

Nom

SOLUTIONS

Numéro d'étudiant.e _____

Professeur

Marc de Montigny

Date

Mercredi 18 avril 2018, de 9 h à midi

Local

Gymnase de la Faculté Saint-Jean

INSTRUCTIONS

- Ce cahier contient **11 pages**, y compris un tableau périodique à la dernière page. Écrivez-y directement vos réponses. Vous pouvez utiliser le verso pour vos calculs. **Indiquez clairement si je dois le corriger.**
- L'examen contient **45 points** et vaut **45%** de la note finale du cours.
- Il y a **15 questions**. Pour certaines questions, vous pourrez obtenir une partie des points même si votre réponse finale est erronée.
- Examen à livre fermé. Vous pouvez utiliser l'aide-mémoire (une feuille recto-verso) que vous aurez complété. Vous perdrez 10/45 si vous y avez inclus des solutions ou si vous ne retournez pas votre aide-mémoire avec l'examen.
- Matériel permis: aide-mémoire, crayons ou stylos, calculatrice. 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 le demander!

Question 1. Puissance dans un circuit électrique [3.0 points]

Une centrale électrique produit de l'électricité qui est transmise par une ligne de transport, de résistance égale à 12 ohms, à une usine éloignée. Cette usine est alimentée à une tension de 2500 V et consomme la puissance électrique à un taux de 120 kW. Considérez la centrale électrique, l'usine et la résistance de la ligne de transport comme un circuit en série dont la centrale joue le rôle de la fém.

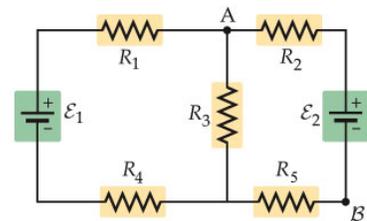
- (a) Quel est le courant dans ce circuit?
- (b) Quelle est la puissance dissipée dans la ligne de transport?
- (c) Quelle est la puissance totale que la centrale électrique doit fournir, en tenant compte de la puissance dissipée dans la ligne de transport et de la puissance utilisée par l'usine?
- (d) Quelle est la tension en volts à la centrale?

Solution

- (a) On a, en utilisant la puissance de l'usine, $I = \frac{P}{V} = \frac{120\,000}{2500} = \boxed{48\text{ A}}$
- (b) $P_{\text{ligne}} = RI^2 = (12)(48)^2 = \boxed{27.6\text{ kW}}$
- (c) $P = P_{\text{ligne}} + P_{\text{usine}} = 27.6 + 120\text{ kW} = 147.6 \approx \boxed{148\text{ kW}}$
- (d) $\mathcal{E} = \frac{P_{\text{centrale}}}{I} = \frac{147\,600}{48} = \boxed{3076\text{ V}}$

Question 2. Lois de Kirchhoff [3.5 points]

- (a) Dans le circuit ci-dessous, combien y a-t-il de courant distincts?
- (b) Définissez ces courants dans le circuit et écrivez autant d'équations de Kirchhoff que nécessaire pour calculer ces courants, sans résoudre vos équations.



Solutions

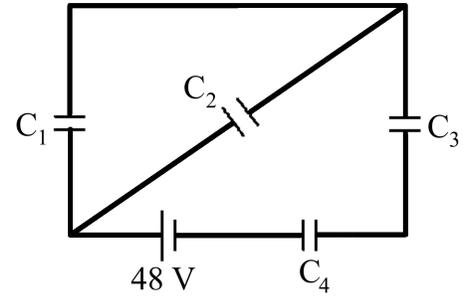
- (a) $\boxed{\text{Trois courants}}$
- (b) Soit I_1 dans la pile \mathcal{E}_1 vers le haut, I_2 dans la pile \mathcal{E}_2 vers le haut et I_3 dans R_3 vers le bas. Les équations possibles sont donc TROIS parmi : $\boxed{I_1 + I_2 = I_3}$, $\boxed{\mathcal{E}_1 - R_1 I_1 - R_3 I_3 - R_4 I_1 = 0}$, $\boxed{\mathcal{E}_2 - R_2 I_2 - R_3 I_3 - R_5 I_2 = 0}$, ou $\boxed{\mathcal{E}_1 - R_1 I_1 - R_4 I_1 - \mathcal{E}_2 + R_2 I_2 + R_5 I_2 = 0}$

suite à la page suivante...

