Vrai / Faux

1. Pour observer un courant induit, il suffit de placer un circuit électrique fermé dans un champ magnétique.

Vrai ❒ Faux ❒

2. Les courants de Foucault sont des courants induits circulant dans tout le volume d'une pièce métallique.

Vrai ❒ Faux ❒

3. Un alternateur réalise une conversion de travail mécanique en travail électrique.

Vrai ❒ Faux ❒

4. Le signe de l'inductance propre dépend du choix de l'orientation du circuit.

Vrai ❒ Faux ❒

5. Le signe de l'inductance mutuelle dépend du choix de l'orientation des circuits.

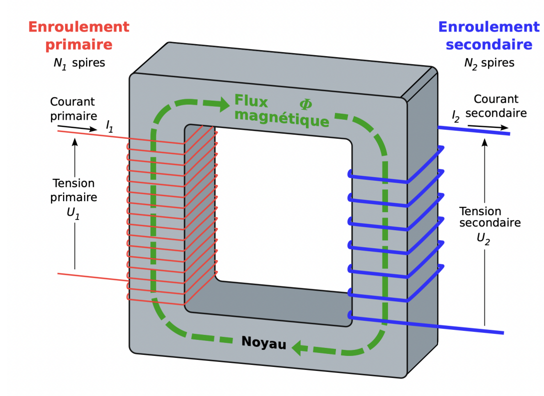
Vrai ❒ Faux ❒

Pour bien démarrer

Exercice n°1 - Modèle du transformateur idéal (★)

Un schéma de transformateur est présenté ci-dessous. Le noyau est un matériau magnétique qui canalise les lignes de champ magnétique entre le circuit primaire et le secondaire. On supposera, dans le cadre du modèle idéal, qu'il n'y a aucune perte de flux : aucune ligne de champ ne sort du noyau. Ainsi, le flux magnétique Φ est le même pour toute section droite du noyau. On néglige également la résistance des fils.

1. Exprimer le flux du champ magnétique à travers le circuit 1 en fonction de Φ et de N_1. On prendra garde au fait que ce flux est à travers la normale au circuit 1, dont le sens est donné en fonction du courant par la règle de la main droite. Faire de même pour le flux à travers le circuit 2.



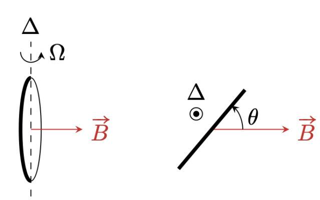
On appelle ϕ le flux commun. Il est du à la fois au champ produit par l'enroulement primaire et au champ produit par l'enroulement secondaire. Le flux total à travers une spire vaut donc $\pm\phi$, en fonction de l'orientation de sa normale. On négligera également toute résistance.

2. Faire un circuit électrique équivalent, où apparaissent les tensions induites e_1 et e_2 (orientées correctement, point 3 de la méthode).
3. Donner l'expression de ces tensions à l'aide de la loi de Faraday.
4. En déduire une relation entre e_2 et e_1 (c'est-à-dire l'équation électrique du circuit), puis entre U_1 et U_2. On posera le rapport de transformation $m = N_2/N_1$. Encore une fois, attention aux signes...
5. Dans le modèle idéal, la puissance dans le primaire se retrouve intégralement dans le secondaire. En déduire une relation entre les courants i_1 et i_2 en fonction de m.

Exercices essentiels

Exercice n°2 - Spire en rotation (★★)

Considérons une spire conductrice circulaire de surface S et de résistance électrique r. Cette spire est mise en rotation à la vitesse angulaire $\Omega = \dot{\theta}$ constante autour d'un de ses diamètres, qui définit l'axe Δ. Elle est placée dans un champ magnétique uniforme et stationnaire $\vec{B}$ orthogonal à Δ.



