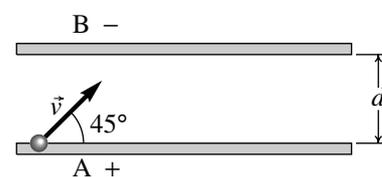


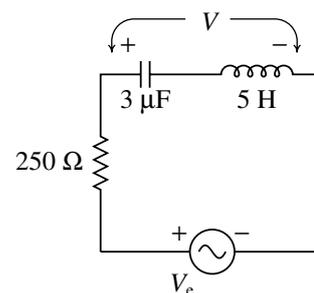
Nome: \_\_\_\_\_

**Duração 2 horas. Prova com consulta de formulário e uso de computador.** O formulário pode ocupar apenas uma folha A4 (frente e verso) e o computador pode ser usado unicamente para realizar cálculos e não para consultar apontamentos ou comunicar com outros!

1. (4 valores) Num sistema de vácuo há duas lâminas metálicas A e B, planas, paralelas e muito extensas, afastadas uma distância  $d = 15$  cm entre si. A diferença de potencial entre as lâminas é de 4 V (maior potencial em A do que em B). Num instante é lançado um eletrão desde a superfície de A, com velocidade inicial de módulo 1.4 Mm/s, formando um ângulo de  $45^\circ$  com a lâmina, como mostra a figura. Determine em qual das duas lâminas, A ou B, bate primeiro o eletrão após ter sido lançado e a que distância desde o ponto inicial (a massa do eletrão é  $9.109 \times 10^{-31}$  kg).

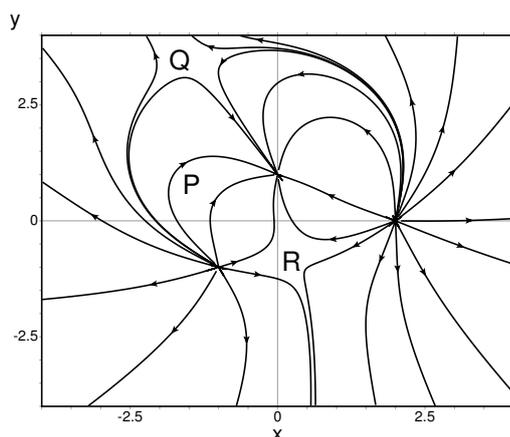


2. (4 valores) No filtro de frequências representado no diagrama, o sinal de entrada é a tensão  $V_e$  de uma fonte de tensão alternada, com frequência angular  $\omega$ , e o sinal de saída é a tensão  $V$  medida no indutor e no condensador, como indica a figura. Encontre a expressão da função resposta de frequência, em função de  $\omega$ .



**PERGUNTAS.** Avalia-se unicamente a **letra** que apareça na caixa de “Resposta”. **Cotação:** certas, 0.8 valores, erradas, -0.2, em branco ou ilegível, 0.

3. O gráfico mostra as linhas de campo elétrico de um sistema de cargas pontuais sobre o plano  $xy$ . Se  $E_P$ ,  $E_Q$  e  $E_R$  representam o módulo do campo elétrico nos pontos P, Q e R, selecione a afirmação verdadeira.



- (A)  $E_P > E_Q$
- (B)  $E_R > E_P$
- (C)  $E_P < E_Q$
- (D)  $E_Q = E_P$
- (E)  $E_R = E_P$

Resposta:

4. Um motor elétrico, alimentado por uma fonte com força eletromotriz de 230 V, é usado para realizar um trabalho de 5.34 kJ cada 3 segundos. Admitindo que a energia elétrica é transformada a 100% em energia mecânica, a corrente necessária será:

- (A) 17.03 A
- (B) 11.61 A
- (C) 7.74 A
- (D) 30.96 A
- (E) 25.54 A

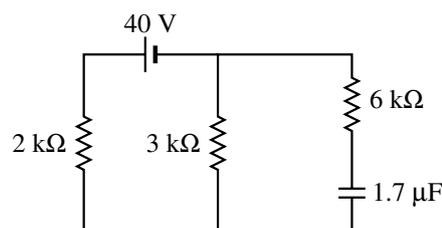
Resposta:

5. Uma bobina circular com 20 espiras, todas de raio 5.0 cm, encontra-se numa região onde existe campo magnético uniforme, de módulo 0.15 T e direção que faz um ângulo de  $55^\circ$  com a perpendicular à bobina. Calcule o módulo do momento do binário sobre a bobina quando esta for percorrida por uma corrente de 6.8 A.

