

Nom 

SOLUTIONS
-----------

Numéro \_\_\_\_\_

Professeur Marc de Montigny  
Date vendredi 21 avril 2023, de 14h à 17h  
Lieu gymnase de la FSJ, rangée 3

### INSTRUCTIONS

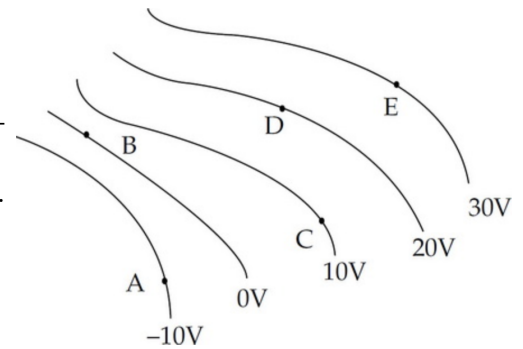
- Cet examen contient **9 pages**, incluant celle-ci. Écrivez-y directement vos réponses. Vous pouvez utiliser le verso pour vos calculs; je ne le corrigerai pas, sauf si vous m'indiquez de le faire.
- L'examen contient **35 points** et vaut **35%** de la note finale du cours.
- L'examen contient **16 questions**, de type problèmes longs. Vous pourrez obtenir une partie des points, même si des réponses finales sont erronées.
- Examen à livre fermé. Vous pouvez utiliser l'aide-mémoire (une feuille recto-verso) que vous aurez imprimé et complété. Vous perdrez 5/35 si vous y avez inclus des solutions ou si vous ne retournez pas votre aide-mémoire avec l'examen.
- Matériel permis: aide-mémoire, crayon ou stylo, calculatrice (programmable ou graphique permise). Tout autre appareil électronique ou moyen de communication est interdit. Mettez vos téléphones cellulaires hors circuit.

**Si quelque chose n'est pas clair, n'hésitez pas à me demander de clarifier!**

**Question 1. Courbes équipotentielles électriques [1.5 point]**

Considérez les courbes équipotentielles électriques ci-contre.

- (a) Le champ électrique est-il plus grand à B ou à D?  
 (b) Quel est le changement d'énergie potentielle électrique d'une particule de charge  $-3 \mu\text{C}$  quand elle passe du point B au point D?  
 (c) Tracez qualitativement les champs électriques  $\mathbf{E}$  aux points B et D.



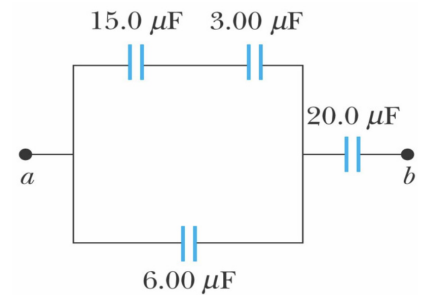
Réponses: (a) B, (b)  $\Delta U = q\Delta V = (-3 \times 10^{-6})(+20) = -60 \mu\text{J}$ ,

(c)  $\perp$  aux courbes vers le bas à gauche, plus grand à B qu'à D.

**Question 2. Combinaisons de condensateurs [3.0 points]**

Quatre condensateurs sont branchés tel qu'indiqué par la figure de droite.

- (a) Quelle est la capacité équivalente entre les points  $a$  et  $b$ ?  
 (b) Si on branche une pile de f.é.m.  $15.0 \text{ V}$  aux points  $a$  et  $b$ , quelle sera la charge sur chacun des condensateurs?



