Capítulo 9 – Indução eletromagnética

Perguntas:

1 (Opção B).
2 (Opção C).
3 (Opção E).
4 (Opção E).
5 (Opção C).

2) $L = 0{,}25\,m$ $\quad v = 12\,m/s$ $\quad B = 80\,G = 80\times10^{-4}\,T$

$\Delta V = L|\vec{v}\times\vec{B}| = L v B \sin 90^\circ = 0{,}25\times12\times80\times10^{-4} = 0{,}024\,V$

4) $m_{novo} = \frac{m}{2}$ $\quad I_{novo} = 3I$ $\quad L_{bobina} = m^2 L_{espira} = \left(\frac{m}{2}\right)^2 L_{espira} = \frac{m^2}{4} L_{espira} = \frac{L_{antigo}}{4}$

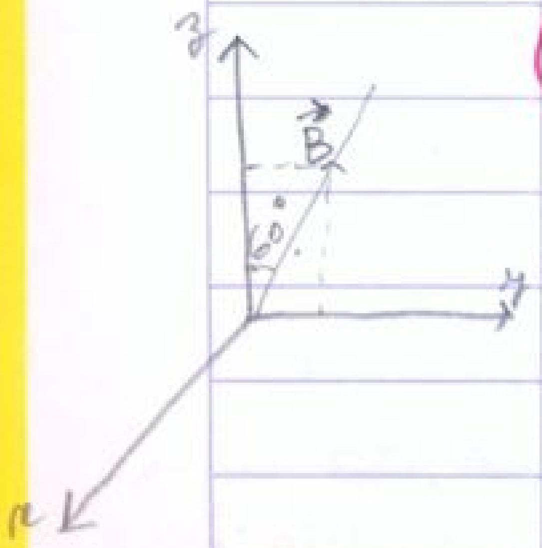
5) $0{,}05\,m$ $\quad 0{,}03\,m$ $\quad m = 100$ espiras $\quad |\vec{B}| = 0{,}35\,T$ $\quad 55^\circ$ $\quad \Delta t = 0{,}33\,s$ $\quad \alpha_f = 90^\circ$

$\overline{\mathcal{E}_m} = \frac{\Phi_i}{\Delta t} = \frac{0{,}03}{0{,}33} = 0{,}091\,V$ $\quad \overline{\mathcal{E}_m} = -\frac{\Phi_f - \Phi_i}{\Delta t}$ $\quad \Phi_{bobina_i} = m\,\Phi_{espiras} = m A B \cos\theta = 100\times0{,}05\times0{,}03\times0{,}35\times\cos 55^\circ = 0{,}03$ $\quad \Phi_{bobina_f} = 100\times0{,}05\times0{,}03\times0{,}35\times\cos 90^\circ = 0{,}091\,V = 91\,mV$

Problemas:

1 a) O fluxo aumenta até um valor máximo, decresce até um valor mínimo local em t_1, volta a aumentar até o valor máximo e a seguir diminui monoticamente. A corrente troca de sentido 3 vezes, nos pontos onde o fluxo é máximo ou mínimo. b) Enquanto o anel se aproxima desde longe a corrente aumenta desde zero, e quando o anel já está a afastar-se longe do íman, a corrente decresce até zero.

2 $L = 0{,}09\,m$ $\quad v = 0{,}18\,m/s$ $\quad B = 3{,}5\,G = 3{,}5\times10^{-4}\,T$ $\quad \mathcal{E}_i = L|\vec{v}\times\vec{B}| = L v B \sin\theta = 0{,}09\times0{,}18\times3{,}5\times10^{-4}\times\sin 90^\circ = 5{,}67\times10^{-6}\,V$



3 $L = 60\,m$ $\quad v = 800\,km/h = 222{,}2\,m/s$ $\quad \vec{v}$ $\quad 60^\circ$ $\quad \vec{B}$ $\quad B = 0{,}5\,G = 0{,}5\times10^{-4}\,T$

Escolhendo o eixo x na direção de oeste para leste, o eixo y na direção de sul para norte e o eixo z na vertical, de baixo para cima.

