

SOLUTIONS

Professeur Marc de Montigny
Date Vendredi 23 avril 2021, de 14 h à 17 h
Local En ligne. Les questions seront envoyées par courriel et affichées sur le web.

INSTRUCTIONS

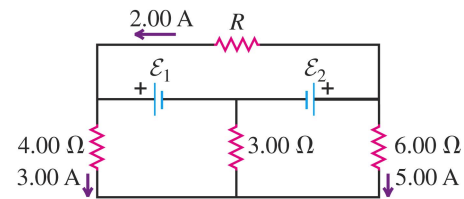
- L'examen contient 16 questions aux pages 2 à 8. Vous pouvez écrire vos solutions et réponses sur des feuilles séparées ou une tablette, et vous m'enverrez des photos ou scans par courriel à mdemonti@ualberta.ca avant 17 h.
- L'examen compte 30 points et vaut 30% de la note finale du cours.
- Pour chaque question, vous pourrez obtenir une partie des points même si votre réponse finale est incorrecte. Vous pouvez perdre des points pour une réponse finale sans aucune explication.
- Examen à livre ouvert, avec droit à vos notes, au manuel et à l'aide-mémoire, que vous aurez complété. N'utilisez ni l'internet, ni vos téléphones, sauf pour communiquer avec moi.
- Incluez une phrase semblable à "J'atteste que j'ai fait l'examen seul, sans aide ni discussion avec d'autres personnes".
- Je serai accessible par courriel (à mdemonti@ualberta.ca) pendant l'examen.
- Je superviserai l'examen via Zoom, auquel vous vous brancherez peu avant 14 h, en gardant vos caméras ouvertes et micros fermés, sans écouteurs.

Si quelque chose n'est pas clair, demandez-moi de clarifier!

Question 1. Lois de Kirchhoff [2.5 points]

Considérez le circuit de droite, avec les résistances et courants donnés.

- (a) Quel est le courant dans la résistance de 3.00Ω ?
 (b) Combien valent les deux f.é.m. \mathcal{E}_1 et \mathcal{E}_2 ?
 (c) Quelle est la valeur de la résistance R ?



Solutions

Définitions: I_1 passe dans \mathcal{E}_1 vers la gauche; I_2 passe dans \mathcal{E}_2 vers la droite; I_3 passe dans 3.00Ω vers le haut.

(a) Loi des courants, jonction du bas: $5 + 3 = I_3 = I_3 = 8 \text{ A vers le haut}$ (Ou encore, loi des courants, jonction de gauche: $+2 + I_1 - 3 = 0$ donne $I_1 = 1 \text{ A}$; jonction de droite: $-2 + I_2 - 5 = 0$ donne $I_2 = 7 \text{ A}$; jonction centrale: $-I_1 - I_2 + I_3 = 0$ donne aussi I_3 .)

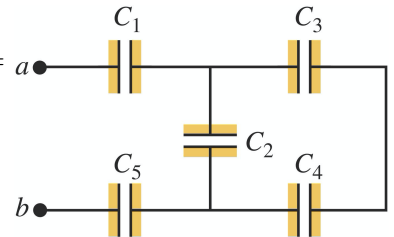
(b) Boucle de gauche: $\mathcal{E}_1 - (3)(4) - (3)(8)$ donne $\mathcal{E}_1 = 36 \text{ V}$; boucle de droite: $\mathcal{E}_2 - (6)(5) - (3)(8)$ donne $\mathcal{E}_2 = 54 \text{ V}$

(c) Boucle supérieure: $54 - 2R - 36 = 0$ donne $R = 9 \Omega$

Question 2. Combinaison de condensateurs [2.0 points]

Dans le circuit de droite, prenez $C_1 = C_5 = 8.40 \mu\text{F}$, et $C_2 = C_3 = C_4 = 4.20 \mu\text{F}$. On branche une pile de 220 V entre les points a et b .

- (a) Quelle est la capacité équivalente C_{eq} du circuit entre les points a et b ?
 (b) Quelle est la valeur de la charge Q_{eq} sur la capacité équivalente C_{eq} ?