**Solutions**

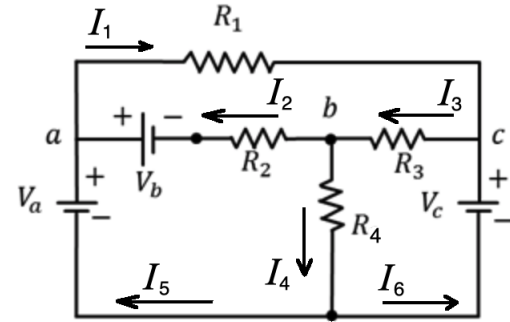
(a)  $15.0 \mu\text{F}$  en série avec  $3.00 \mu\text{F}$  sont équivalents à  $2.50 \mu\text{F}$  (en additionnant les inverses). Ensuite, ce  $2.50 \mu\text{F}$  est en parallèle avec  $6.00 \mu\text{F}$ , qui donne  $8.50 \mu\text{F}$ , et ce  $8.50 \mu\text{F}$  en série avec  $20.0 \mu\text{F}$  donne  $5.96 \mu\text{F}$ .

(b) La charge sur  $20.0 \mu\text{F}$  est aussi égale à la charge totale:  $CV = (5.96 \mu\text{F})(15.0 \text{ V}) \rightarrow Q_{20} = 89.5 \mu\text{C}$ . Ceci donne le potentiel à  $20.0 \mu\text{F}$ :  $V_{20} = \frac{Q}{C} = \frac{89.5}{20} = 4.47 \text{ V}$ . Donc  $V_6 = 15 - 4.47 = 10.53 \text{ V}$ , ce qui donne la charge sur  $6.00 \mu\text{F}$ :  $CV = (6.00 \mu\text{F})(10.53 \text{ V}) \rightarrow Q_6 = 63.2 \mu\text{C}$ . Finalement, la charge sur  $15.0 \mu\text{F}$  et  $3.00 \mu\text{F}$  est la différence entre la charge totale et  $Q_{20}$ :  $89.5 - 63.2 \rightarrow Q_{15} = Q_3 = 26.3 \mu\text{C}$ .

[suite à la p. 3...]

**Question 3. Lois de Kirchhoff [2.5 points]**

Soit le circuit ci-contre, qui contient 3 piles et 4 résistances, avec les 5 courants indiqués. Énoncez, sans les résoudre, quatre (4) équations découlant des lois de Kirchhoff, en termes des  $V$ ,  $R$  et  $I$  illustrés dans le circuit.



Réponses Quatre parmi les possibilités (et leurs équivalences) suivantes:

$$I_1 = I_2 + I_5, \quad I_3 = I_2 + I_4, \quad I_4 = I_5 + I_6, \quad I_3 = I_1 + I_6$$

$$V_a - V_b + R_2 I_2 - R_4 I_4 = 0, \quad V_c - R_3 I_3 - R_4 I_4 = 0, \quad V_b - R_1 I_1 - R_3 I_3 - R_2 I_2 = 0, \text{ etc.}$$

**Question 4. Puissance électrique [2.5 points]**

Un grille-pain consiste en un élément chauffant de résistance  $R_E = 9.60$  ohms branché en série avec un cordon d'alimentation de faible résistance  $R_C = 0.0200$  ohm et une source de f.é.m. de 120 V.

- Quel est le courant  $I$  dans ce circuit en série?
- Quelle est la puissance dissipée dans le cordon d'alimentation?
- Quelle est la puissance dissipée dans l'élément chauffant?

Solutions

- (a)  $R_{\text{eq}} = R_C + R_E$  qui permet de calculer le courant de  $V = R_{\text{eq}} I$ ,

$$I = \frac{V}{R_C + R_E} = \frac{120}{0.02 + 9.6} = 12.47 \approx \boxed{12.5 \text{ A}}$$

- (b) La puissance dans le cordon vaut

$$P_C = R_C I^2 = 0.02(12.47)^2 = \boxed{3.1 \text{ W}}$$

- (c) De la même façon,

$$P_E = R_E I^2 = 9.6(12.47)^2 = \boxed{1490 \text{ W}}$$

[suite à la p. 4...]

