aliasing e windowing.



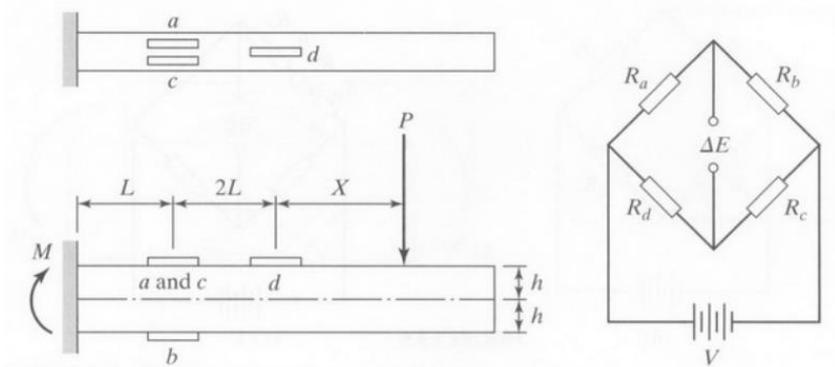
Sensores resistivos

6. *Relembrando a teoria básica:* você tem um fio que de resistência R_0 . No entanto, você precisa de uma resistência duas vezes maior, $2R_0$. Em vez de comprar um novo fio, você decide derreter o fio original e reformá-lo, para ter uma resistência de $2R_0$ usando a mesma quantidade de material. Qual deve ser o novo comprimento?

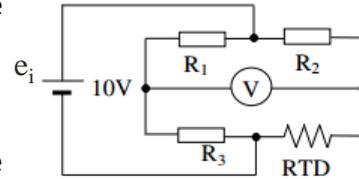
7. *Relembrando a teoria básica:* Um circuito é constituído por duas resistências com resistências $R_1 = 6,0\Omega$ e $R_2 = 1,5\Omega$, uma resistência variável ajustável R_{var} , uma resistência de valor desconhecido R_u , e bateria 9,0 volts ligada como mostrado na figura. Quando R_{var} é ajustado a 12 ohms, existe corrente zero através do amperímetro. Qual é a resistência desconhecida R_u ?



8. Este é um sensor de posicionamento. Na montagem da figura, 4 extensômetros ativos de uma ponte são colados em uma viga engastada. Ache a relação entre a distância X e a voltagem da ponte.



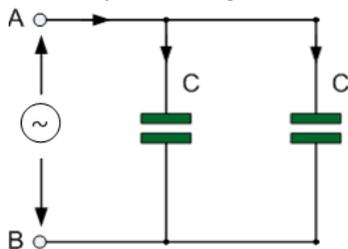
9. Um RTD tem $A_0=0,005/^{\circ}\text{C}$ a 20°C e uma taxa de dissipação constante de $P=30\text{mW}/^{\circ}\text{C}$. O RTD usa a ponte de Wheatstone conforme figura. $R_1= R_2= R=500\Omega$ e R_3 é variável, usado para equilibrar a ponte. Se a tensão fornecida é de 10V e o RTD é imerso no gelo a 0°C :



- Encontre o valor de R_3 para equilibrar a ponte;
- Encontre a voltagem de saída medida pelo voltímetro ($R_v=\infty$) com o valor de R_3 obtido no item A para uma temperatura de 100°C . Considere o efeito do auto-aquecimento e calcule o erro do RTD.

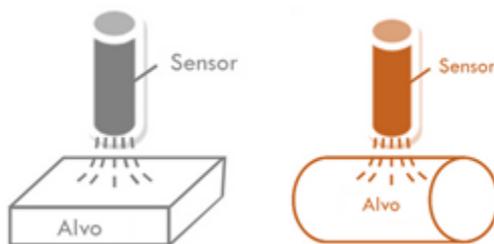
Sensores Capacitivos

10. *Relembrando a teoria básica:* Dois capacitores idênticos de placas paralelas estão ligados em paralelo como mostrado na figura. Inicialmente, cada um tem uma carga de ± 6 Coulombs nas placas, as quais estão separadas por uma distância d . Agora, em um dos capacitores de as placas são afastadas até que a separação entre eles é $2d$. Qual é a distribuição de carga final sobre as placas dos capacitores?