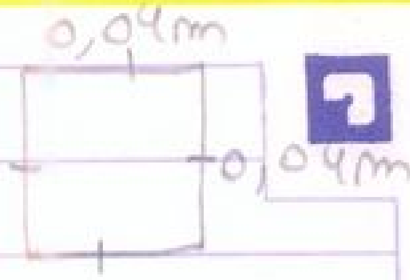
$\vec{v} = 222{,}2\,\hat{j}$ $\quad \vec{B} = 0{,}5\times10^{-4}\left(\sin 60^\circ\,\hat{j} + \cos 60^\circ\,\hat{k}\right) = 0{,}5\times10^{-4}\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\hat{j} + \frac{\hat{k}}{2}\right)$

$\vec{E}_i = \vec{v}\times\vec{B} = 0{,}5\times10^{-4}(222{,}2\,\hat{j})\times\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\hat{j} + \frac{\hat{k}}{2}\right) = 5{,}555\times10^{-3}\,\hat{i}$

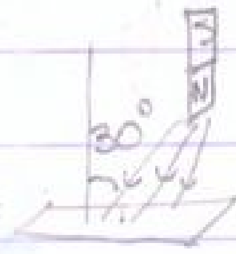
O deslocamento infinitesimal ao longo das asas é $d\vec{r} = \hat{i}\,dx$.

$\mathcal{E}_i = \int \vec{E}_i \cdot d\vec{r} = \int_0^{60} 5{,}555\times10^{-3}(\hat{i}\cdot\hat{i})\,dx = 0{,}333\,V.$

(4) $B_i = 0 \quad B_f = 0{,}5\,T \quad \Delta t = 200\,ms = 0{,}2\,s$



$$\overline{\varepsilon_m} = -\frac{\Psi_f - \Psi_i}{\Delta t} \qquad \Psi_i = AB_i\cos\theta = 0$$



$$\overline{\varepsilon_m} = -\frac{\Psi_f}{\Delta t} \qquad \Psi_f = AB_f\cos\theta = 0{,}04^2 \times 0{,}5 \times \cos 30° = 6{,}93\times10^{-4}\,T\cdot m^2$$

$$|\overline{\varepsilon_m}| = \left|-\frac{6{,}93\times10^{-4}}{0{,}2}\right| = 3{,}5\times10^{-3}\,V = 3{,}5\,mV.$$

Vista de cima, a corrente na espira tem sentido anti-horário.

(5) $\vec{E_i} = \vec{v}\times\vec{B} = vB\overbrace{\sin 90°}^{1} = vB \qquad \varepsilon_i = \int_P^Q \vec{E_i}\cdot d\vec{r} = E_i\int_P^Q dr = dvB$

$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{dvB}{R} \qquad F_m = L\vec{I}\times\vec{B} = dIB\overbrace{\sin 90°}^{1} = dIB = \frac{d^2B^2v}{R}$$

No instante final: $\vec{F_m}$, $\vec{F_g}$ $\quad F_m = F_g \Leftrightarrow \frac{d^2B^2v}{R} = mg \Leftrightarrow v = \frac{mgR}{B^2d^2}$

(6) $B = 0{,}6\,e^{-\frac{t}{15}} \quad r = 0{,}09\,m \quad \Psi = AB\overbrace{\cos\theta}^{\cos 0° = 1} = 0{,}09^2 \times 0{,}6\,e^{-\frac{t}{15}} = 0{,}00486\,e^{-\frac{t}{15}}$

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Psi}{dt} = 3{,}24\times10^{-4}\,e^{-\frac{t}{15}} \qquad \varepsilon_i = -\int \vec{E}\,d\vec{r} \Leftrightarrow$$

$\Leftrightarrow \varepsilon_i = -E\times\underbrace{0{,}18}_{\text{ao longo do anel}} \Leftrightarrow E = 0{,}0018\,e^{-\frac{t}{15}}$, na direção tangente ao anel e no sentido horário.

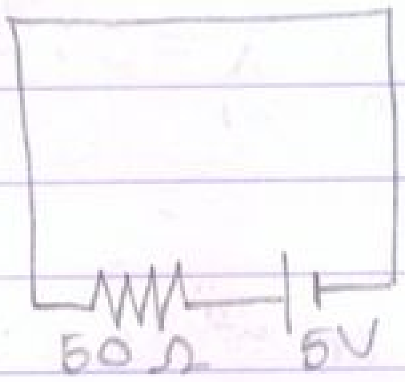
(7) $\vec{B}\cdot\hat{n} = \vec{B}\cdot\hat{\imath} = B_x = 6 - y \leftarrow$ componente do campo $\perp$ à espira.
A aresta que se encontra no eixo dos z em $t=0$ estará na posição $3t$ num instante t e a outra aresta paralela ao eixo dos z estará em $3t+0{,}2$. As duas arestas paralelas ao eixo dos y estão sempre nas posições z_0 e $z_0+0{,}3$.

$$\Psi = \int_{3t}^{3t+0{,}2}\int_{z_0}^{z_0+0{,}3}(6-y)\,dz\,dy = -0{,}18t + 0{,}354$$

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Psi}{dt} = -(-0{,}18) = 0{,}18\,V$$

O sinal positivo indica que é no sentido da regra da mão direita em relação ao vetor $\hat{n}$ usado, ou seja, $\hat{\imath}$.
Como tal, a f.e.m. induzida produz corrente induzida no sentido da rotação do eixo dos y para o eixo dos z.