Solutions

(a) On utilise $C_{34}^{-1} = C_3^{-1} + C_4^{-1}$, $C_{234} = C_2 + C_{34}$, et finalement $C_{eq}^{-1} = C_1^{-1} + C_5^{-1} + C_{234}^{-1}$ qui donne, en un seul calcul,

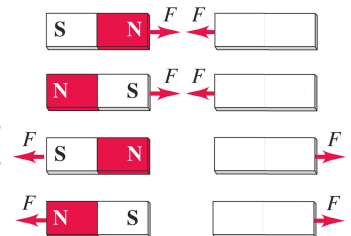
$$C_{eq} = \left[C_1^{-1} + C_5^{-1} + \left(C_2 + (C_3^{-1} + C_4^{-1})^{-1} \right)^{-1} \right]^{-1} = 2.52 \mu\text{F}$$

(b) La charge totale sur C_{eq} vaut

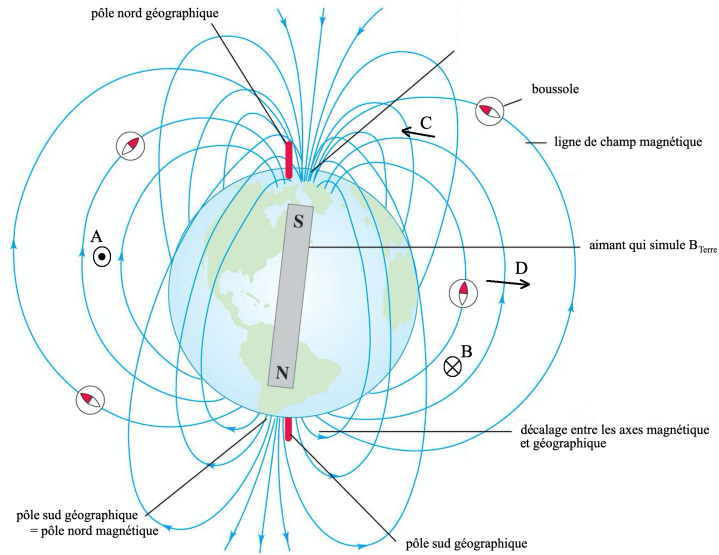
$$Q_{eq} = C_{eq}V_{ab} = (2.52 \times 10^{-6})(220) = 5.54 \times 10^{-4} \text{ C} = 554 \mu\text{C}$$

Question 3. Force magnétique [1.8 point]

- (a) Chaque rangée de l'image de droite montre une paire d'aimants et les forces sur ces aimants. Pour chacun des quatre aimants qui se trouvent dans la colonne de droite, identifiez les pôles nord (N) et sud (S).



(b) La figure de droite montre des lignes de champ magnétique terrestre, ainsi que les vitesses d'un muon cosmique (charge $-e$) à quatre points : A, B, C, et D. Pour chaque points, donnez la direction de la force magnétique \mathbf{F}_M sur le muon.



Réponses

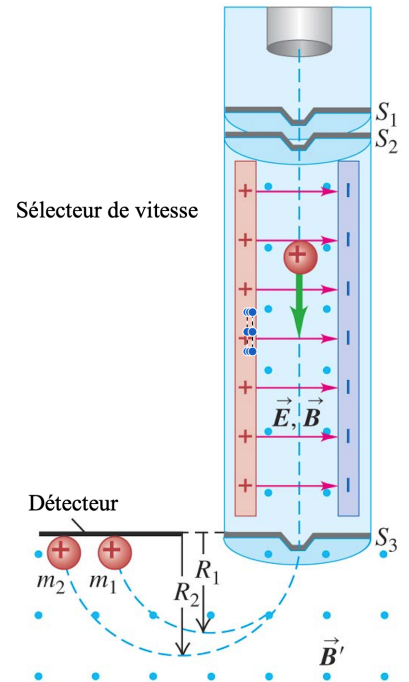
(a) 1. S-N; 2. N-S; 3. N-S; 4. S-N

(b) A. vers la droite; B. vers le haut-gauche; C. zéro; D. entre dans la page

Question 4. Charges dans des champs électrique et magnétique [2.5 points]

Dans le spectromètre de masse ci-contre, le champ magnétique de la partie supérieure (appelée 'sélectionneur de vitesse') a une grandeur $B = 0.650$ T, de sorte que la force nette $\mathbf{F}_E + \mathbf{F}_M$ est égale à zéro pour des ions dont la vitesse vaut 1.82×10^6 m/s. (Le poids des ions est négligeable.)

