

Nom SOLUTIONS

Numéro _____

Professeur Marc de Montigny
Date jeudi 21 avril 2022, de 14 h à 17 h
Local local 366

INSTRUCTIONS

- Cet examen contient **8 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 **16 questions**. Vous pouvez obtenir une partie des points, même si des réponses finales sont erronées, sauf pour les SIX questions 1, 4-6, 11, et 14, qui n'ont pas de fraction de point.
- L'examen contient **35 points** et vaut **35%** de la note finale du cours.
- 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 aussi 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 le clarifier!**

Question 1. Unités électrostatiques [1.0 point, pas de fraction de point]

Quelle combinaison ci-dessous est une unité d'énergie? (Encerclez la bonne réponse.)

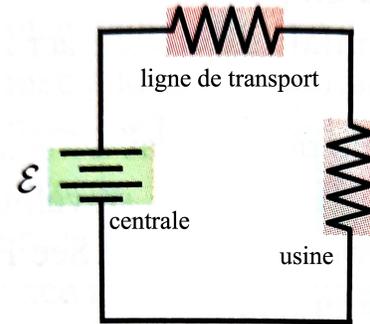
- (a) $A^2 \cdot \Omega$, (b) $V \cdot A$, (c) $\Omega \cdot m$, (d) $N \cdot m/V$, (e) $V \cdot C$

Réponse: (e)

Question 2. Puissance dans un circuit électrique [3.5 points]

Une centrale électrique produit de l'électricité qui est transmise vers une usine, tel que représenté à droite, par une ligne de transport de résistance égale à 12 ohms. Cette usine est maintenue à une tension de 2500 V et consomme de la puissance électrique au taux de 120 kW.

- (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 consommée par l'usine?
(d) Quelle est la tension \mathcal{E} , en volts, à la centrale?



Solutions

- (a) De la puissance consommée par l'usine, avec $P = VI$, on calcule

$$I = \frac{P}{V} = \frac{120\,000}{2500} = \boxed{48\text{ A}}$$

- (b) La puissance dissipée dans la ligne vaut

$$P_{\text{ligne}} = R_{\text{ligne}} I^2 = (12)(48)^2 = 27648 \approx \boxed{27.6\text{ kW}}$$

- (c) Puissance totale: $P_{\text{centrale}} = P_{\text{ligne}} + P_{\text{usine}} = 27.6 + 120 = 147.6 \approx \boxed{148\text{ kW}}$

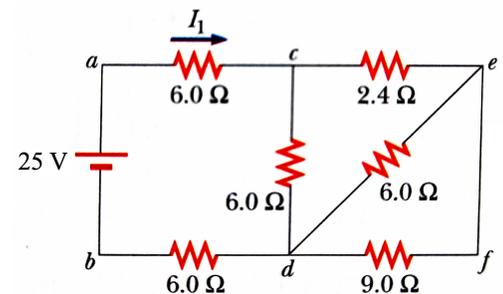
- (d) La fém est donnée par

$$\mathcal{E} = \frac{P_{\text{centrale}}}{I} = \frac{147600}{48} \approx \boxed{3080\text{ V}}$$

Question 3. Combinaison de résistances [2.0 points]

Pour la combinaison de résistances à droite,

- (a) calculez la résistance équivalente totale et
(b) déterminez la valeur du courant I_1 .



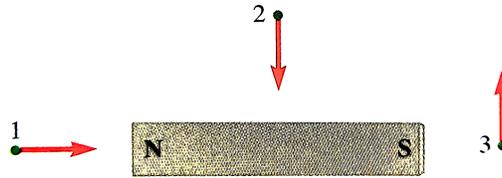
Solutions

- (a) $(6^{-1} + 9^{-1})^{-1} = 3.6\ \Omega$, $3.6 + 2.4 = 6\ \Omega$, $(6^{-1} + 6^{-1})^{-1} = 3\ \Omega$, $6 + 3 + 6 = \boxed{15\ \Omega}$

- (b) $\mathcal{E} = R_{\text{eq}} I_1$, $I_1 = \frac{25}{15} = 1.66667 \approx \boxed{1.7\text{ A}}$

[suite p. 3...]