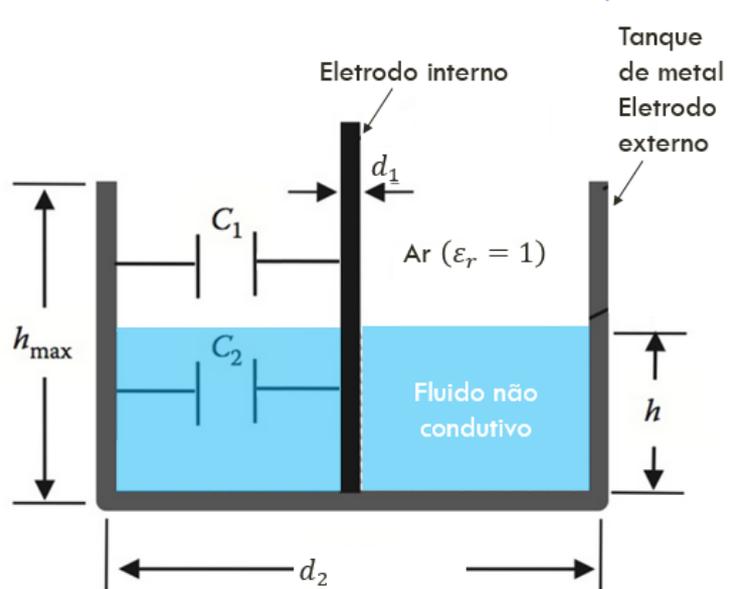


11. Um sensor de proximidade capacitivo é escolhido para detectar:
- uma placa (comprimento: 30 mm, largura: 20 mm, espessura: 5 mm)
 - um cilindro (comprimento: 25 mm, diâmetro: 30 mm).

Encontrar o tamanho máximo permitido do diâmetro do sensor para manter a resolução espacial adequada para cada caso.



12. A quantidade de líquido disponível em um tanque de armazenamento é muitas vezes monitorada por um sensor capacitivo cilíndrico. Ao ligar o sensor de medição, a fração F_{liq} do reservatório cheio pelo líquido em termos da capacitância C do sensor pode ser determinada. O sensor tem raios r_1 interior e exterior condutor e r_2 , e



a altura h_{max} que se estende por toda a altura do tanque. O dielétrico na região superior e inferior entre os condutores cilíndricos são, respectivamente, do líquido ϵ_{liq} e seu vapor ϵ_{vap} . O líquido não condutor enche o tanque a uma altura h (inferior ou igual a h_{max}) a partir do fundo do tanque.

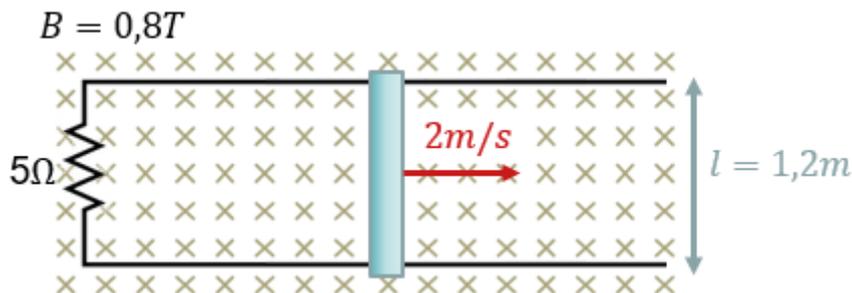
A. Derive uma fórmula para o F_{liq} .

B. se $r_1 = 4,5mm$, $r_2 = 5mm$, $h_{max} = 2m$, $\epsilon_{liq} = 1,4$, $\epsilon_{vap} = 1,0$, que os valores de C corresponderão ao tanque completamente cheio e completamente vazio?

13. Defina o princípio de funcionamento de uma tela touch screen.

Sensores Indutivos

14. Considere o circuito no qual a barra, de comprimento $1,2m$, move-se para a direita com velocidade de $2m/s$. Sendo o campo magnético de $0,8T$ e a resistência de 5Ω , calcule:



- A força eletromotriz FEM;
- A corrente induzida e seu sentido;
- A potência consumida na resistência;
- A força necessária para mover a barra;
- A potência necessária para mover a barra;

15. O que é corrente de Eddy ou de Foulcault? Ela possui aplicações como freios magnéticos?
16. Explique o princípio de funcionamento de um sensor indutivo. Quais os elementos contidos neste tipo de sensor?
17. Cite vantagens e desvantagens do sensor indutivo quando comparado com o resistivo e com o capacitivo.
18. Explique o funcionamento do sensor indutivo de proximidade e do LVDT.
19. Explique o funcionamento do Schmitt Trigger.