- (a) Quelle est la grandeur du champ électrique \mathbf{E} dans ce sélectionneur de vitesse?
- (b) Si la distance entre les plaques du sélectionneur de vitesse vaut 5.20 mm, quelle différence de potentielle entre ces plaques créera le champ \mathbf{E} de la partie (a)?
- (c) Si la partie inférieure contient un champ magnétique de grandeur $B' = 5.40$ T et que les ions incidents ont une masse $m = 1.29 \times 10^{-25}$ kg et une charge $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C, de quel rayon seront-ils réfléchis dans le champ \mathbf{B}' ?



Solutions

(a) Pour que la force nette soit nulle, nous avons

$$F_E = F_B, qE = qvB, E = vB = (1.82 \times 10^6)(0.650) = 1.18 \times 10^6 \text{ V/m}$$

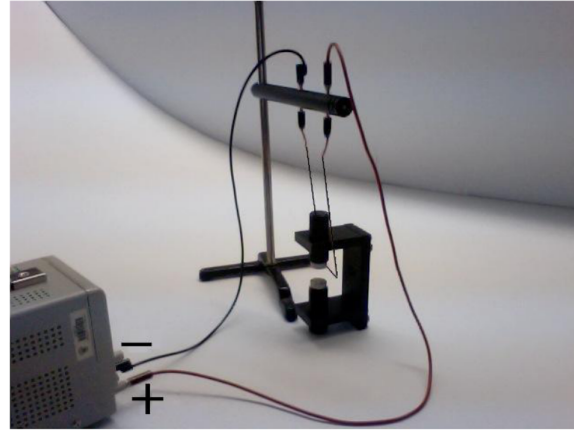
(b) $V = Ed = (1.18 \times 10^6)(5.2 \times 10^{-3}) = 6136 \approx \boxed{6140 \text{ V ou } 6.14 \text{ kV}}$

(c) $mv = qB'r$ donne

$$r = \frac{mv}{qB'} = \frac{(1.29 \times 10^{-25})(1.82 \times 10^6)}{(1.6 \times 10^{-19})(5.4)} = 0.2717 \approx \boxed{27.2 \text{ cm}}$$

Question 5. Force magnétique sur un courant électrique [1.0 point]

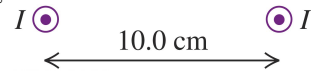
À la figure de droite, le fil (noir) de gauche est branché à la borne négative de la pile et le fil (rouge) de droite, à la borne positive. Si la partie inférieure du cadre est poussée vers la droite, dans quelle direction le champ magnétique entre les aimants pointe-t-il: vers le haut ou le bas? Expliquez brièvement.



Réponse: De $\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$ avec le courant (bras) qui entre et la force (pouce) vers la droite, on voit que la paume pointe vers le haut, dont $\boxed{\mathbf{B} \text{ pointe vers le haut}}$

Question 6. Champ magnétique par un fil conducteur droit [2.2 points]

La figure à droite montre une coupe transversale de deux longs fils conducteurs droits parallèles, séparés de 10.0 cm et chacun parcouru par un courant de 4.00 A qui sort de la page. Calculez la *grandeur et la direction* du champ magnétique net créé ces deux fils:



- (a) au point milieu entre les deux fils, et
- (b) à 20.0 cm à droite du fil le plus à droite.

Solutions Notation: G pour fil de gauche et D le fil de droite.

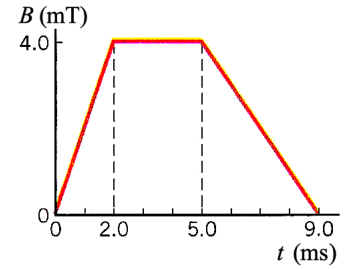
(a) Au point milieu entre les deux fils, \mathbf{B}_G vers le haut, \mathbf{B}_D vers le bas et $B_G = B_D$ (par symétrie) impliquent que $\boxed{\mathbf{B} = \mathbf{0} \text{ T}}$

(b) À 20.0 cm à la droite du système, \mathbf{B}_G et \mathbf{B}_D pointent vers le haut. Chacun a comme grandeur $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ et le champ net est donc donné par

$$B_G + B_D = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_G} + \frac{1}{r_D} \right) = \frac{(4\pi \times 10^{-7})(4)}{2\pi} \left(\frac{1}{0.30} + \frac{1}{0.20} \right) = \boxed{6.67 \times 10^{-6} \text{ T, vers le haut}}$$

Question 7. Loi de Faraday [2.2 points]

Un cadre rectangulaire constitué de 75 enroulements de 4.00 cm par 6.00 cm est traversé perpendiculairement par un champ magnétique $B(t)$ dont la grandeur varie en fonction du temps, selon le graphique de droite (B en mT, t en ms). Quelle est la valeur de la f.é.m., \mathcal{E} , avec le signe, aux instants:



- (a) $t = 1.0$ ms,
- (b) $t = 3.0$ ms, et
- (c) $t = 6.0$ ms?