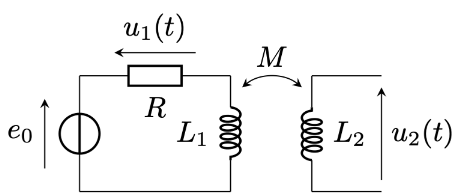
1. Établir l'expression de la f.é.m. induite dans la spire. En déduire celle du courant induit dans la spire.

2. Déterminer le moment magnétique instantané de la spire.

3. En déduire le couple de Laplace instantané puis moyen qui s'exerce sur la spire. Quel est qualitativement son effet sur le mouvement de la spire ? Aurait-on pu le prévoir sans calcul ?

Exercice n°3 - Mesure d'une inductance mutuelle (★★)

Le montage ci-dessous permet de mesurer le coefficient d'inductance mutuelle entre deux bobines. Les deux bobines se font face comme sur la figure. La première bobine est montée en série avec une résistance $R = 100\Omega$ et un générateur de tension e_0 harmonique de fréquence $f = 2{,}0$ kHz. Les tensions u_1 et u_2 sont mesurées grâce à un oscilloscope supposé idéal, c'est-à-dire de résistance d'entrée infinie.



1. Quelle est l'intensité circulant dans la bobine 2 ? D'après la loi de comportement habituelle de la bobine, que vaudrait alors la tension u_2 ? Pourquoi cette loi n'est elle pas applicable telle quelle ici ?

2. Exprimer la tension u_2 en fonction de M et u_1.

3. Calculer M sachant que les tensions lues à l'oscilloscope ont des amplitudes $U_1 = 3{,}00$ V et $U_2 = 0{,}50$ V.

4. On fait tourner la bobine sur elle-même dans le plan de la paillasse. Indiquer sans calcul comment est modifiée la valeur de M lorsque l'angle de rotation vaut 180° ? 90° ? Même question si l'on aligne les axes des deux bobines.

Exercice n°4 - Plaque à induction (★★)

Le chauffage du fond métallique des casseroles et autres poêles de cuisson peut être réalisé par effet Joule des courants induits directement dans le fond de la casserole par un champ magnétique variable, les courants de Foucault. Logé dans une table support en céramique, un bobinage alimenté en courant sinusoïdal, appelé inducteur, génère ce champ. L'inducteur a un rayon de 5cm et compte vingt spires de cuivre de résistance électrique $R_1 = 18$ mΩ et d'auto-inductance $L_1 = 30\ \mu$H. Il est alimenté par une tension harmonique v_1 de pulsation ω. Du point de vue électromagnétique, on modélise le fond de casserole par une spire circulaire unique, fermée sur elle-même, appelée induit. L'induit a une résistance $R_2 = 8{,}3$ mΩ et une auto-inductance $L_2 = 0{,}24\ \mu$H. Le transfert d'énergie électrique s'effectue par couplage inductif entre l'inducteur et l'induit d'inductance mutuelle $M = 2\ \mu$H.

1. En s'appuyant sur un schéma électrique équivalent, établir les équations électriques relatives aux deux circuits.

2. En déduire l'expression littérale de la fonction de transfert $\underline{H} = \underline{I_2}/\underline{I_1}$.

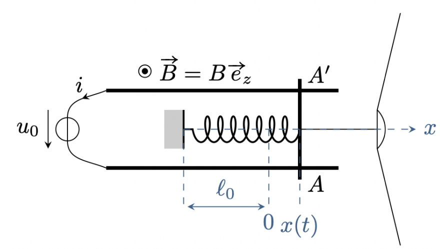
3. En déduire l'impédance d'entrée $\underline{Z_e} = \underline{V_1}/\underline{I_1}$ du système.

4. La pulsation ω est choisie bien plus grande que R_1/L_1 et R_2/L_2. Simplifier les deux expressions précédentes et calculer numériquement leur module.