**Question 5. Champs électrique et magnétique [2.5 points]**

Un proton, de masse  $1.67 \times 10^{-27}$  kg et de charge  $+1.60 \times 10^{-19}$  C entre avec un vecteur vitesse  $6.60 \times 10^5 \mathbf{z}$  m/s dans une région où il existe un champ électrique  $\mathbf{E} = 1670 \mathbf{x}$  N/C et un champ magnétique  $\mathbf{B} = -14.5 \mathbf{y}$  gauss. ( $\mathbf{x}$ ,  $\mathbf{y}$  et  $\mathbf{z}$  sont des vecteurs unitaires.)

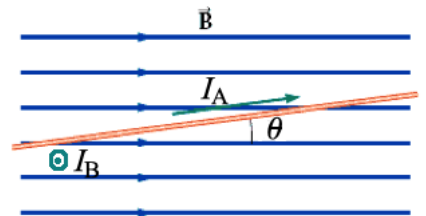
- (a) Quel est le vecteur force électrique  $\mathbf{F}_E$  sur ce proton?  
 (b) Quel est le vecteur force magnétique  $\mathbf{F}_B$  sur le proton?  
 (c) Quel est le vecteur accélération  $\mathbf{a}$  du proton?

Solutions

- (a)  $\mathbf{F}_E = q\mathbf{E} = (1.60 \times 10^{-19})(1670) \mathbf{x} = 2.67 \times 10^{-16} \mathbf{x}$  N  
 (b)  $\mathbf{F}_B = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) = (1.60 \times 10^{-19})(6.60 \times 10^5 \mathbf{z}) \times (-14.5 \times 10^{-4} \mathbf{y}) = 1.53 \times 10^{-16} \mathbf{x}$  N  
 (c)  $\mathbf{F}_E + \mathbf{F}_B = m\mathbf{a}$  donne  $\mathbf{a} = (1.53 + 2.67) \times 10^{-16} \mathbf{x} / 1.67 \times 10^{-27} = 2.51 \times 10^{11} \mathbf{x}$  m/s<sup>2</sup>

**Question 6. Force magnétique sur un courant [2.0 points]**

La figure ci-contre montre deux courants plongés dans un champ magnétique horizontal de grandeur  $B = 375$  gauss. Le courant  $I_A = 6.50$  A est dans le plan de la page est fait un angle  $\theta = 7.40^\circ$  par rapport à l'horizontale, tandis que le courant  $I_B = 4.95$  A sort de la page.



Quelles sont la grandeur et la direction de la force magnétique *par mètre*,

- (a) sur  $I_A$ ?  
 (b) sur  $I_B$ ?

Solutions

De  $F = ILB \sin \theta$ , on obtient  $\frac{F}{L} = IB \sin \theta$ , de sorte que

- (a) pour  $I_A$ , on calcule

$$\frac{F}{L} = I_A B \sin \theta = (6.50)(375 \times 10^{-4}) \sin(7.4) = 3.14 \times 10^{-2} \text{ N/m dans la page}$$

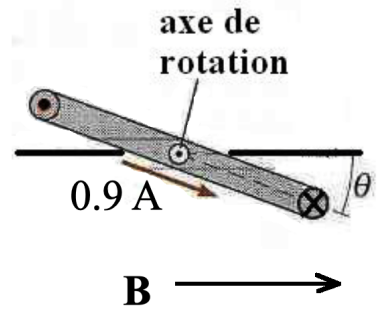
- (b) et pour  $I_B$ , on obtient

$$\frac{F}{L} = I_B B \sin \theta = (4.95)(375 \times 10^{-4}) \sin(90) = 0.186 \text{ N/m vers le haut}$$

[suite à la p. 5...]

**Question 7. Moment de force sur une boucle de courant [2.0 points]**

La figure montre une vue du dessus d'une boucle rectangulaire de 40 cm par 30 cm qui n'a qu'un seul tour et parcourue par un courant de 0.90 A. Ce cadre fait un angle  $\theta = 18^\circ$  par rapport à un champ magnétique  $\mathbf{B}$  de 1.4 T. Le courant sort de la page à gauche et entre à droite, tel qu'indiqué.