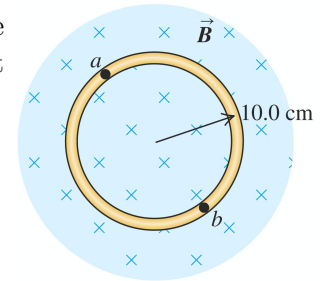
Solutions La f.é.m. est donnée par

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -NA \frac{\Delta B}{\Delta t} = -(75)(0.04 \times 0.06) \times (\text{pente}) = -0.18 \times (\text{pente})$$

- (a) pente $\frac{4-0}{2-0} = +2$ T/s (les milli s'annulent); $\mathcal{E} = -0.18 \times 2 = \boxed{-0.36 \text{ V}}$
- (b) pente 0 T/s ; $\mathcal{E} = \boxed{0 \text{ V}}$
- (c) pente $\frac{0-4}{9-5} = -1$ T/s; $\mathcal{E} = -0.18 \times -1 = \boxed{+0.18 \text{ V}}$

Question 8. Loi de Lenz [1.2 point]

Une boucle de fil conducteur circulaire est plongée dans un champ magnétique uniforme qui entre dans la page, tel qu'illustré à droite. Est-ce que le courant induit dans la boucle est horaire, antihoraire ou nul, pendant que

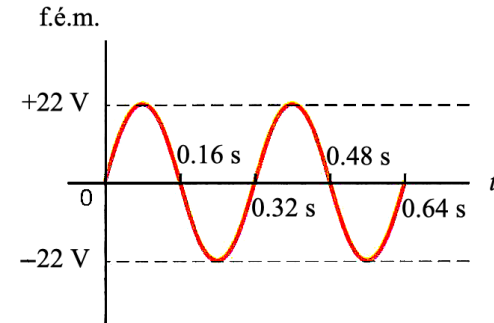


- (a) la grandeur de B augmente,
- (b) la grandeur de B est réduite,
- (c) la grandeur de B est constante, et
- (d) la grandeur de B est constante mais le rayon de la boucle est réduit?

Réponses: (a) antihoraire, (b) horaire, (c) nul, (d) horaire

Question 9. Générateurs [2.1 points]

Le graphique de droite montre la f.é.m. produite par un générateur en fonction du temps. Si ce générateur est construit en enroulant un fil conducteur de longueur totale de 2.40 m en cercles de rayon 18.0 cm,



- (a) quelle est la grandeur B du champ magnétique dans lequel ce générateur doit être plongé?
- (b) Si on augmente la longueur du fil conducteur utilisé, en gardant les autres variables inchangées, la grandeur de B requise sera-t-elle plus grande, plus petite ou égale à votre réponse en (a)?

Solutions (a) La f.é.m. max d'un générateur est $\mathcal{E}_{max} = NBA\omega$. Si la longueur de fil est ℓ , le nombre d'enroulements est donné par $N = \frac{\ell}{2\pi r}$. L'aire est $A = \pi r^2$ et la fréquence angulaire $\omega = \frac{2\pi}{T}$ avec $T = 0.32$ s. Le champ magnétique est donc

$$B = \frac{\mathcal{E}}{NA\omega} = \mathcal{E} \frac{2\pi r}{\ell} \frac{1}{\pi r^2} \frac{T}{2\pi} = \frac{\mathcal{E}T}{\ell\pi r} = \boxed{5.19 \text{ T}}$$

(b) Comme B est inversement proportionnel à ℓ , alors si on augmente la longueur de fil, B sera plus petit.

Question 10. Auto-inductance d'une bobine [2.1 points]

Considérez une bobine d'induction qui contient 310 enroulements, a une longueur de 22.0 cm et un rayon de 1.12 cm.

- (a) Quelle est l'inductance L de cette bobine?
 (b) Quelle est la f.é.m. \mathcal{E} induite, avec le signe approprié, dans cette bobine si elle est parcourue par un courant qui décroît au taux de 24.5 A/s?