5. On soulève la casserole. Indiquer qualitativement comment varie l'amplitude du courant appelé par l'inducteur.

Exercice n°5 - Haut-parleur de Laplace (★★)

On s'intéresse dans cet exercice à un modèle très simplifié de haut-parleur, dans une configuration proche des rails de Laplace où la membrane du haut parleur est fixée solidairement à la tige mobile, qui est également reliée élastiquement à un bâti. La tige mobile a pour longueur $AA' = a$, et sa position est repérée par son abscisse x, dont l'origine correspond à la position de repos. Les frottements de l'air sur la membrane se traduisent par une force de frottement linéaire $\vec{f} = -\alpha\vec{v} = -\alpha\dot{x}\vec{e_x}$.



Le système est forcé électriquement par la tension de commande u_0. On note R la résistance électrique de l'ensemble, et on néglige l'auto-induction.

1. Exprimer en fonction de $\dot{x}$ la f.é.m. induite.
2. Écrire les équations électrique et mécanique.
3. Découpler ces équations pour aboutir à une unique équation différentielle portant sur la position x de la tige mobile. Quel type d'équation obtient-on ? L'analyser physiquement : comment se traduisent les phénomènes d'induction ? Commenter leur signe.
4. Procéder à un bilan de puissance du système et interpréter physiquement chaque terme.

Résolution de problème

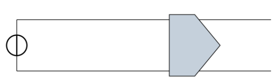
Le *rail gun*

Le canon électrique, connu aussi sous le nom anglais de *rail gun*, est une arme à projectile accéléré par une force électromagnétique. Le dispositif, schématisé dans le principe ci-dessous, revient à établir une différence de potentiel électrique entre deux rails parallèles conducteurs, et à insérer entre eux un projectile, conducteur également, pouvant glisser ou rouler dessus. La source peut délivrer un courant de 1 MA.

▷ Montrer que l'on peut accélérer la masse jusqu'à une vitesse supersonique sans utiliser de champ extérieur.

Données : le conducteur pèse 500 g et les rails sont longs de 3 m et séparés de 10 cm, champ créé par un fil infini, parcouru par un courant d'intensité I, en coordonnées cylindriques :

$$\overrightarrow{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}\overrightarrow{u_\theta}$$



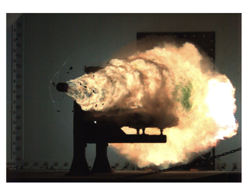


Figure 1: Gauche : schéma de principe. Droite : photo prise lors d'un essai d'un rail gun de la Navy américaine.

Éléments de réponse

Vrai / Faux

1. Faux 2. Vrai 3. Vrai 4. Faux 5. Faux

Exercice n°1

3. On trouve $\dfrac{e_2}{e_1} = \dfrac{N_2}{N_1}$ puis $\dfrac{U_2}{U_1} = -m$.
4. D'après l'énoncé, $\dfrac{i_2}{i_1} = -\dfrac{1}{m}$.

Exercice n°2

1. $i(t) = -\dfrac{\Omega S B}{r}\cos(\Omega t)$
2. $\overrightarrow{m}(t) = \dfrac{\Omega S^2 B}{r}\cos(\Omega t)\overrightarrow{n}$
3. $\langle \overrightarrow{\Gamma} \rangle = -\dfrac{\Omega S^2 B^2}{2r}\overrightarrow{e_\Delta}$

Exercice n°3

2. $u_2 = \dfrac{M}{R}\dfrac{du_1}{dt}$
3. $M = \dfrac{RU_2}{2\pi f U_1} = 1,3$ mH.

Exercice n°4

3. $\underline{H} = \dfrac{-jM\omega}{R_2 + j\omega L_2}$
4. $\underline{Z_e} = R_1 + j\omega L_1 + \frac{(M\omega)^2}{R_2 + j\omega L_2}$
5. $|\underline{I}_2/\underline{I}_1| = 8,3$ et $\underline{Z_e} = 2,1\ \Omega$

Résolution de problème

On trouve d'abord la valeur numérique du champ magnétique : $B \simeq 8$ T.

On trouve ensuite à l'aide du théorème de l'énergie cinétique la vitesse du barreau : $v = \sqrt{\dfrac{2IaBL}{m}} \simeq 3\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$.