- (a) Quelles sont la grandeur et la direction du moment magnétique  $\vec{\mu}$  ?  
 (b) Quelle est la grandeur du moment de force  $\vec{\tau}$  causé par  $\mathbf{B}$  ?  
 (c) Sous l'action de  $\mathbf{B}$ , dans quelle direction la boucle aura-t-elle tendance à tourner, autour de son axe de rotation?

Solutions

- (a) La grandeur vaut  $\mu = NIA = (1)(0.9)(0.4 \times 0.3) = 0.108 \text{ A}\cdot\text{m}^2$ , à  $72^\circ$  au-dessus de l'horizontale  
 (b) Le moment de force vaut  $\tau = \mu B \sin \theta = (0.108)(1.4) \sin(72^\circ) = 0.144 \text{ N}\cdot\text{m}$   
 (c) Sens horaire

**Question 8. Loi de Faraday [2.0 points]**

Une bobine circulaire de 950 tours et de rayon 6.0 cm tourne dans un champ magnétique uniforme  $\mathbf{B}$ . À  $t = 0$  s, l'axe de la bobine est perpendiculaire à  $\mathbf{B}$ , de sorte qu'aucun flux ne la traverse. À  $t = 10$  ms, l'axe de la bobine fait un angle de  $\phi = 45^\circ$  avec  $\mathbf{B}$  (la bobine a alors effectué 1/8ème de cycle). Si une f.é.m. moyenne de grandeur 65 mV est alors induite dans la bobine, quelle est la grandeur de  $\mathbf{B}$ ?

Solution

Le changement de flux est

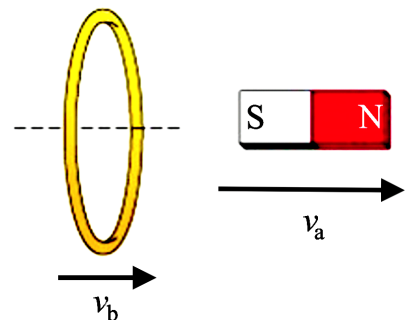
$$\Delta\Phi = \Phi_f - \Phi_i = BA \cos(45^\circ) - BA \cos(90^\circ) = \frac{1}{\sqrt{2}}BA - 0$$

et la grandeur de la f.é.m. est obtenue de la loi de Faraday-Lenz:

$$\mathcal{E} = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{NBA}{\sqrt{2}t} \rightarrow B = \frac{\sqrt{2}t\mathcal{E}}{NA} = \frac{\sqrt{2}t\mathcal{E}}{N\pi r^2} = \frac{\sqrt{2}(0.010)(0.065)}{(950)\pi(0.06)^2} = 8.6 \times 10^{-5} \text{ T}$$

**Question 9. Loi de Lenz [1.5 point]**

La figure ci-contre montre un aimant à droite d'une boucle fermée. Tel qu'illustré, les deux objets se déplacent vers la droite, mais l'aimant se déplace plus vite, c.-à-d.  $v_a > v_b$ . Si le pôle sud se trouve proche de la boucle, y aura-t-il un courant induit dans la boucle, et si oui, sera-t-il dans le sens horaire ou anti-horaire?



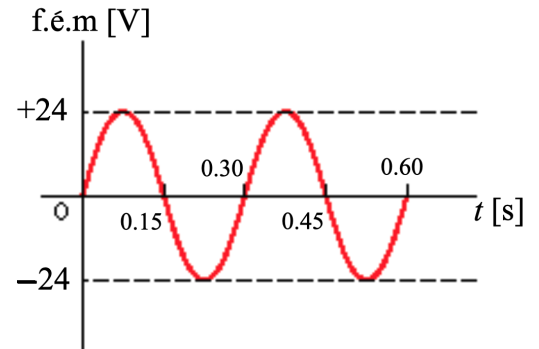
Réponse: anti-horaire car  $\Phi_B$  diminue, dont  $\mathbf{B}_{\text{ind}}$  même sens que  $\mathbf{B}$ , vers la droite.