- (A) 141.47 mN·m
- (B) 75.22 mN·m
- (C) 131.25 mN·m
- (D) 113.29 mN·m
- (E) 91.9 mN·m

Resposta:

6. Uma fonte de tensão constante foi ligada a um condensador e 3 resistências, como mostra o diagrama. Calcule a intensidade da corrente fornecida pela fonte no instante inicial em que é ligada.



- (A) 0 mA
- (B) 8 mA
- (C) 10 mA
- (D) 20 mA
- (E) 5 mA

Resposta:

7. Um indutor de  $0.5 \text{ H}$  e uma resistência de  $3.6 \text{ k}\Omega$  ligam-se em série a uma fonte ideal com f.e.m. de  $3 \text{ V}$ . Em unidades SI, a expressão da corrente no circuito, em função do tempo, é:  $0.83 \times 10^{-3} (1 - e^{-7194t})$ . Calcule a diferença de potencial no indutor no instante  $t = 0.139 \text{ ms}$ .

(A)  $1.9 \text{ V}$  (C)  $0.67 \text{ V}$  (E)  $1.1 \text{ V}$   
 (B)  $4.75 \text{ V}$  (D)  $8.15 \text{ V}$

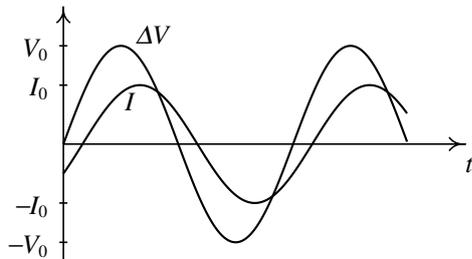
Resposta:

8. Duas cargas pontuais são colocadas sobre o eixo dos  $x$ : uma carga de  $2 \mu\text{C}$  em  $x = -1.0 \text{ m}$  e outra carga de  $-4 \mu\text{C}$  na origem. Calcule o módulo do campo elétrico no ponto  $x = 1.0 \text{ m}$ , no eixo dos  $x$ .

(A)  $27.0 \text{ mN}/\mu\text{C}$  (C)  $4.5 \text{ mN}/\mu\text{C}$  (E)  $31.5 \text{ mN}/\mu\text{C}$   
 (B)  $40.5 \text{ mN}/\mu\text{C}$  (D)  $45.0 \text{ mN}/\mu\text{C}$

Resposta:

9. Uma resistência de  $433 \Omega$ , um condensador de  $8 \mu\text{F}$  e um indutor de indutância  $L$  são ligados em série a uma fonte de tensão alternada com frequência angular  $\omega = 250 \text{ Hz}$ . O gráfico mostra a tensão da fonte,  $\Delta V$ , e a corrente  $I$  no circuito, em função do tempo. Qual dos valores na lista poderá ser o valor da indutância  $L$ ?



(A)  $1 \text{ H}$  (C)  $2 \text{ H}$  (E)  $3 \text{ H}$   
 (B)  $\infty$  (D)  $0$

Resposta:

10. Um condensador com dielétrico é carregado com uma pilha até ficar com uma diferença de potencial  $V_0$ . A seguir, desliga-se a pilha e retira-se o dielétrico; como será a diferença de potencial no condensador após ter sido retirado o dielétrico?

(A) Menor que  $V_0$   
 (B) Diminuirá exponencialmente  
 (C) Igual a  $V_0$   
 (D) Maior que  $V_0$   
 (E) Nula

Resposta:

11. Calcule a impedância equivalente de um indutor de  $6 \text{ mH}$  em paralelo com um condensador de  $50 \mu\text{F}$ , em unidades de ohm e em função da frequência  $s$  em kHz.