Desafios

1. A temperatura de um forno sendo aquecido por uma resistência pulsante varia

$$T = 120 + 5 \cos(25t + 30^\circ)$$

onde t é medido em segundos. Se a temperatura é medida por um termopar de constante de tempo 5s,

- A. Qual a máxima e mínima temperatura indicada no termopar?
 - B. Qual a máxima diferença entre a temperatura real e a indicada?
 - C. Qual o atraso entre a temperatura real e a indicada?
2. Considere um sistema subamortecido, ζ_u , e outro superamortecido, ζ_o , com a mesma frequência natural. Mostre que o sistema subamortecido é mais estável e mais rápido que o superamortecido de e somente se,

$$\zeta_o > \frac{\zeta_u^2 + 1}{2\zeta_u}$$

3. Considere o acelerômetro inercial representado na figura a seguir,

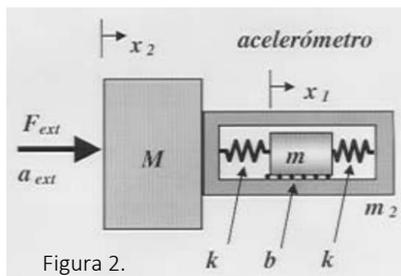


Figura 2.

$$k = 0.2 \frac{N}{m} \text{ (constante elástica)}$$

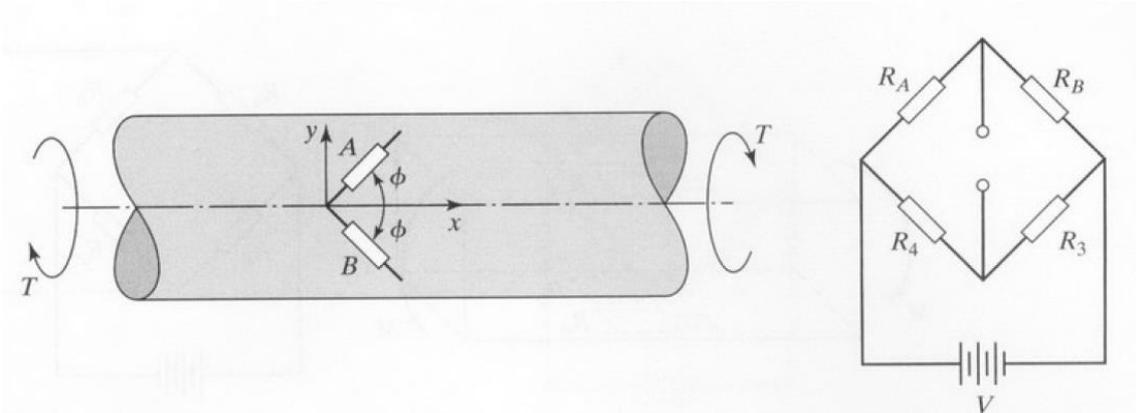
$$b = 0.034 \frac{N}{m} s^{-1} \text{ (coeficiente de atrito viscoso)}$$

$$m = 2g \text{ (massa)}$$

$$M \gg m, M \gg m_2$$

- A. Escreva as equações da dinâmica. Descreva em particular o movimento da massa m em relação à massa $M + m_2$, i.e., $x = x_1 - x_2$, em função da aceleração a_{ext} .
- B. Calcule a resposta do acelerômetro a uma entrada unitário, $a_{ext} = u(t)$.
- C. Esboce a resposta calculada em b), calculando em particular o tempo de estabelecimento, o tempo de pico e a sobre-elevação.
- D. Podendo alterar os valores dos parâmetros k, b, m e m_2 , como procederia para tornar mais rápido, em termos do tempo de estabelecimento, o acelerômetro? E para diminuir a sobre-elevação? Em particular, dimensione os parâmetros referidos de modo a obter uma sobre-elevação de 3% e um tempo de estabelecimento (a 2%) de 0.1 seg.

4. Ache a relação entre a torção T e a leitura da ponte abaixo.



5. Um sensor capacitivo de múltiplo tem um diagrama do circuito mostrado na Figura. Se o objeto se move para a direita, qual das seguintes opções melhor descreve a capacitância C_{S1} resultante (onde C_0 é a capacitância C_{S1} quando o objeto estiver na posição central)?

- A. $C_{S1} = C_0 + \Delta C$ e $\Delta C > 0$
- B. $C_{S1} = C_0 - \Delta C$ e $\Delta C > 0$
- C. $C_{S1} = C_0 + \Delta C$ e $\Delta C < 0$
- D. $C_{S1} = C_0 - \Delta C$ e $\Delta C < 0$