[suite à la p. 6...]

**Question 10. Générateurs [2.0 points]**

Le graphique à droite montre la f.é.m. produite par un générateur en fonction du temps  $t$ . La bobine de cet appareil a un rayon de 7.5 cm par tour et contient 200 tours. Trouvez

- (a) la fréquence  $f$  du générateur en hertz,
- (b) la fréquence angulaire  $\omega$ , en rad/s, et
- (c) la grandeur du champ magnétique.



**Solutions**

- (a) Le graphique montre la période  $T = 0.30$  s, d'où la fréquence  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.3} = 3.\bar{3} \approx \boxed{3.3 \text{ Hz}}$
- (b)  $\omega = 2\pi f = 2\pi(3.\bar{3}) = 20.94395 \approx \boxed{21 \text{ rad/s}}$
- (c) La f.é.m. max est  $\mathcal{E}_{\text{max}} = NBA\omega$ , où  $A = \pi r^2$ , de sorte que

$$B = \frac{\mathcal{E}_{\text{max}}}{N\omega\pi r^2} = \frac{24}{(200)(20.94395)\pi(0.075)^2} = 0.32423 \approx \boxed{0.32 \text{ T}}$$

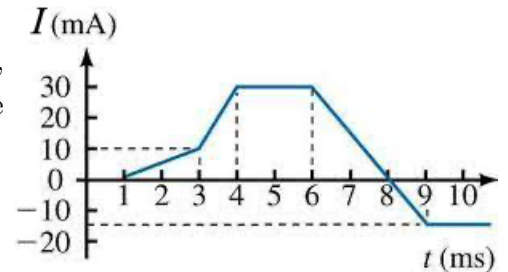
**Question 11. Inductance et f.é.m. dans une bobine [2.5 points]**

Une bobine d'induction, d'aire transversale  $47 \text{ cm}^2$ , a une longueur de 19 cm et compte 470 enroulements.

- (a) Quelle est l'inductance  $L$  de cette bobine?

Si cette bobine est parcourue par le courant  $I$  variable, montré ci-contre,

- (b) à quels instants, entre 1 et 10 ms, la f.é.m. dans la bobine vaut-elle zéro, et
- (c) quelle est la f.é.m. dans la bobine à  $t = 7$  ms?



**Solutions**

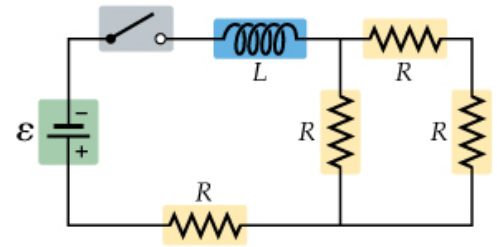
- (a)  $L = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} A = (4\pi \times 10^{-7}) \frac{470^2}{0.19} (47 \times 10^{-4}) = 6.8667 \times 10^{-3} \approx \boxed{6.9 \text{ mH}}$
- (b)  $\boxed{4 \leq t \leq 6 \text{ ms et } 9 \leq t \leq 10 \text{ ms}}$
- (c) La f.é.m. est donnée par

$$\mathcal{E} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -6.8667 \times 10^{-3} \times \frac{-0.015 - 0.030}{0.009 - 0.006} = \boxed{0.10 \text{ V}}$$

[suite à la p. 7...]

**Question 12. Circuits RL [2.5 points]**

Considérez le circuit RL ci-contre, qui contient une pile de 6.50 V, une bobine d'inductance 43.0 mH et quatre résistances identiques valant chacune 64.0 ohms. On ferme l'interrupteur à l'instant  $t = 0$ .



