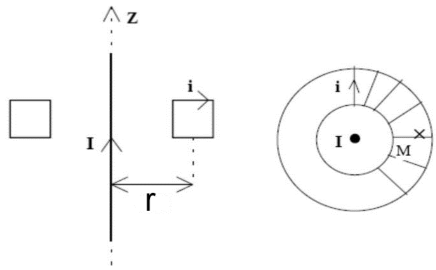
E 46. Courant induit dans une bobine fixe.
Une bobine fixe, plate, circulaire de rayon r, de résistance R, et comportant N spires, est soumise à l'action d'un champ magnétique uniforme et variable d'expression $\vec{B} = \vec{B_0}\left(1 - \mathrm{e}^{-t/\tau}\right)$ ($\tau =$ constante), perpendiculaire au plan de la bobine.
Caractériser le courant induit dans la bobine.

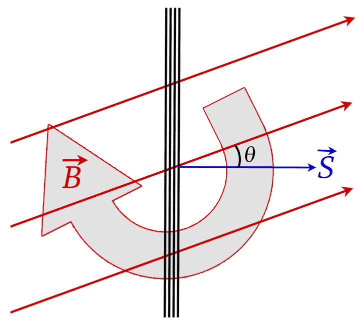
E 47. Courant induit par un champ magnétique sinusoïdal
Calculez l'intensité $i(t)$ parcourant une spire circulaire de rayon r, de résistance R, placée dans un champ magnétique uniforme, perpendiculaire au plan de cette spire, et variant sinusoïdalement selon la loi : $\vec{B} = B_m \cos(\omega t)\vec{u_z}$. On indiquera le sens de i sur un schéma. Tracer les graphes de $B(t)$ et $i(t)$.

E 48. Pince ampèremétrique
Une pince ampèremétrique est constituée d'une bobine toroïdale pouvant entourer un fil conducteur rectiligne très long parcouru par un courant alternatif $I(t)$ inconnu, à mesurer.
La bobine compte $N = 1000$ spires de section $S = 2$ cm² dont les centres sont situés à $r = 6$ cm du fil central.



1) Expliquer pourquoi la bobine est le siège d'une f.é.m.
2) Exprimer le champ magnétique $\vec{B}(r)$ créé par le fil au centre des spires.
3) En supposant que le champ magnétique varie peu au sein des spires, vu leur faible section, exprimer la f.é.m. ressentie par la bobine. On prendra $I(t) = I_m \cos(\omega t)$.
4) Cette bobine est reliée à un voltmètre sensible au millivolt. Quelle est l'amplitude minimale d'une intensité de fréquence 50 Hz détectable par l'appareil ? On donne $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$ H·m^{-1}.

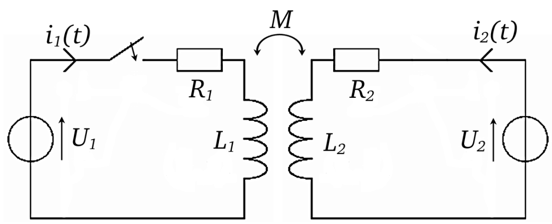
E 49. Principe du fonctionnement d'un alternateur
Une bobine plate comportant N spires de surface S est placée dans un champ magnétique de module constant et uniforme, tournant autour d'un des diamètres de la bobine à la vitesse angulaire Ω constante. On oriente arbitrairement la normale à la surface de la bobine, et on nomme θ l'angle qu'elle fait avec la direction du champ magnétique (voir schéma).



1) Soit θ_0 la valeur de θ à $t=0$. Exprimer θ en fonction du temps.
2) Exprimer la f.é.m. induite dans la bobine.
3) On admettra que si l'alternateur présente p paires de pôles, le problème est équivalent au précédent avec une vitesse angulaire du champ p fois plus grande. Exprimer dans ce cas la valeur efficace E de la f.é.m. induite.
4) Soit n le nombre de tours par seconde. Exprimer n en fonction de Ω, puis la fréquence f de la f.é.m. en fonction de p et n.
5) Montrer alors la relation de Boucherot, liant valeur efficace et fréquence : $E = \dfrac{2\pi}{\sqrt{2}} fNBS \approx 4{,}44\ fNBS$.

E50. Densité d'énergie.
Quelle est dans l'air (assimilé au vide) la valeur de la densité d'énergie électrostatique w_E ($w_E = \varepsilon_0.E^2/2$) si le champ électrique a pour valeur $E = 10^6$ V.m^{-1} ?
De même, quelle est la valeur de la densité d'énergie magnétique w_B dans un entrefer d'électroaimant où $B = 1$ T ?
Montrer que ces valeurs justifient le choix de convertisseurs électromagnétiques plutôt que l'utilisation de machines électrostatiques comme générateurs électriques. On rappelle que $\varepsilon_0 = 1/(36\pi.10^9)$ USI et $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$ USI.