Champ et force magnétiques. La figure ci-dessous est utilisée pour les questions 4, 5 et 6. Il s'agit d'un aimant (pôle nord à gauche et pôle sud à droite). Trois charges se déplacent dans les directions indiquées, à proximité de l'aimant.



Les choix de réponses sont :

- (a) \uparrow (b) \downarrow (c) \leftarrow (d) \rightarrow (e) \times (dans la page) (f) \bullet (hors de la page) (g) force nulle

Question 4. [1.0 point, pas de fraction de point]

Quelle est la direction de la force sur la charge 1 si $q_1 < 0$?

Réponse: (g)

Question 5. [1.0 point, pas de fraction de point]

Quelle est la direction de la force sur la charge 2 si $q_2 > 0$?

Réponse: (f)

Question 6. [1.0 point, pas de fraction de point]

Quelle est la direction de la force sur la charge 3 si $q_3 < 0$?

Réponse: (e)

Question 7. Force magnétique sur un courant [3.0 points]

À un certain point, le champ magnétique terrestre vaut 0.60 gauss à 75° sous l'horizontale en direction Nord. Quelles sont la *grandeur et la direction* de la force magnétique sur un fil de 10 m de long, parcouru par un courant de 15 A,

- (a) si le courant circule horizontalement vers l'Est, et
 (b) si le courant circule verticalement vers le haut?

Solutions

(a) La grandeur de \mathbf{F} vaut

$$F = ILB \sin \theta = (15)(10)(6 \times 10^{-5}) \sin(90^\circ) = 9.0 \times 10^{-3} \text{ N}$$

à 15° au-dessus de l'horizontale vers le Nord

(b) La force \mathbf{F} est donnée par

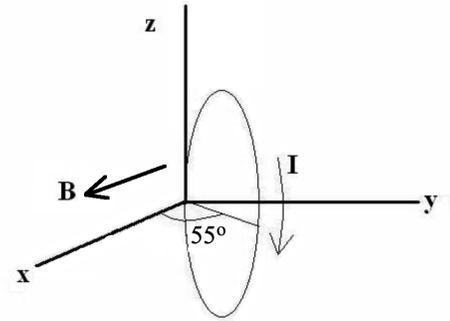
$$F = ILB \sin \theta = (15)(10)(6 \times 10^{-5}) \sin(165^\circ) = 2.3 \times 10^{-3} \text{ N}$$

horizontalement vers l'Ouest

[suite p. 4...]

Question 8. Moment de force sur une bobine de courant [3.5 points]

La figure ci-contre représente une bobine circulaire de rayon égal à 17 cm. Le plan de la bobine fait un angle de 55° avec le plan xz . Elle contient 60 enroulements, et un courant de 4.5 A circule dans chaque enroulement, dans le sens indiqué par la flèche.



(a) Quelles sont la *grandeur et la direction* du moment magnétique dipolaire $\vec{\mu}$ de la bobine?

Si cette bobine est plongée dans un champ magnétique uniforme de 1.2 T qui pointe vers x positif,

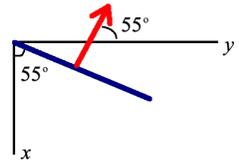
(b) quelle est la grandeur du moment de force qui agit sur la bobine, et
 (c) dans quelle direction la bobine aura-t-elle tendance à tourner, c.-à-d. l'angle entre le plan de la bobine et l'axe x , initialement de 55° , va-t-il augmenter ou diminuer?