Question 3. Combinaison de condensateurs [4.5 points]

Le circuit ci-dessous contient quatre condensateurs, $C_1 = 3.0 \mu\text{F}$, $C_2 = 1.0 \mu\text{F}$, $C_3 = 12 \mu\text{F}$ et $C_4 = 6.0 \mu\text{F}$, branchés à une pile de 48 V. Calculez :

- (a) la capacité équivalente du système,
- (b) la charge sur chaque condensateur,
- (c) la différence de potentiel de chaque condensateur,
- (d) l'énergie emmagasinée dans chaque condensateur et
- (e) l'énergie totale emmagasinée dans ce système de condensateurs.



Solution

(a) On remarque que C_1 et C_2 sont en parallèle et qu'ils sont en série avec C_3 , C_4 et la pile. On a donc $C_1 + C_2 = 3 + 1 = 4 \mu\text{F}$. On trouve $C_{eq}^{-1} = C_{1,2}^{-1} + C_3^{-1} + C_4^{-1} = 4^{-1} + 12^{-1} + 6^{-1}$ qui donne

$C_{eq} = 2.0 \mu\text{F}$.

(b) Comme C_3 et C_4 sont en série, on a $Q_3 = Q_4$ qui est égal à $C_{eq}V$ et la somme $Q_1 + Q_2$. Comme $C_{eq}V = (2)(48) = 96$, on a $Q_3 = Q_4 = 96 \mu\text{C}$. Avec C_1 et C_2 en parallèle, on a $V_1 = V_2$, $\frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_2}{C_2}$ d'où $Q_1 = \frac{C_1}{C_2}Q_2 = 3.0Q_2$, ce qui donne $Q_2 = 24 \mu\text{C}$ et $Q_1 = 72 \mu\text{C}$.

(c) Avec $V = \frac{Q}{C}$ pour les quatre condensateurs, on trouve $V_1 = V_2 = 24 \text{ V}$, $V_3 = 8 \text{ V}$ et $V_4 = 16 \text{ V}$.

(d) De $U = \frac{1}{2}CV^2$ ou autre relation, on obtient

$U_1 = 8.6 \times 10^{-4} \text{ J}$, $U_2 = 2.9 \times 10^{-4} \text{ J}$, $U_3 = 3.8 \times 10^{-4} \text{ J}$ et $U_4 = 7.7 \times 10^{-4} \text{ J}$.

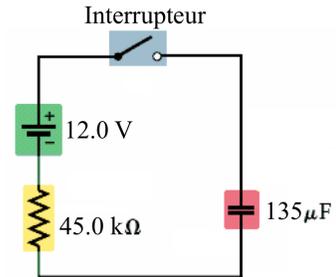
(e) En additionnant les réponses en (d) ou en calculant $U = \frac{1}{2}C_{eq}V^2$ on trouve $U = 2.3 \text{ mJ}$.

suite à la page suivante...

Question 4. Circuits RC [2.5 points]

Le flash d'un appareil photo contient une pile de 12.0 V branchée en série à une résistance de 45.0 kΩ, un condensateur de 135 μF et un interrupteur. Initialement, le condensateur n'est pas chargé lorsque, à $t = 0$, on ferme l'interrupteur.

- (a) Quelle est la charge maximale sur le condensateur?
 (b) À quel temps t la charge sur le condensateur atteindra-t-elle 1.00 mC?