(A)  $\frac{6s}{0.3s^2 + 1}$  (C)  $\frac{6s}{0.05s^2 + 1}$  (E)  $\frac{50s}{0.3s^2 + 1}$   
 (B)  $\frac{50s}{s^2 + 1}$  (D)  $\frac{0.05s}{6s^2 + 1}$

Resposta:

12. Uma partícula com carga elétrica desloca-se horizontalmente, na direção oeste, com velocidade de  $7.3 \times 10^6 \text{ m/s}$ , numa região onde existe campo magnético uniforme com direção vertical, sentido de cima a baixo e módulo  $5.2 \times 10^{-4} \text{ T}$ . Sabendo que a força magnética sobre a partícula aponta para norte e tem módulo igual a  $7.9 \times 10^{-15} \text{ N}$ , calcule a carga da partícula.

(A)  $-2.08 \times 10^{-18} \text{ C}$  (D)  $-11.09 \times 10^{-5} \text{ C}$   
 (B)  $2.08 \times 10^{-18} \text{ C}$  (E)  $-2.08 \times 10^{-14} \text{ C}$   
 (C)  $11.09 \times 10^{-5} \text{ C}$

Resposta:

13. O campo elétrico numa região do espaço é  $2\hat{i} + 3\hat{j} + 5\hat{k}$  (unidades SI). Determine o valor do fluxo elétrico através do triângulo com vértices na origem e nos pontos  $(5.6, 0, 0)$  e  $(0, 4.8, 0)$ , em unidades SI.

(A)  $67.2$  (C)  $53.76$  (E)  $48.38$   
 (B)  $134.4$  (D)  $26.88$

Resposta:

14. Dois condensadores com capacidades  $8 \mu\text{F}$  e  $16 \mu\text{F}$  são ligados em série a uma fonte de  $18 \text{ V}$ . Calcule a carga no condensador de  $8 \mu\text{F}$ .

(A)  $96 \mu\text{C}$  (C)  $48 \mu\text{C}$  (E)  $24 \mu\text{C}$   
 (B)  $72 \mu\text{C}$  (D)  $120 \mu\text{C}$

Resposta:

15. Duas resistências de  $6.0 \text{ k}\Omega$  e  $15.0 \text{ k}\Omega$  suportam cada uma potência máxima de  $0.5 \text{ W}$  sem se queimar. Determine a potência máxima que suporta o sistema dessas duas resistências ligadas em paralelo.

(A)  $1.0 \text{ W}$  (C)  $0.7 \text{ W}$  (E)  $0.6 \text{ W}$   
 (B)  $0.8 \text{ W}$  (D)  $0.9 \text{ W}$

Resposta:

16. A expressão do campo elétrico numa região do espaço é  $\vec{E} = x^3 \hat{i}$  (unidades SI). Calcule a diferença de potencial  $V_B - V_A$ , onde as coordenadas dos pontos A e B são  $A = (1, 0, 0)$  e  $B = (4, 0, 0)$ .

(A)  $-63.75 \text{ V}$  (C)  $-255.0 \text{ V}$  (E)  $-1020.0 \text{ V}$   
 (B)  $63.75 \text{ V}$  (D)  $255.0 \text{ V}$

Resposta:

17. Uma partícula com carga  $q$  encontra-se na origem. Qual das seguintes funções representa o potencial produzido por essa partícula ao longo do eixo dos  $x$ ? (admitindo potencial nulo no infinito).

