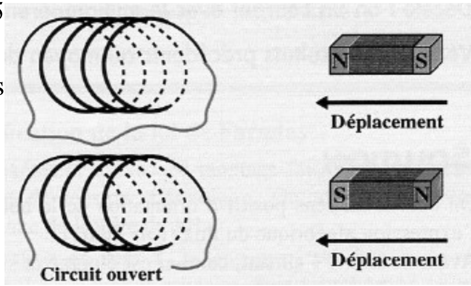
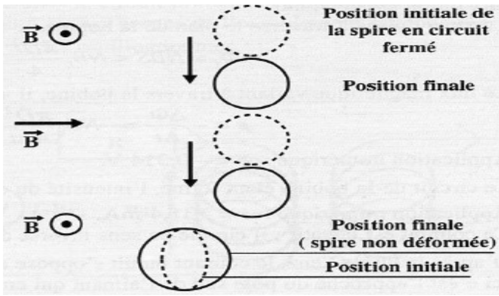
1. Existe-t-il un courant induit ? ☺

La figure ci-contre représente 5 dispositifs expérimentaux.

Existe-t-il un courant induit dans chaque cas ?

Si oui, donner son sens.



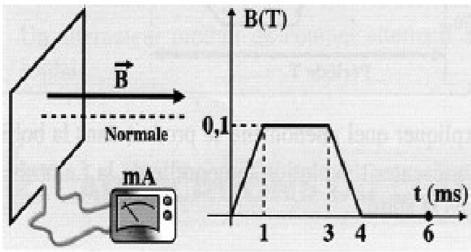


2. Courant induit dans une spire carrée ☺ ☺

Une bobine, constituée de N = 100 spires carrées de côté a = 30 cm, est placée dans le champ uniforme $\vec{B}$ mais variable d'un électroaimant, comme l'indique la figure. La résistance totale du circuit est R = 1 kΩ.

1) Pour B = 0,1 T, calculer le flux Φ à travers la bobine.

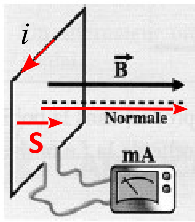
2) Calculer la f.é.m. induite dans la bobine. Représenter l'évolution temporelle de l'intensité du courant induit dans la bobine et indiquer son sens sur un schéma.



Solution

1) Si on oriente la normale dans le sens de $\vec{B}$:

$$\boxed{\Phi = N\vec{B}.\vec{S} = N\,B\times S = N\,B\times a^2 = 100\times 0{,}1\times 900.10^{-4} = 0{,}9\ Wb}.$$



2) $e = -N\dfrac{d\Phi}{dt} = -N\dfrac{d\,BS}{dt} = -N\,a^2\dfrac{dB}{dt}$

3)

De 0 à 1 ms :

$\dfrac{dB}{dt} = \dfrac{0{,}1}{10^{-3}} = 0{,}1\times 10^3 = 100\,T/s$ on en déduit $e = -N\,a^2\times 100 = -100\times 900.10^{-4}\times 100 = -900\text{V}$

Le courant induit est négatif (conforme à la loi d Lenz) par rapport au sens choisi. L'intensité vaut

$i = \dfrac{e}{R} = \dfrac{-900}{1000} = -0{,}9\,A$

De 1 à 3 ms :

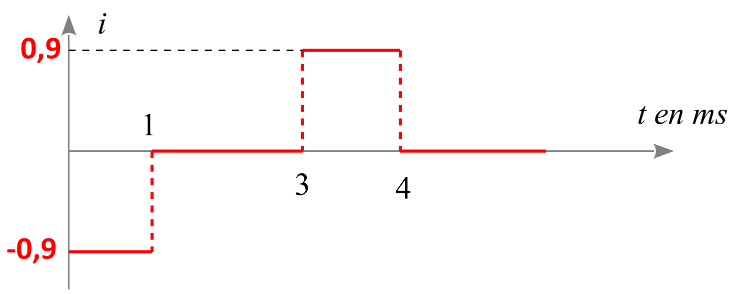
$\dfrac{dB}{dt} = 0$ il n'y a pas de variation du flux donc pas de courant induit. $i = 0\,A$.