Solutions

(a) La grandeur du moment magnétique dipolaire est

$$\mu = NIA = NI\pi r^2 = (60)(4.5)\pi(0.17)^2 = \boxed{24.5 \text{ A} \cdot \text{m}^2}$$

dans la direction indiquée par la flèche ci-contre (dans une vue de dessus):



(b) L'angle entre $\vec{\mu}$ et \vec{B} est $90 + 55 = 145^\circ$ et le moment de force est

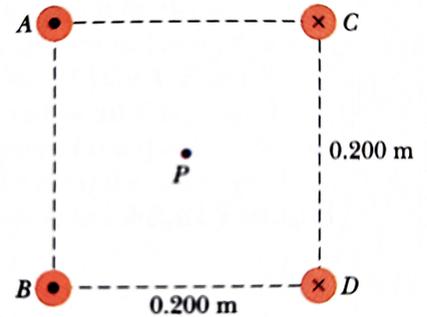
$$\tau = \mu B \sin \theta = (24.5)(1.2) \sin(145) = \boxed{16.9 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

(c) dans le sens horaire vu du dessus, c.-à-d. l'angle va diminuer

[suite p. 5...]

Question 9. Champ magnétique créé par un fil long [3.0 points]

Quatre longs fils parallèles perpendiculaires à cette page sont parcourus par des courants de 4.00 A chacun. Le courant: sort à A et à B, et entre à C et à D. Quelles sont *la grandeur et la direction* du champ magnétique net créé par ces quatre fils au point P, au centre du carré, d'arête égale à 0.200 m?



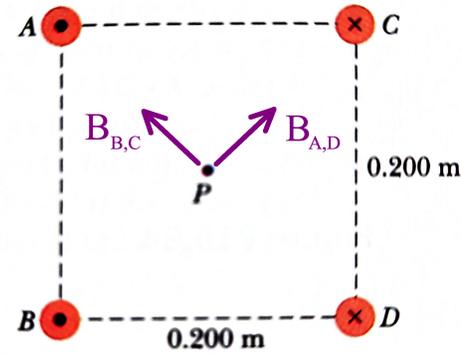
Solution

Les directions des 4 champs \mathbf{B} sont montrées ci-contre. La distance de P à chaque coin vaut $r = \sqrt{0.100^2 + 0.100^2} = 0.14142$ m et les quatre \mathbf{B} ont la même grandeur:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{(4\pi \times 10^{-7})(4)}{2\pi(0.14142)} = 5.66 \times 10^{-6} \text{ T}$$

Par symétrie, les composantes horizontales s'annulent et \mathbf{B} n'a qu'une composante verticale, vers le haut, égale à

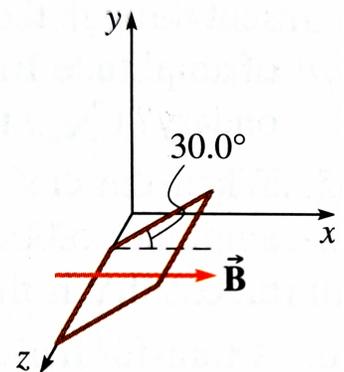
$$B = 4 \sin(45^\circ)(5.66 \times 10^{-6}) = \boxed{1.60 \times 10^{-5} \text{ T vers le haut}}$$



Question 10. Loi de Faraday-Lenz [3.0 points]

Un carré de fil, de 75 cm pour chaque arête, a une arête couché sur l'axe z et fait un angle de 30.0° par rapport au plan xz horizontal. Un champ magnétique uniforme \mathbf{B} de 0.32 T pointe vers $+x$.

- Quel est la grandeur du flux à travers ce cadre?
- Si l'angle est augmenté de 30.0° à 60.0° , quel est le nouveau flux à travers le cadre?
- Si ce changement se passe pendant 50.0 ms, quelle sera la grandeur de la f.é.m. induite moyenne?
- Pendant que l'angle augmente, le courant (conventionnel) dans la boucle ira-t-il vers $-z$ ou $+z$ dans l'arête du cadre couchée sur l'axe z?