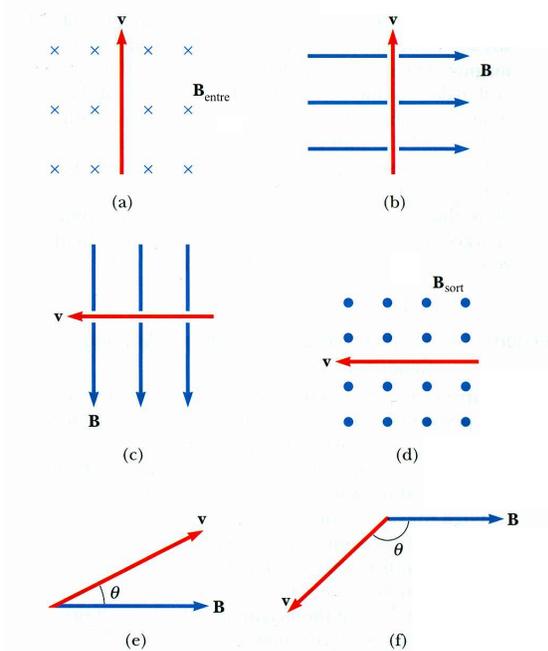
Solutions

- (a) $q_{max} = C\mathcal{E} = (135 \times 10^{-6})(12) = \boxed{1.62 \text{ mC}}$
 (b) De $q = q_{max}(1 - e^{-t/RC})$, $q_{max} = C\mathcal{E}$, on obtient $e^{-t/RC} = 1 - \frac{q}{q_{max}}$. Prenant ln, on trouve $-\frac{t}{RC} = \ln\left(1 - \frac{q}{q_{max}}\right)$, d'où

$$t = -RC \ln\left(1 - \frac{q}{q_{max}}\right) = -(45 \times 10^3)(135 \times 10^{-6}) \ln\left(1 - \frac{1.00}{1.62}\right) = \boxed{5.83 \text{ s}}$$

Question 5. Force magnétique sur une particule chargée [1.5 point]

Chaque figure ci-dessous montre la vitesse \mathbf{v} d'un électron (charge négative) et la direction du champ magnétique \mathbf{B} . Indiquez pour chacune la direction de la force subie par l'électron dans \mathbf{B} .



Réponses

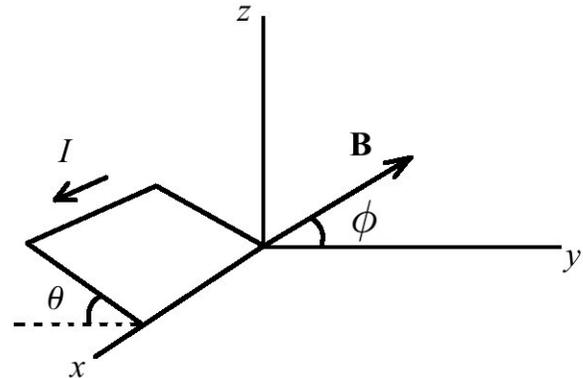
(a) vers la droite, (b) sort, (c) entre, (d) vers le bas, (e) sort, (f) entre

suite à la page suivante...

Question 6. Boucle de courant dans un champ magnétique [3.0 points]

Un cadre rectangulaire de 4.5 cm par 2.6 cm est parcouru par un courant $I = 360$ mA dans le sens anti-horaire, vu du haut, comme à la figure ci-dessous. Le cadre, qui compte 32 enroulements de fil conducteur, fait un angle $\theta = 35^\circ$ au-dessus du plan x - y . Un champ magnétique uniforme \mathbf{B} de 0.67 T est parallèle au plan y - z et est à $\phi = 30^\circ$ au-dessus du plan x - y .

- Quel est le moment magnétique dipolaire $\vec{\mu}$ du cadre? Donnez sa grandeur et sa direction.
- Quel est la grandeur τ du moment de force exercé par le champ magnétique sur le cadre?
- Dans quelle direction le cadre tournera-t-il sous l'action du champ magnétique?



Solutions

(a) $\mu = NIA = (32)(0.360)(0.045 \times 0.026) = 1.35 \times 10^{-2} \text{ A}\cdot\text{m}^2$, à 35° à droite de l'axe z .