De 3 à 4 ms :

$\dfrac{dB}{dt} = \dfrac{-0{,}1}{10^{-3}} = -0{,}1\times 10^3 = -100\,T/s$ on en déduit $e = 900\text{V}$

Le courant induit est positif (conforme à la loi d Lenz) par rapport au sens choisi. L'intensité vaut

$i = \dfrac{e}{R} = \dfrac{-900}{1000} = 0{,}9\,A$

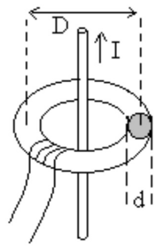


3. Pince ampère métrique simplifiée ☺ ☺

On néglige dans cet exercice le phénomène d'auto-induction, c'est à dire le champ magnétique créé par le courant induit dans la bobine torique.

Un fil rectiligne transportant un courant alternatif *i(t)* de fréquence $f = 50$Hz et d'intensité efficace I = 1000 A est placé sur l'axe d'un tore de perméabilité relative $\mu_r = 1000$, de diamètre D =10cm , de section $s = \pi \frac{d^2}{4} = 1\text{cm}^2$.

On a enroulé $N = 100$ spires de fil de cuivre sur le tore.



On admet que dans tout plan orthogonal au fil, les lignes de champ du champ magnétique créé par le fil rectiligne sont des cercles concentriques centrés au point d'intersection du fil et du plan considéré.

On admet que le module B du champ $\vec{B}$ à la distance r du fil est donné par la relation $B = \frac{\mu_0 \mu_r i}{2\pi r}$. On a représenté le principe du dispositif ci-contre.

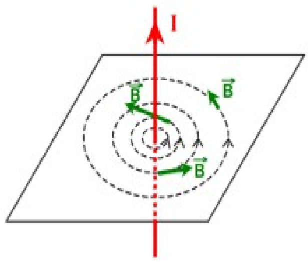
a) Faire une représentation des lignes de champ dans un plan orthogonal au fil.

b) A un instant donné, on pourra par la suite considérer le champ magnétique créé par le fil constant à travers toute section droite s du tore, pourquoi ? Donner l'expression simplifiée de B.

c) Etablir l'expression du flux du champ magnétique créé par le fil à travers toute section droite s du tore. En déduire la f.e.m. induite mesurée par un volt-mètre aux bornes des spires. Quelle application voyez-vous à ce montage ?

Solution

a) (ci-contre)



b) D>>d si bien qu'on pourra prendre la relation : $B = \frac{\mu_0 \mu_r i}{\pi D}$

c) On oriente le circuit de telle manière que le vecteur surface soit de même direction et de même sens que $\vec{B}$. Le flux de ce champ à travers une spire du fil de cuivre enroulé autour du tore est : $\Phi = B \times s = \frac{\mu_0 \mu_r i}{\pi D} \times s$

Le flux à travers les N spires est : $\Phi_{tot} = N\,\Phi = N \frac{\mu_0 \mu_r i}{\pi D} \times s$.

Remarque :

- Ce calcul est rendu simple dans le cas où les dimensions de la section du tore restent faibles devant son rayon sinon il conviendrait de faire l'intégration ; cas classique d'un tore à section rectangulaire
- Le coefficient de mutuelle inductance est $M = \frac{\mu_0 \mu_r I}{\pi D} Ns$.

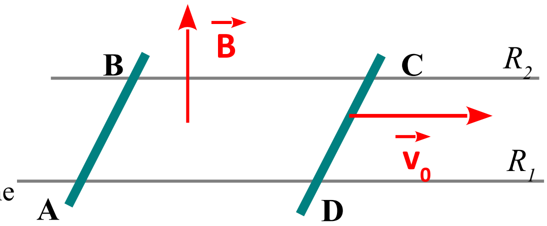
La force électromotrice induite dans le circuit du tore est donc $e = \frac{-d\,\phi_{tot}}{d\,t} = -N \frac{\mu_0 \mu_r}{\pi D} \times s \frac{d\,i}{d\,t}$. L'expression de l'intensité est du type : $i(t) = I\sqrt{2}\cos(2\pi f t + \phi)$ donc $\frac{d\,i}{d\,t} = -I\sqrt{2} \times 2\pi f \sin(2\pi f t + \phi)$ donc $e = \frac{-d\,\phi_{tot}}{d\,t} = 2\pi f N \frac{\mu_0 \mu_r}{\pi D} \times s\, I\sqrt{2}\sin(2\pi f t + \phi)$. Le voltmètre mesure la valeur efficace E telle que : $e = E\sqrt{2}\sin(2\pi f t + \phi)$. Par identification : $E = 2 f N \frac{\mu_0 \mu_r}{D} I s$

La mesure de cette force électromotrice permet d'accéder au courant I du fil sans "toucher" au circuit .