- (a) Quelle est la constante de temps  $\tau$  de ce circuit?
- (b) Quelle est le courant (constant) dans ce circuit après un temps long?
- (c) À quel temps  $t$  le courant dans l'inductance sera-t-il égal à 50 mA?

**Solutions**

(a) La résistance équivalente vaut  $R_{eq} = \frac{5}{3}R = \frac{5}{3}64 = 106.\bar{6} \Omega$ . La constante de temps est donnée par

$$\tau = \frac{L}{R_{eq}} = \boxed{0.403 \text{ ms}}$$

(b) Le courant terminal est

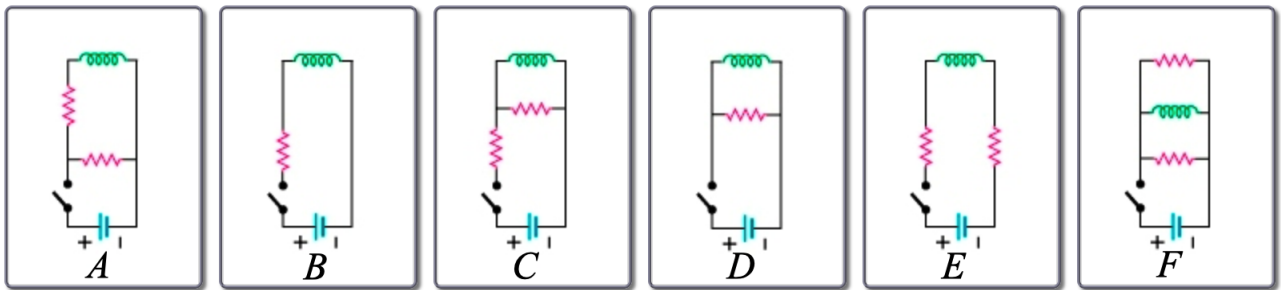
$$I_{max} = \frac{\mathcal{E}}{R_{eq}} = \frac{6.5}{106.\bar{6}} = \boxed{60.9 \text{ mA}}$$

(c) De la relation du courant en fonction du temps, on obtient

$$I(t) = I_{max} \left(1 - e^{-t/\tau}\right) \rightarrow t = -\tau \ln \left(1 - \frac{I(t)}{I_{max}}\right) = -(0.403) \ln \left(1 - \frac{50}{60.9}\right) = \boxed{0.693 \text{ ms}}$$

**Question 13. Circuits RL [2.0 points]**

Classez les six circuits ci-dessous, constitués de résistances  $R$  identiques, en ordre croissant du courant dans chaque circuit, longtemps après avoir fermé l'interrupteur. Au besoin, identifiez les égalités.



**Solution**

En remplaçant chaque bobine par un fil conducteur, on obtient les résistances équivalentes suivantes:

$$R_A = \frac{1}{2}R, R_B = R, R_C = R, R_D = 0, R_E = 2R, R_F = 0$$

de sorte que

$$\boxed{I_E < I_B = I_C < I_A < I_D = I_F}$$

[suite à la p. 8...]

**Question 14. Chaîne de réactions nucléaires [2.5 points]**

Ci-dessous, nous considérons des désintégrations de l'isotope naturel de thorium:  ${}_{90}^{232}\text{Th}$ .

(a) Si le noyau fils de la première désintégration est le radium,  ${}_{88}^{228}\text{Ra}$ , quel type de radioactivité est émis: alpha, bêta-plus, bêta-moins, ou gamma?

(b) Quelle énergie, en méga-électronvolt (MeV), est émise lors de cette désintégration, sachant que la masse atomique de  ${}_{90}^{232}\text{Th}$  est 232.038054 u et celle du  ${}_{88}^{228}\text{Ra}$  vaut 228.0301069 u? (Rappel: 1 u = 931.5 MeV/c<sup>2</sup>. Vous aurez aussi besoin de l'une des masses suivantes:  $m_{\text{alpha}} = 4.002603$  u,  $m_{\text{beta}+} = m_{\text{beta}-} = 0.000548$  u ou  $m_{\text{gamma}} = 0.000$  u.)