(b) $\tau = \mu B \sin \theta$, $\theta = 25^\circ$ étant l'angle entre $\vec{\mu}$ et \vec{B} . On calcule donc $\tau = (1.35 \times 10^{-2})(0.67) \sin(25^\circ) = 3.82 \times 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}$

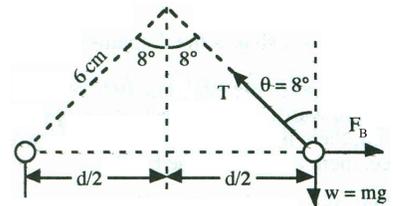
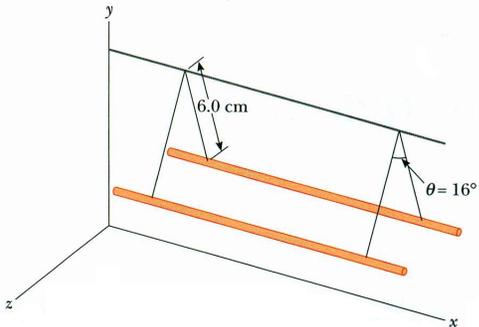
(c) Le cadre tournera dans le sens horaire autour de l'axe x

suite à la page suivante...

Question 7. Force sur un courant par un champ magnétique [4.5 points]

Deux longs fils conducteurs parallèles, qui ont chacun une masse par unité de longueur de 40 g/m, sont maintenus dans un plan horizontal par des cordes de 6.0 cm de long, tel que montré ci-dessous. Les fils conducteurs sont parcourus par le même courant I , ce qui fait que les fils se repoussent jusqu'à un angle $\theta = 16^\circ$ entre les cordes.

- (a) Les deux courants vont-ils dans la même direction ou dans des directions opposées?
 (b) Quelle est la grandeur du courant I dans chaque fil conducteur?



Solutions

(a) Comme nous avons vu dans le cours, vu que les fils se repoussent, les courants circulent dans des directions opposées.

(b) Du diagramme des forces (à droite) on voit que pour chaque fil, $\sum F_x = F_B - T \sin 8^\circ = 0$ et $\sum F_y = T \cos 8^\circ - mg = 0$, ce qui donne $\tan 8^\circ = \frac{F_B}{mg}$.

La figure montre aussi que $(0.06) \sin 8^\circ = \frac{d}{2}$ qui implique que la distance entre les fils est $d = 0.12 \sin 8^\circ$.

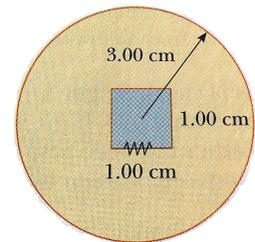
La force magnétique entre les fils vaut $F_B = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi d}$ qui est égale à $mg \tan 8^\circ$. Avec $I_1 = I_2 = I$ on a donc $\frac{\mu_0 I^2 L}{2\pi d} = mg \tan 8^\circ$, d'où $I^2 = \frac{mg \tan 8^\circ 2\pi d}{\mu_0 L} = \frac{(0.04)(9.81) \tan 8^\circ 2\pi (0.12 \sin 8^\circ)}{(4\pi \times 10^{-7})(1)} = 4605 \text{ A}^2$. En prenant la racine carrée, on voit que la réponse est $I = 67.9 \text{ A}$

suite à la page suivante...

Question 8. Loi de Faraday-Lenz [3.5 points]

La figure ci-dessous montre un cadre carré de côté égal à 1.00 cm contenu dans une bobine cylindrique de rayon 3.00 cm. Le cadre ne compte qu'un enroulement. La bobine compte 100 enroulements et sa longueur est 20.0 cm (perpendiculairement à la page).

- (a) Si le courant dans la bobine est 3.00 A dans le sens anti-horaire, quel est le flux à travers le cadre?
- (b) Si ce courant initial est réduit à zéro en 3.00 s, quelle sera alors la grandeur de la fém induite moyenne dans le cadre?
- (c) Pendant que le courant est réduit, le courant induit dans la résistance du cadre sera-t-il vers la gauche ou vers la droite?
- (d) Si la résistance vaut 15 ohms, quelle est la valeur moyenne du courant induit dans le cadre pendant que le courant dans la bobine est réduit?