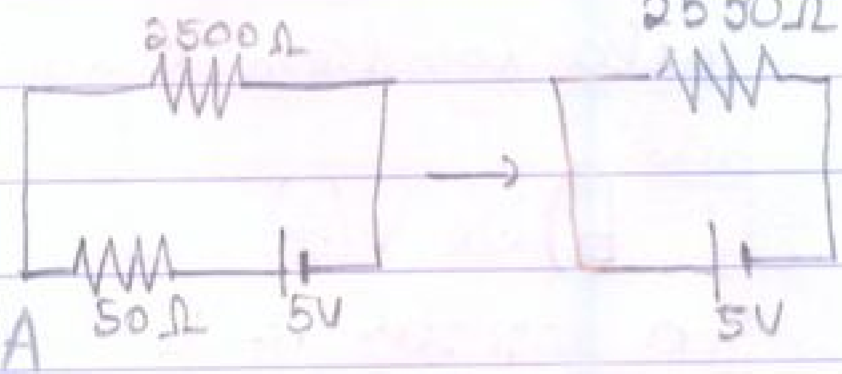
8) Circuito inicial:



$I_I = 0$

$$I_c = I_R = \frac{\Delta V}{R} = \frac{5}{50} = 0{,}1\,A$$

Circuito final:



$$I_I = I_R = \frac{\Delta V}{R} = \frac{5}{2550} = 1{,}96\times10^{-3}\,A$$

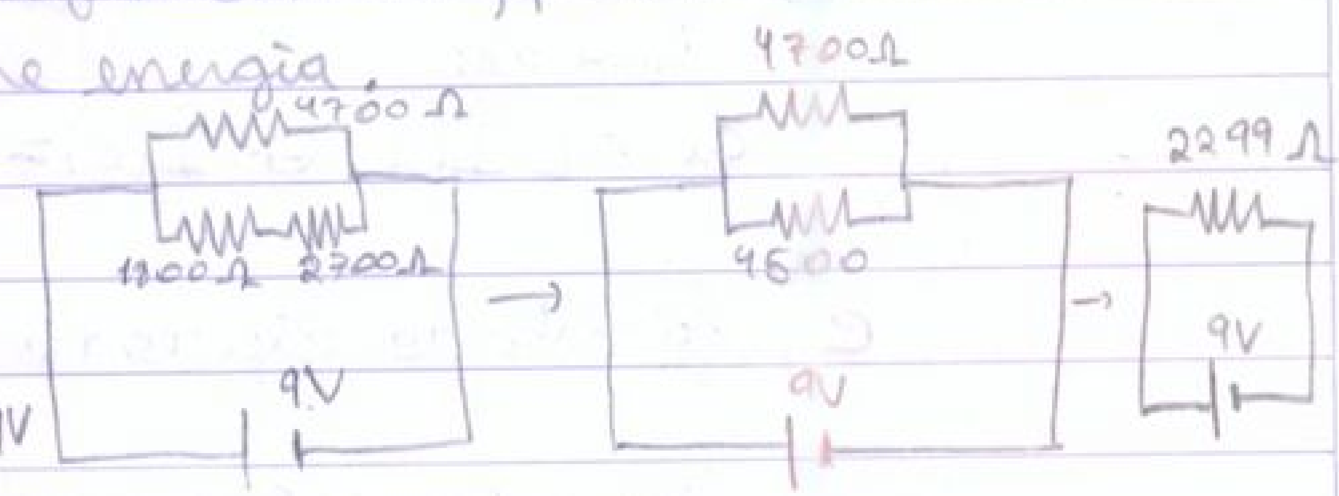
$$\Delta V_c = RI = 2500\times1{,}96\times10^{-3} = 4{,}9\,V \quad Q_c = C\Delta V = 3{,}6\times10^{-6}\times4{,}9 = 1{,}764\times10^{-5}\,C$$

9) a)

$$I_I = I_R = \frac{\Delta V}{R} = \frac{50}{2500} = 0{,}02\,A = 20\,mA.$$

b) A corrente diminui enquanto a carga aumenta. Quando a corrente decresce até zero, a carga atinge um valor máximo e nesse momento, o condensador começa a descarregar, surgindo uma corrente que aumenta, no sentido contrário à inicial. Quando a carga diminui até zero, a corrente é máxima e com a mesma intensidade inicial. O ciclo repete-se indefinidamente, pois não existe nenhuma resistência que dissipe energia.