Solutions

- $\Phi = BA \cos \theta = (0.32)(0.75)^2 \cos(120^\circ) = \boxed{0.09 \text{ Wb}}$
- $\Phi = BA \cos \theta = (0.32)(0.75)^2 \cos(150^\circ) = 0.15588 \approx \boxed{0.156 \text{ Wb}}$
- La f.é.m. induite vaut

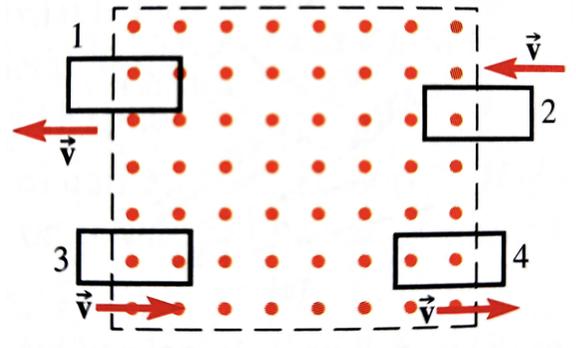
$$\mathcal{E} = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = \frac{0.15588 - 0.09}{0.05} = \boxed{1.32 \text{ V}}$$

- Comme Φ augmente, \mathbf{B}_{ind} pointe vers $-x$ et I_{ind} pointe vers $+z$

[suite p. 6...]

Question 11. Courant induit [1.0 point, pas de fraction de point]

La figure de droite montre une région de champ magnétique uniforme qui sort de la page, et hors de cette région, le champ magnétique est nul. La figure montre des cadres rectangulaires de fils qui se déplacent tel qu'indiqué. Indiquez la (ou les) boucle(s) qui subira(i)ent une force magnétique dirigée *vers la droite*?



- (a) 1
- (b) 2
- (c) 3
- (d) 4
- (e) 1 et 2
- (f) 2 et 4
- (g) 3 et 4
- (h) aucune de ces réponses

Réponse: (e)

Question 12. Générateurs [3.0 points]

Un générateur, constitué de 80 enroulements en un cadre rectangulaire de 2.0 cm par 6.0 cm, est plongé dans un champ magnétique uniforme \mathbf{B} . Le graphique à droite montre la tension V (en volts) produite par ce générateur en fonction du temps.

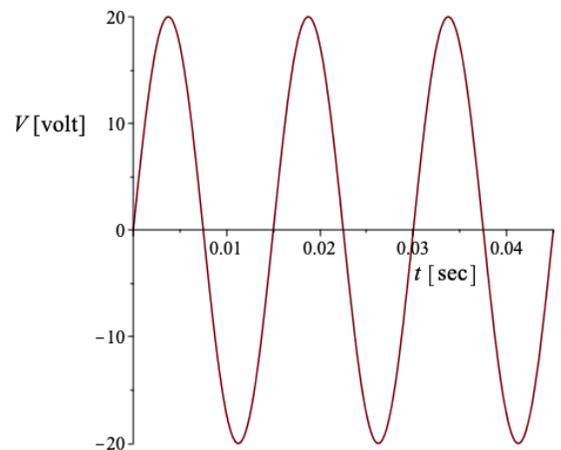
- (a) Quelle est la fréquence angulaire ω de ce générateur?
- (b) Quelle est la grandeur B du champ magnétique?

Solutions

(a) Du graphique, $T = 0.015$ s, et $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0.015} = 418.879 \approx$

420 rad/s

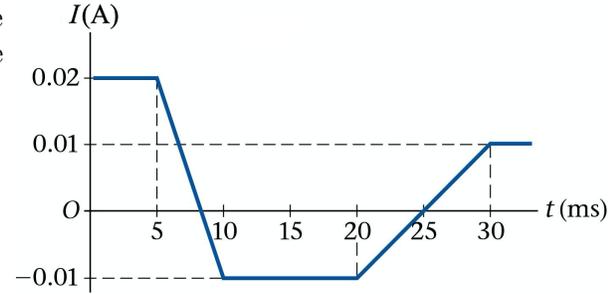
(b) $B = \frac{\mathcal{E}}{NA\omega} = \frac{20}{(80)(0.02 \times 0.06)(418.879)} = 0.497 \approx$ 0.50 T



[suite p. 7...]