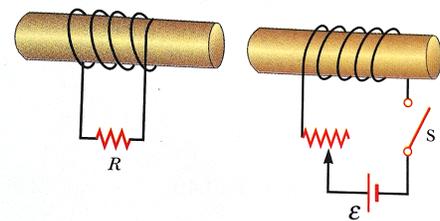
Solutions

- (a) Dans la bobine circulaire, nous avons $B = \mu_0 \frac{N}{l} I = 4\pi \times 10^{-7} \frac{100}{0.2} 3.0 = 1.88 \times 10^{-3} \text{ T}$, de sorte que le flux dans le cadre est égal à $\Phi = BA = 1.88 \times 10^{-3} (0.01)^2 = 1.88 \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m}^2$
- (b) Le flux final étant nul, la fém moyenne est donc $\mathcal{E}_{\text{moy}} = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{1.88 \times 10^{-7}}{3.00} = 6.28 \times 10^{-8} \text{ V}$
- (c) Le flux diminue. Le champ induit pointe dans le sens du champ, donc il sort de la page, donc le courant induit est dans le sens anti-horaire, vers la droite dans la résistance.
- (d) De $V = RI$ on a $I = \frac{\mathcal{E}_{\text{moy}}}{R} = \frac{6.28 \times 10^{-8}}{15} = 4.19 \times 10^{-9} \text{ A}$ ou 4.19 nA

Question 9. Loi de Lenz [2.0 points]

Pour la figure ci-dessous, indiquez le sens du courant dans la résistance R à chacune des étapes :

- (a) lorsque l'interrupteur S , initialement ouvert, est soudainement fermé,
- (b) l'interrupteur S reste fermé et on réduit la résistance variable (bobine de droite),
- (c) l'interrupteur S reste fermé et la résistance (bobine de droite) est constante, mais on éloigne le circuit de gauche vers la gauche.



Réponses

- (a) vers la gauche
- (b) vers la gauche
- (c) vers la droite

suite à la page suivante...

Question 10. Générateurs [2.0 points]

Un générateur consiste en une bobine circulaire de diamètre 24.4 cm avec 148 enroulements qui tourne autour d'un *axe vertical* à 1170 tours/minute. Le champ magnétique présent est celui de la Terre qui, à la position de la bobine, a une composante horizontale $B_h = 3.77 \times 10^{-5}$ T et une composante verticale $B_v = 2.85 \times 10^{-5}$ T.

- (a) Quelle(s) composante(s) de \mathbf{B} contribue(nt) à la fém induite dans cette bobine? Pourquoi?
 (b) Quelle est la valeur de la fém induite maximale \mathcal{E}_{max} dans cette bobine?

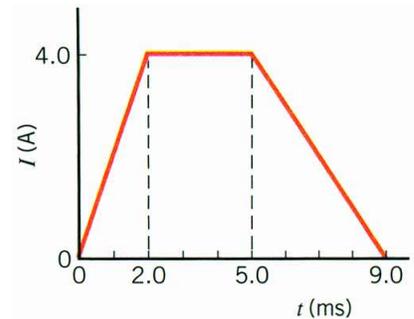
Solutions

- (a) La composante horizontale, car la composante verticale est parallèle au plan de la bobine et ne contribue pas au flux à travers la bobine.

(b) $\mathcal{E}_{max} = NBA\omega = (148)(3.77 \times 10^{-5})\pi \left(\frac{0.244}{2}\right)^2 (1170)2\pi \frac{1}{60} = 32 \text{ mV}$

Question 11. Inductance [3.0 points]

On construit une bobine qui contient 875 enroulements, a une aire de 350 cm^2 et une longueur de 27.0 cm. Le courant dans cette bobine varie en fonction du temps selon le graphique montré ci-dessous. (Attention: t en ms.)