Solutions (a) L'inductance est donnée par

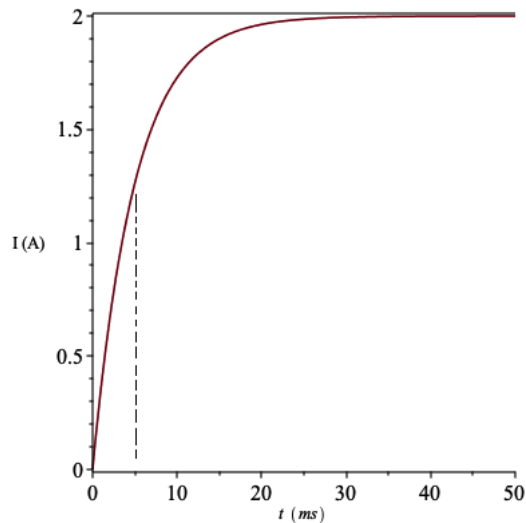
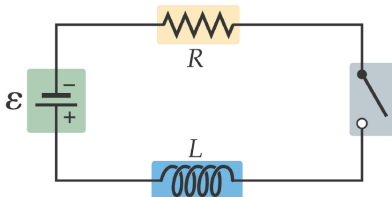
$$L = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} A = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} \pi r^2 = (4\pi \times 10^{-7}) \frac{310^2}{0.22} \pi (0.0112)^2 = 2.1632 \times 10^{-4} = \boxed{0.216 \text{ mH}}$$

(b) $\mathcal{E} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -(2.1632 \times 10^{-4})(-24.5) = 5.2998 \times 10^{-3} \approx \boxed{5.30 \text{ mV}}$

Question 11. Circuits RL [2.5 points]

Le circuit ci-dessous à gauche contient une résistance de 6.0 ohms en série avec une bobine dont l'inductance est L et une pile de f.é.m. \mathcal{E} . Lorsqu'on ferme l'interrupteur, à $t = 0$ s, le courant dans la résistance croît selon le graphique à droite; la droite hachurée indique la constante de temps τ , pour laquelle le courant vaut alors $0.632 I_{max}$. L'axe t est en ms.

- (a) D'après le graphique, quelle est la f.é.m. \mathcal{E} de la pile?
 (b) D'après le graphique, quelle est la valeur de l'inductance L de cette bobine?
 (c) À l'aide de vos résultats en (a) et (b), à quel instant t le courant dans le circuit sera-t-il égal à 1.9 A? (Le graphique vous donnera une valeur approximative, mais je veux un calcul plus précis.)



Solutions (a) Il y a deux façons de calculer \mathcal{E} : (1) $I_{max} = \frac{\mathcal{E}}{R} = 2 \text{ A}$ (lu du graphique), qui donne $\mathcal{E} = (2)(6) = \boxed{12 \text{ V}}$; ou encore (2) on lit que la droite hachurée croise la courbe à $0.632 \frac{\mathcal{E}}{R} = 1.26 \text{ A}$ qui donne $\mathcal{E} = \frac{(1.26)(6)}{0.632} = 12 \text{ V}$.

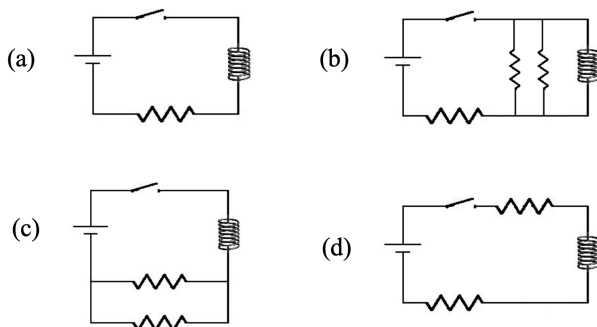
(b) $\tau = \frac{L}{R} = 5 \text{ ms}$ donne $L = \tau R = (5 \times 10^{-3})(6) = 30 \times 10^{-3} \text{ H} = \boxed{30 \text{ mH}}$.

(c)

$$I(t) = \frac{\mathcal{E}}{R} \left(1 - \exp\left(-\frac{Rt}{L}\right) \right) \rightarrow t = -\frac{L}{R} \ln\left(1 - \frac{RI}{\mathcal{E}}\right) = -\frac{30 \times 10^{-3}}{6} \ln\left(1 - \frac{(6)(1.9)}{12}\right) = \boxed{15 \text{ ms}}$$

Question 12. Circuits RL à un temps long [1.2 point]

Les quatre circuits ci-dessous contiennent une bobine dont l'inductance vaut L , une pile de f.é.m. \mathcal{E} et des résistances qui valent R chacune. Longtemps après avoir fermé l'interrupteur, quels sont les courants dans chaque pile, en termes de \mathcal{E} et R ?