Question 13. Inductance [3.0 points]

On fabrique une bobine d'induction de 5.00 cm de long en enroulant 250 tours de fil autour d'une bobine d'aire transversale égale à 1.00 cm². On place cette bobine dans un circuit dont le courant varie tel que montré dans le graphique ci-contre.



- (a) Que vaut l'inductance L de cette bobine?
- (b) Que vaut \mathcal{E} (avec le signe) à $t = 3.00$ ms ?
- (c) Que vaut \mathcal{E} à $t = 7.00$ ms ?
- (d) Que vaut \mathcal{E} à $t = 12.0$ ms ?
- (e) Que vaut \mathcal{E} à $t = 27.0$ ms ?

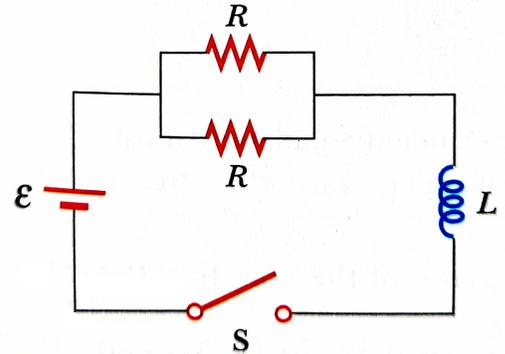
Solutions

- (a) $L = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} A = (4\pi \times 10^{-7}) \frac{250^2}{0.05} 10^{-4} = 0.157$ mH
- (b) $\mathcal{E} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -L \times (\text{pente}) = 0.00$ V
- (c) La pente vaut $\frac{\Delta I}{\Delta t} = -\frac{0.03}{0.005} = -6$, donc $\mathcal{E} = +0.940$ mV
- (d) La pente est nulle, donc $\mathcal{E} = 0.00$ V
- (e) La pente vaut $\frac{\Delta I}{\Delta t} = -\frac{+0.02}{0.010} = +2$, donc $\mathcal{E} = -0.314$ mV

Question 14. Circuits RL [1.0 point, pas de fraction de point]

Quelle est la constante de temps τ du circuit RL montré à droite?

- (a) $\frac{L}{R}$
- (b) $\frac{2L}{R}$
- (c) $\frac{L}{2R}$
- (d) $\frac{4L}{R}$
- (e) $\frac{L}{R^2}$



Réponse: (b)

[suite p. 8...]

Question 15. Circuits RL [3.0 points]

Le courant dans un circuit RL (c.à-d. une pile en série avec une résistance R et une bobine d'inductance L) atteint 95% de sa valeur maximale 2.24 secondes après avoir fermé l'interrupteur.

- (a) Quelle est la constante de temps τ de ce circuit?
(b) Si $L = 275$ mH, que vaut R ?

Solutions

- (a) On isole τ dans l'expression de $I(t)$:

$$I(t) = I_{max} \left(1 - \exp^{-\frac{t}{\tau}}\right) \rightarrow -\frac{t}{\tau} = \ln \left(1 - \frac{I}{I_{max}}\right), \tau = \frac{-t}{\ln \left(1 - \frac{I}{I_{max}}\right)} = \frac{-2.24}{\ln(1 - 0.95)} = \boxed{0.748 \text{ s}}$$

- (b) $\tau = L/R$ donne $R = L/\tau = 0.275/0.748 = \boxed{0.368 \text{ ohms}}$

Question 16. Transformateurs [2.0 points]

Un transformateur-élévateur de tension est conçu pour produire une tension à la sortie de 2200 V quand la tension à l'entrée vaut 110 V.

- (a) Si on compte 80 enroulements à l'entrée, combien d'enroulements sont requis à la sortie?
(b) Si le courant à la sortie vaut 1.5 A, que vaut le courant à l'entrée, en supposant une efficacité de 100% ?

Solutions

(a) $N_2 = N_1 \frac{V_2}{V_1} = 80 \frac{2200}{110} = \boxed{1600 \text{ tours}}$

(b) $I_1 = I_2 \frac{V_2}{V_1} = 1.5 \frac{2200}{110} = \boxed{30 \text{ A}}$