- (a) Quelle est l'inductance L de cette bobine?
 (b) Quelle est la fém induite \mathcal{E} à $t = 1.0$ ms, avec le signe approprié?
 (c) Quelle est \mathcal{E} à $t = 3.0$ ms, avec le signe approprié?
 (d) Quelle est \mathcal{E} à $t = 8.0$ ms, avec le signe approprié?
 (e) Si on remplaçait la bobine par une résistance de 22 ohms, quelle serait la différence de potentiel à la résistance quand $t = 3.5$ ms?

Solutions

(a) $L = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} A = 4\pi \times 10^{-7} \frac{875^2}{0.27} \frac{350}{10^4} = 0.1247 \text{ H} = 125 \text{ mH}$

(b) $\mathcal{E} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -(0.1247) \frac{4}{0.002} = -249 \text{ V}$

(c) $\mathcal{E} = 0 \text{ V}$

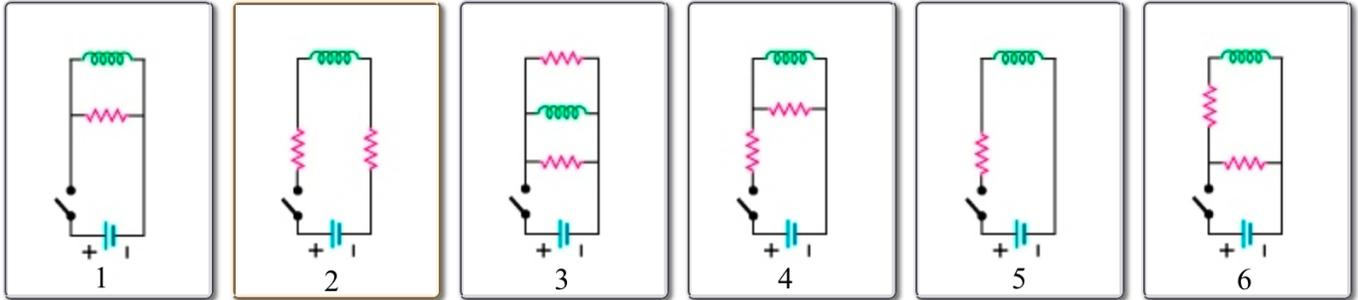
(d) $\mathcal{E} = -(0.1247) \frac{-4}{0.004} = 125 \text{ V}$

(e) $V = RI = (22)(4) = 88 \text{ V}$

suite à la page suivante...

Question 12. Circuits RL [3.0 points]

Dans les six circuits RL ci-dessous, les résistances, les inductances et les piles sont respectivement identiques. Classez la valeur du courant final, c.-à-d. à grand t , du courant le plus faible au plus grand, en indiquant les valeurs égales, s'il y a lieu.



Solutions

À grand t , le courant dans L est constant, de sorte que $V_L \approx 0$ et on remplace L par un fil conducteur qui court-circuite ce qui lui est parallèle. La résistance équivalente de chaque circuit est donc $R_1 = 0$, $R_2 = 2R$, $R_3 = 0$, $R_4 = R$, $R_5 = R$, $R_6 = R/2$, on a donc, d'après $I = \mathcal{E}/R$, ce qui donne $I_2, I_4 = I_5, I_6, I_1 = I_3$

Question 13. Désintégrations nucléaires [2.0 points]

En vous aidant du tableau périodique inclus à la dernière page, complétez les réactions ci-dessous:

- (a) ${}_{90}^{234}\text{Th} \rightarrow {}_{88}^{230}\text{Ra} + \text{_____}$ Rép. ${}_{2}^4\text{He}$ ou α
- (b) $\text{_____} \rightarrow {}_7^{14}\text{N} + e^- + \bar{\nu}$ Rép. ${}_{6}^{14}\text{C}$
- (c) ${}_{36}^{95}\text{Kr} \rightarrow \text{_____} + e^- + \bar{\nu}$ Rép. ${}_{37}^{95}\text{Rb}$
- (d) ${}_{20}^{40}\text{Ca} \rightarrow {}_{19}^{40}\text{K} + \text{_____} + \nu$ Rép. e^+ ou β^+

Question 14. Dosimétrie [2.5 points]

En radiothérapie, on utilise un faisceau de noyaux pour traiter un cancer. Supposez que l'efficacité biologique relative de ces noyaux soit $\text{RBE} = 14$. On dirige ce faisceau sur une tumeur de 120 g et elle reçoit ainsi une dose équivalente biologique de 200 rem.