Solutions À $t \rightarrow \infty$, le courant dans la bobine devient *constant* et $V_L \rightarrow 0$ de sorte que la bobine devient un fil. Chaque résistance équivalente est (a) et (b) R , (c) $R/2$ et (d) $2R$ et comme $I = V/R_{eq}$, on trouve donc les courants respectifs:

$$\boxed{\text{(a) } \frac{\mathcal{E}}{R}; \text{ (b) } \frac{\mathcal{E}}{R}; \text{ (c) } \frac{2\mathcal{E}}{R}; \text{ (d) } \frac{\mathcal{E}}{2R}}$$

Question 13. Transformateurs [1.0 point]

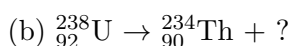
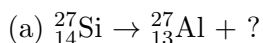
Une sonnette de porte utilise un transformateur qui fournit un voltage de 15 V à la sortie quand le voltage à l'entrée vaut 170 V. S'il y a 50 enroulements à la sortie, quel est le nombre d'enroulements à l'entrée?

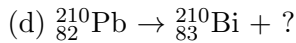
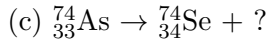


Solution $\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2}$ donne $N_1 = N_2 \left(\frac{V_1}{V_2}\right) = 50 \left(\frac{170}{15}\right) = \boxed{567 \text{ enroulements}}$

Question 14. Désintégrations nucléaires [1.6 point]

Pour chaque désintégration nucléaire ci-dessous, quelle particule est émise: alpha, beta-moins, beta-plus ou gamma?





Réponses: (a) beta-plus; (b) alpha; (c) beta-moins; (d) beta-moins

Question 15. Dosimétrie [1.6 point]

Un technicien reçoit accidentellement une dose de 500 rad de neutrons lents, avec un facteur RBE = 4, sur une section du bras de masse égale à 200 g.

- (a) Quelle dose ce technicien a-t-il reçue, en rem?
(b) Quelle quantité d'énergie a-t-il reçue, en joules?

Réponses: (a) dose(rem) = dose(rad) \times RBE = 500 \times 4 = 2000 rem

(b) 1 rad = 0.01 J/kg, donc dose(J/kg) = $\frac{1}{100} \times$ dose(rad) = 5 J/kg, de sorte que l'énergie reçue vaut $5 \times 0.2 = 1$ J.

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

Considérez un circuit RLC à courant alternatif avec une source de tension de valeur maximale $V_{max} = 12.7$ V en série avec une résistance dont $R = 2.50 \Omega$, une bobine dont l'inductance vaut $L = 0.250$ mH et un condensateur de capacité $C = 0.150 \mu\text{F}$. La fréquence du générateur est égale à 50.0 kHz. Calculez

- (a) la réactance capacitive X_C de ce circuit,
(b) la réactance inductive X_L de ce circuit,
(c) l'impédance Z de ce circuit,
(d) la valeur maximale I_{max} du courant dans ce circuit,
(e) la valeur maximale $V_{R,max}$ de la tension à la résistance,
(f) la valeur maximale $V_{C,max}$ de la tension au condensateur, et
(g) la valeur maximale $V_{L,max}$ de la tension à la bobine d'induction.

Solutions:

(a) $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi(5 \times 10^4)(1.5 \times 10^{-7})} = 21.220659 \approx 21.2 \Omega$

(b) $X_L = \omega L = 2\pi(5 \times 10^4)(2.5 \times 10^{-4}) = 78.539816 \approx 78.5 \Omega$

(c) $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{2.50^2 + (78.539816 - 21.220659)^2} = 57.3736507 \approx 57.4 \Omega$

(d) $I_{max} = \frac{V_{max}}{Z} = \frac{12.7}{57.3736507} = 0.221355968 \approx 0.221$ A

(e) $V_{R,max} = RI_{max} = (2.5)(0.221355968) \approx 0.553$ V

(f) $V_{C,max} = X_C I_{max} = (21.220659)(0.221355968) \approx 4.70$ V

(g) $V_{L,max} = X_L I_{max} = (78.539816)(0.221355968) \approx 17.4$ V

Bonne chance!