(A)  $-\frac{kq}{|x|}$  (C)  $\frac{kq}{|x|}$  (E)  $\frac{kq}{x}$   
 (B)  $\frac{k|q|}{x}$  (D)  $-\frac{k|q|}{x}$

Resposta:

## Problemas

**Problema 1.** Como as lâminas são muito extensas, o campo elétrico é aproximadamente constante e com módulo

$$E = \frac{\Delta V}{\Delta s} = \frac{4}{0.15} = 26.667 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

na direção perpendicular às lâminas, de A para B. A força elétrica sobre o eletrão, com carga negativa, é também perpendicular às lâminas, mas de B para A, e tem módulo  $F = |q| E$ . A aceleração produzida pelo campo sobre o eletrão, de B para A, tem o valor constante:

$$a = \frac{|q| E}{m} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 26.667}{9.109 \times 10^{-31}} = 4.684 \times 10^{12} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Comparada com essa aceleração, a aceleração da gravidade pode então ser desprezada e admite-se que a energia mecânica é unicamente energia cinética mais potencial elétrica. No vácuo a energia mecânica conserva-se porque não há forças dissipativas. Se o eletrão conseguisse chegar até à lâmina B, a conservação da energia mecânica implica:

$$\begin{aligned} \frac{m}{2} (v_A^2 - v_B^2) &= q (V_B - V_A) \\ \frac{9.109 \times 10^{-31}}{2} ((1.4 \times 10^6)^2 - v_B^2) &= -1.6 \times 10^{-19}(-4) \\ v_B &= 7.448 \times 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Mas como a aceleração na direção paralela às lâminas é nula, a componente paralela da velocidade permanece sempre igual a:

$$v_x = 1.4 \times 10^6 \cos(45^\circ) = 9.899 \times 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

E a velocidade total nunca pode ser menor que este valor. Como a velocidade obtida em B é menor, conclui-se que o eletrão não chegará até à lâmina B, mas seguirá uma trajetória parabólica que começa e termina na lâmina A. No ponto mais alto dessa parábola, a componente  $v_y$  da velocidade será nula, e a equação de movimento no eixo dos y é:

$$a_y = \frac{\Delta v_y}{\Delta t} \implies \Delta t = \frac{v_{0y}}{a_y} = \frac{9.899 \times 10^5}{4.684 \times 10^{12}} = 2.113 \times 10^{-7} \text{ s}$$

O tempo que demora o eletrão a regressar à lâmina A é o dobro e durante esse tempo a distância que se desloca na direção da lâmina A é:

$$\Delta x = 2 \Delta t v_x = 2 \times 2.113 \times 10^{-7} \times 9.899 \times 10^5 = 0.418 \text{ m}$$

**Problema 2.** Como  $1 \Omega = 1/(\text{F}\cdot\text{Hz})$ , então  $1 \text{ k}\Omega = 1/(\mu\text{F}\cdot\text{kHz})$  e pode usar-se unidades de  $\text{k}\Omega$  para a resistência,  $\mu\text{F}$  para a capacidade e  $\text{kHz}$  para as frequências  $s$  e  $\omega$ .  $1 \text{ H} = 1 \Omega/\text{Hz} = 1 \text{ k}\Omega/\text{kHz}$  e então a indutância deve ser dada em H. A resistência, o condensador e o indutor estão em série e a impedância equivalente é:

$$Z = 0.25 + \frac{1}{3s} + 5s = \frac{15s^2 + 0.75s + 1}{3s}$$

A transformada de Laplace da corrente em todos os elementos do circuito é:

$$\tilde{I} = \frac{\tilde{V}_e}{Z} = \frac{3s\tilde{V}_e}{15s^2 + 0.75s + 1}$$

onde  $\tilde{V}_e$  é a transformada do sinal de entrada. A transformada do sinal de saída é a impedância do condensador em série com o indutor, vezes a corrente:

$$\tilde{V} = \frac{15s^2 + 1}{3s} \tilde{I} = \frac{15s^2 + 1}{15s^2 + 0.75s + 1} \tilde{V}_e$$

A função de transferência é:

$$H(s) = \frac{\tilde{V}}{\tilde{V}_e} = \frac{15s^2 + 1}{15s^2 + 0.75s + 1}$$

e a função resposta de frequência é:

$$H(i\omega) = \frac{1 - 15\omega^2}{1 - 15\omega^2 + i0.75\omega}$$

## Perguntas

- |      |       |       |
|------|-------|-------|
| 3. A | 8. E  | 13. A |
| 4. C | 9. E  | 14. A |
| 5. C | 10. D | 15. C |
| 6. C | 11. A | 16. A |
| 7. E | 12. A | 17. C |