- (a) Quelle est l'énergie absorbée par cette tumeur?
- (b) Si chaque noyau utilisé a une énergie de 125 MeV, combien de noyaux auront irradié la tumeur?

Solutions

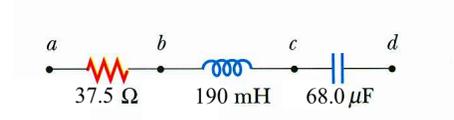
- (a) Dose (rad) = dose (rem)/RBE = $200/14 = 14.29$ rad. En divisant par 100, on a la dose 0.1429 J/kg. L'énergie totale vaut donc $(0.1429 \text{ J/kg})(0.12 \text{ kg}) = 17.1 \text{ mJ}$
- (b) Le nombre de noyaux est donné par l'énergie totale divisée par l'énergie de chaque noyau (qui vaut 125 MeV/noyau):

$$\text{nombre de noyaux} = \frac{E_{\text{totale}}}{E_{\text{par noyau}}} = \frac{0.0171 \text{ J}}{125 \text{ MeV}} \frac{10^6 \text{ eV}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}} = 8.57 \times 10^8 \text{ noyaux}$$

suite à la page suivante...

Question 15. Circuits RLC à courant alternatif [4.5 points]

Une source à courant alternatif dont $V_{\max} = 170 \text{ V}$ et $f = 60.0 \text{ Hz}$ est branchée au points a et d du montage ci-dessous. La figure ne montre pas la source de courant.

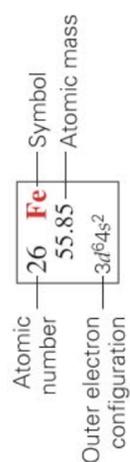


- (a) Quelle est l'impédance Z de cet ensemble?
- (b) Quel est le déphasage ϕ entre le courant et le voltage à la source?
- (c) Quelle est la valeur efficace I_{rms} du courant dans ce circuit?
- (d) Quel est V_{rms} entre les points b et c ?
- (e) Quel est V_{rms} entre les points c et d ?
- (f) Quel est V_{rms} entre les points b et d ?
- (g) Quelle est la puissance moyenne dissipée dans ce circuit?

Solutions

- (a) On utilise $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ où $X_L = 2\pi fL = 71.6 \Omega$, $X_C = \frac{1}{2\pi fC} = 39.0 \Omega$. On calcule $Z \approx \boxed{49.7 \text{ ohms}}$
- (b) $\tan \phi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{71.6 - 39}{37.5}$ d'où $\phi = \boxed{41.0^\circ}$
- (c) $I_{\text{rms}} = \frac{V_{\text{rms}}}{Z} = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}Z} = \boxed{2.42 \text{ A}}$
- (d) $V_L = X_L I_{\text{rms}} = \boxed{173 \text{ V}}$
- (e) $V_C = X_C I_{\text{rms}} = \boxed{94.4 \text{ V}}$
- (f) $V_{LC} = \sqrt{(X_L - X_C)^2} I_{\text{rms}} = \boxed{78.9 \text{ V}}$
- (g) $P_{\text{av}} = V_{\text{rms}} I_{\text{rms}} \cos \phi = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}} I_{\text{rms}} \cos \phi = \boxed{220 \text{ W}}$