(c) Le radium  ${}_{88}^{228}\text{Ra}$  subit ensuite une série de désintégrations bêta qui mène à un autre isotope de thorium:  ${}_{90}^{228}\text{Th}$ . S'agit-il de bêta-plus ou bêta-moins? Combien de désintégrations bêta sont impliquées?

Solutions

(a) Comme  $\Delta A = 4$  et  $\Delta Z = 2$ : alpha

(b) L'énergie est égale à la différence de masse multipliée par  $c^2$ :

$$(m_{\text{Th}} - m_{\text{Ra}} - m_{\alpha})c^2 = (232.038054 - 228.0301069 - 4.002603)\text{u} \times c^2 \times \frac{931.5 \text{ MeV}/c^2}{\text{u}} = 4.98 \text{ MeV}$$

(c) Deux désintégrations bêta-moins

**Question 15. Radiation et dosimétrie [1.5 point]**

Au cours d'un vol d'avion typique de 3.5 heures, les passagers sont exposés à 65  $\mu\text{J}/\text{h}$  de radioactivité de plus que la radioactivité de fond reçue du sol, principalement des protons (d'efficacité biologique RBE = 10) de rayons cosmiques qui sont autrement absorbés par l'atmosphère avant d'atteindre la surface terrestre.

(a) Quelle dose, en rad, est reçue par une personne de 92 kg dans cet avion?

(b) Quelle est la dose, en rem, reçue par cette personne?

Solutions

(a) La dose en rad est

$$\frac{E}{m} = \frac{(65 \times 10^{-6} \text{ J/h})(3.5 \text{ h})}{92 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ rad}}{0.01 \text{ J/kg}} = 2.5 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

(b) dose en rem = (dose en rad)(RBE) =  $(2.5 \times 10^{-4})(10) = 2.5 \text{ mrem}$

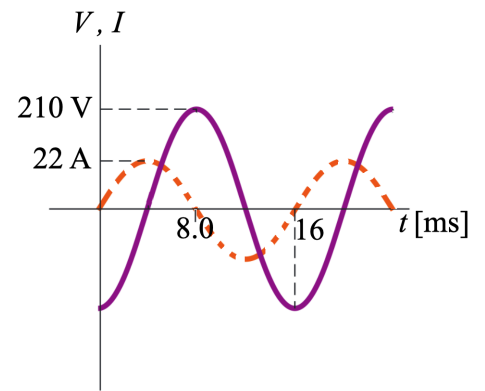
[suite à la p. 9...]



**Question 16. Circuits RLC à courant alternatif [2.5 points]**

Le graphique ci-contre montre le courant  $I$  et le voltage  $V$ , en fonction du temps  $t$ , dans un circuit à courant alternatif qui contient une source de courant et un élément inconnu: soit une résistance ( $R$ ), un condensateur ( $C$ ) ou une bobine d'induction ( $L$ ).  $V$  est le voltage instantané aux bornes de cet élément. En utilisant le graphique,

- (a) déterminez si l'élément inconnu est une résistance, un condensateur ou une bobine d'induction, et
- (b) calculez la valeur de la caractéristique correspondante de l'élément:  $R$ ,  $C$  ou  $L$ . (Donnez sa valeur en ohm, farad ou henry, selon le cas.)



**Solutions**

- (a)  $V$  est en retard de  $90^\circ$ , c'est donc un **condensateur**
- (b) Pour un condensateur, on a

$$V_{\max} = X_C I_{\max} = \frac{1}{\omega C} I_{\max} \rightarrow C = \frac{I_{\max}}{\omega V_{\max}} = \frac{T I_{\max}}{2\pi V_{\max}} = \frac{(0.016)(22)}{2\pi(210)} = 0.000267 \approx \boxed{267 \mu\text{F}}$$

Bonne chance! Passez un bon été!