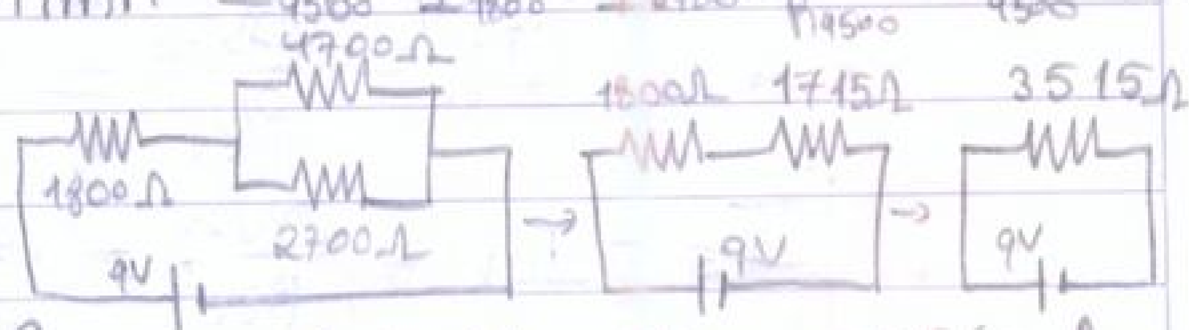
10) Em $t=0$:



$$\Delta V_{2299} = \Delta V_{4700} = \Delta V_{4500} = 9V$$

$$I_{4700} = \frac{\Delta V_{4700}}{R_{4700}} = \frac{9}{4700} = 1{,}91\,mA \quad I_{4500} = I_{1800} = I_{2700} = \frac{\Delta V_{4500}}{R_{4500}} = \frac{9}{4500} = 2\,mA$$

No estado estacionário:



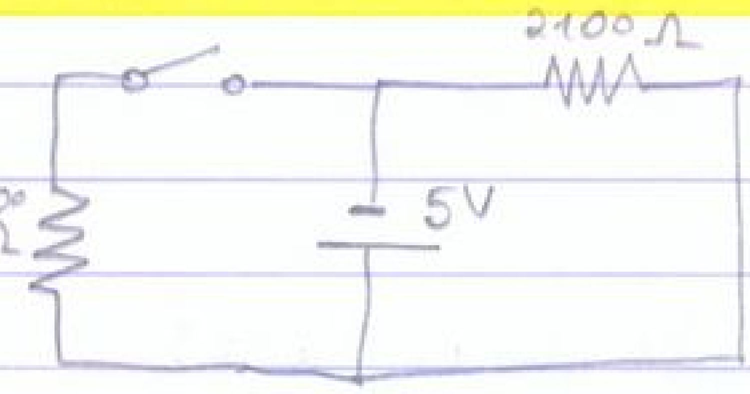
$$I_{3515} = I_{1800} = I_{1715} = \frac{\Delta V_{3515}}{R_{3515}} = \frac{9}{3515} = 2{,}56\times10^{-3}\,A \quad I_{1800} = 2{,}56\,mA$$

$$\Delta V_{1715} = R_{1715} I_{1715} = 1715\times2{,}56\times10^{-3} = 4{,}3904\,V = \Delta V_{4700} = \Delta V_{2700}$$

$$I_{4700} = \frac{\Delta V_{4700}}{R_{4700}} = \frac{4{,}3904}{4700} = 9{,}34\times10^{-4}\,A = 0{,}93\,mA$$

$$I_{2700} = \frac{\Delta V_{2700}}{R_{2700}} = \frac{4{,}3904}{2700} = 1{,}63\times10^{-3}\,A = 1{,}63\,mA$$

11 a) Em t = 0:



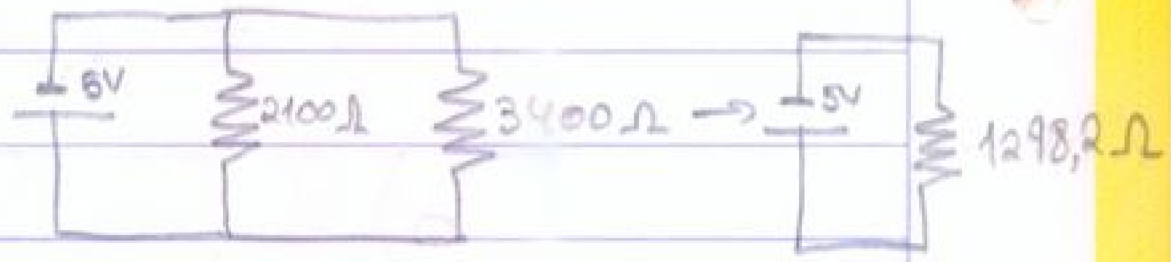
Como a corrente na resistência de 3400 Ω é nula, a voltagem nela também é igual a zero.

b) Se V(t) e I(t) são a voltagem e intensidade da corrente na resistência de 3400 Ω, em função do tempo, pela lei de Ohm:

$\dot{V}(t) = 3400\,\dot{I}(t)$ A corrente na resistência é igual à corrente no indutor. $V(t) = -L\dot{I}(t) \Leftrightarrow \dot{I}(t) = \frac{V(t)}{L}$

$\dot{I}(0) = \frac{V(0)}{L} = \frac{5}{0{,}412} = 12{,}136$ $\dot{V}(0) = 3400\,\dot{I}(0) = 3400 \times 12{,}136 = 41262\,V = 41{,}26\,\frac{kV}{s}$

c) No estado estacionário:



$\Delta V_{3400} = \Delta V_{1298,2} = 5V$

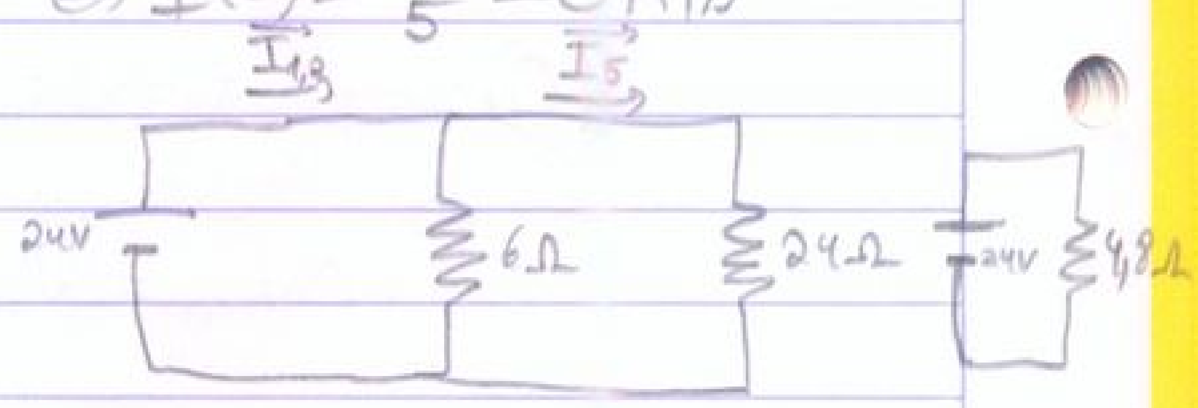
12 a) Lei das malhas: $24 + \Delta V_{1,2} = 0 \Leftrightarrow |\Delta V_{1,2}| = 24V$

$0 + \Delta V_5 + 0 = 0 \Leftrightarrow \Delta V_5 = 0V$

b) (para 1,2 H) $\varepsilon_i = L\dot{I}(t) \Leftrightarrow \dot{I}(0) = \frac{\varepsilon_i}{L} \Leftrightarrow \dot{I}(0) = \frac{24}{1{,}2} = 20\,A/s$

(para 5 H) $\varepsilon_i = L\dot{I}(t) \Leftrightarrow \dot{I}(0) = \frac{\varepsilon_i}{L} \Leftrightarrow \dot{I}(0) = \frac{0}{5} = 0\,A/s$

c) No estado estacionário:



$\Delta V_{4,8} = \Delta V_6 = \Delta V_{24} = 24V = \Delta V_{1,2}$

$I_{4,8} = I_{1,2} = \frac{\Delta V_{4,8}}{R_{4,8}} = \frac{24}{4{,}8} = 5\,A$ $I_{1,2} = 5A$

$I_5 = I_{24} = \frac{\Delta V_{24}}{R_{24}} = \frac{24}{24} = 1A$ $I_5 = 1A$