PERIODS	Transition elements										GROUP III	GROUP IV	GROUP V	GROUP VI	GROUP VII	GROUP VIII		
	GROUP I	GROUP II											GROUP III	GROUP IV	GROUP V	GROUP VI	GROUP VII	GROUP VIII
1	H 1.01 1s ¹																	He 4.00 1s ²
2	Li 6.94 2s ¹	Be 9.01 2s ²											B 10.81 2p ¹	C 12.01 2p ²	N 14.01 2p ³	O 16.00 2p ⁴	F 19.00 2p ⁵	Ne 20.18 2p ⁶
3	Na 22.99 3s ¹	Mg 24.31 3s ²											Al 26.98 3p ¹	Si 28.09 3p ²	P 30.97 3p ³	S 32.07 3p ⁴	Cl 35.45 3p ⁵	Ar 39.95 3p ⁶
4	K 39.10 4s ¹	Ca 40.08 4s ²	Sc 44.96 3d ¹ 4s ²	Ti 47.88 3d ² 4s ²	V 50.94 3d ³ 4s ²	Cr 52.00 3d ⁵ 4s ¹	Mn 54.94 3d ⁵ 4s ²	Fe 55.85 3d ⁶ 4s ²	Co 58.93 3d ⁷ 4s ²	Ni 58.69 3d ⁸ 4s ²	Cu 63.55 3d ¹⁰ 4s ¹	Zn 65.39 3d ¹⁰ 4s ²	Ga 69.72 4p ¹	Ge 72.61 4p ²	As 74.92 4p ³	Se 78.96 4p ⁴	Br 79.90 4p ⁵	Kr 83.80 4p ⁶
5	Rb 85.47 5s ¹	Sr 87.62 5s ²	Y 88.96 4d ¹ 5s ²	Zr 91.22 4d ² 5s ²	Nb 92.91 4d ⁴ 5s ¹	Mo 95.94 4d ⁵ 5s ¹	Tc (98) 4d ⁵ 5s ²	Ru 101.07 4d ⁷ 5s ¹	Rh 102.91 4d ⁸ 5s ¹	Pd 106.42 4d ¹⁰ 5s ⁰	Ag 107.87 4d ¹⁰ 5s ¹	Cd 112.41 4d ¹⁰ 5s ²	In 114.82 5p ¹	Sn 118.71 5p ²	Sb 121.76 5p ³	Te 127.60 5p ⁴	I 126.90 5p ⁵	Xe 131.29 5p ⁶
6	Cs 132.91 6s ¹	Ba 137.33 6s ²	La 138.91 5d ¹ 6s ²	Hf 178.49 5d ² 6s ²	Ta 180.95 5d ⁴ 6s ²	W 183.85 5d ⁴ 6s ²	Re 186.21 5d ⁵ 6s ²	Os 190.2 5d ⁶ 6s ²	Ir 192.22 5d ⁷ 6s ¹	Pt 195.08 5d ⁹ 6s ¹	Au 196.97 5d ¹⁰ 6s ¹	Hg 200.59 5d ¹⁰ 6s ²	Tl 204.36 6p ¹	Pb 207.2 6p ²	Bi 208.98 6p ³	Po (209) 6p ⁴	At (210) 6p ⁵	Rn (222) 6p ⁶
7	Fr (223) 7s ¹	Ra 226.03 7s ²	Ac 227.03 6d ¹ 7s ²	Rf (261) 6d ² 7s ²	Db (262) 6d ³ 7s ²	Sg (266) 6d ⁴ 7s ²	Bh (264) 6d ⁵ 7s ²	Hs (269) 6d ⁸ 7s ²	Mt (271) 6d ⁷ 7s ²	110 (271) 6d ¹⁰ 7s ²	111 (272) 6d ⁹ 7s ²	112 (277) 6d ¹⁰ 7s ²	114 (289) 6p ²	116 (289) 6p ⁴	118 (293) 6p ⁶			



GROUP VIII	GROUP VII	GROUP VI	GROUP V	GROUP IV	GROUP III	GROUP II	GROUP I
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Lr (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Y 88.91 4d ¹ 5s ²	Lu 174.97 5d ¹ 4f ¹⁴ 6s ²	Yb 173.04 4f ¹⁴ 6s ²	Er 167.26 4f ¹² 6s ²	Ho 164.93 4f ¹¹ 6s ²
							