AN : $E = 2 \times 50 \times 100 \frac{4\pi 10^{-7} \times 1000}{10.10^{-2}} \times 1000 \times 10^{-4} = \frac{4\pi}{10} = 12{,}5\, V$.

Un voltmètre a une très grande résistance , ainsi le courant induit est très faible ce qui explique qu'on puisse négliger l'inductance propre.

4. Bilan de puissance ☺☺



On considère le dispositifs schématisé ci-contre.

Il comporte :

- Deux rails métalliques horizontaux R_1 et R_2 de résistance négligeable.
- Deux barres métalliques AB et CD, de longueur l et ayant chacune une résistance égale à R/2

Ce dispositif est plongé dans un champ magnétique vertical, uniforme, d'intensité B.

1) La barre AB est maintenu immobile et on déplace la barre CD en assurant le contact avec les rails à la vitesse $\vec{v_0}$, uniforme et parallèle aux rails.

a) Déterminer l'intensité i du courant induit qui prend naissance dans le circuit ABCDA.

b) Déterminer la force qu'il faut appliquer à la barre pour réaliser son déplacement à la vitesse $\vec{v_0}$. Quelle puissance mécanique fournit-on alors au dispositif ?

c) Quelle est la puissance électrique dissipée dans le circuit ? Y-a-t-il conservation de l'énergie ?

2) On déplace simultanément les deux barres AB et CD en maintenant toujours le contact avec les rails, à la vitesse $\vec{v_0}$ uniforme et parallèle aux rails. Quelle est l'intensité du courant induit ?

3) On déplace simultanément les deux barres AB et CD en maintenant toujours le contact avec les rails, à la vitesse $\vec{v_0}$ uniforme et parallèle aux rails mais en sens opposé. Quelle est l'intensité dans le circuit ?

Données numériques : $l = 10\ cm$; $R = 0{,}5\ \Omega$; $B = 0{,}3\ T$; $v_0 = 5\ m.s^{-1}$.

Solution

1) On associe au rail R_1 un axe Ox orienté vers la droite tel que O soit confondu avec A. On oriente le circuit dans le sens trigo afin que la normale soit dans le même sens que $\vec{B}$ (plus simple).

a) Soit x l'abscisse de la barre et DC, a surface traversée par le champ magnétique est $S = l \times x$.

$\boxed{\Phi = \vec{B}.\vec{S} = B \times S = B \times l \times x}$ $\boxed{e = U_{AB} = -\frac{d\Phi}{dt} = -Bl\frac{dx}{dt} = -Bl\,v_0}$, il y a un courant induit i > 0 par rapport au sens conventionnel choisi. D'après la loi de Pouillet, le courant est : $\boxed{i = \frac{e}{R} = \frac{-Bl\,v_0}{R}}$.AN: $\boxed{i = -0{,}3\ A}$.

b) Bilan des forces s'exerçant sur la barre :

La force de Laplace : $\vec{F_L} = i\,\vec{DC} \wedge \vec{B} = i\,l\,B\,\vec{u_x}$ et la force de l'expérimentateur : $\vec{F_{op}}$

La barre a un mouvement rectiligne uniforme donc d'après la 2ème loi de Newton :

$\boxed{\vec{F_{op}} = -\vec{F_L} = -i\,l\,B\,\vec{u_x} = \frac{l^2 B^2 v_0}{R}\vec{u_x}}$. AN : $\boxed{F_{op} = 9.10^{-3}\ N}$

Puissance de la force : $\boxed{P_{op} = \vec{F_{op}}.\vec{v_0} = \frac{l^2 B^2 v_0^2}{R}}$AN : $\boxed{P_{op} = 45\ mW}$.

c) La puissance dissipée dans le circuit est $\boxed{P_R = R\,i^2 = \frac{l^2 B^2 v_0^2}{R} = P_{op}}$. Il y a conservation de l'énergie !

2) Il n'y a pas variation de flux dans le circuit, donc pas de courant induit.

3) La variation de flux est 2 fois plus rapide que dans la question 1 donc $\boxed{i = \frac{-2\,B\,l\,v_0}{R}}$ AN : $\boxed{i = -0{,}6\ A}$