E 51. Bilan de puissance
Considérons le schéma électrique ci-contre, représentant deux circuits électriques couplés.



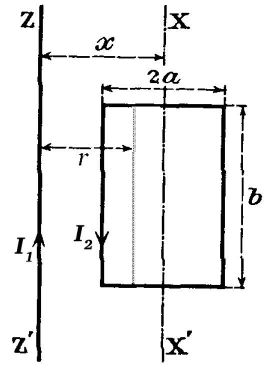
1) Après avoir exprimé les f.é.m. induites au niveau de chaque bobine, exprimer les deux lois des mailles.
Comment le couplage se manifeste-t-il dans ces équations ?
2) Afin de réaliser un bilan de puissance, on multipliera chaque équation par le courant qui convient, et on les ajoutera.
On posera $\mathscr{P}_G = U_1 i_1 + U_2 i_2$ puissance fournie par les générateurs,
et $\mathscr{P}_J = R_1 i_1^{\,2} + R_2 i_2^{\,2}$ puissance dissipée par effet Joule
Donner la relation entre $\mathscr{P}_G$, $\mathscr{P}_J$ et $\mathscr{E}_B$.

E52. Inductance propre d'un solénoïde long idéal (2e méthode).
Calculer, en utilisant l'énergie magnétique, le coefficient d'inductance propre d'un solénoïde long considéré comme idéal. Ses caractéristiques sont les suivantes : longueur ℓ, n spires par unité de longueur, section droite de surface S.

E 54. Aimant droit et spire carrée
On repère un circuit conducteur carré de côté a et de résistance électrique R, orthogonal à l'axe Oz, par sa position z. Initialement $z(t=0)=-L$. Un opérateur translate cette spire selon Oz en direction d'un aimant droit, situé en O dont le champ magnétique vaut : $\vec{B}=\dfrac{K}{z^2}\overrightarrow{u_z}$.

1) Schématiser la situation. Que se produit-il à partir du moment où la spire est mise en mouvement ?
2) Déterminer l'expression de $i(t)$ si la spire se déplace à une vitesse constante $v_0\overrightarrow{u_z}$.

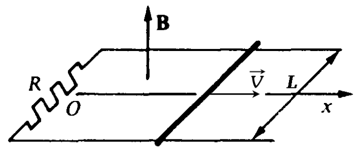
E 55. Variation de flux magnétique dans un cadre.



Un conducteur rectiligne infini vertical $Z'Z$ est parcouru par un courant d'intensité I_1. Un cadre rectangulaire de côtés $2a$ et b, parcouru par un courant d'intensité I_2 peut tourner autour de son axe $X'X$ parallèle à $Z'Z$ à la distance x.

1) Dans sa position initiale, le plan du cadre contient $Z'Z$. On rappelle que $B_1=\dfrac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$.
Calculer le flux Φ de $\overrightarrow{B_1}$ à travers le cadre.
2) Le cadre tourne alors de $\pi/2$ autour de $X'X$. Calculer le nouveau flux, Φ'.
3) Le cadre revient dans le plan $X'XZ'Z$ et se déplace maintenant vers la droite avec une vitesse constante v_e .
Quelle est la f.é.m. induite dans le cadre ?
Note : on orientera le cadre par le courant principal I_2. On vérifiera le signe de e avec la loi de Lenz. Dans un premier temps, on calculera e par la loi de Faraday. Deuxième méthode : on utilisera la circulation du champ électromoteur de Lorentz.

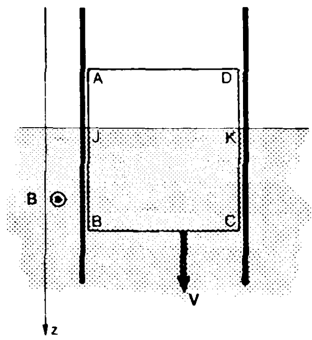
E 56. Rails de Laplace horizontaux.



Un circuit est constitué par deux rails rectilignes, parallèles, horizontaux, de résistance négligeable et dont l'écartement est L. Ces rails sont reliés à l'une de leurs extrémités par une résistance R. Une barre parfaitement conductrice, de masse m, peut glisser sans frottement sur les deux rails. L'ensemble se trouve plongé dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ vertical. À $t=0$, la barre placée en $x=0$ est lancée à la vitesse $\overrightarrow{v_0}=v_0\overrightarrow{u_x}$ puis elle est abandonnée à elle-même.

1) Ecrire l'équation différentielle du mouvement de la barre. En déduire $v=\dot{x}$ en fonction du temps.
2) Montrer que toute l'énergie dissipée par effet joule dans la résistance est égale à l'énergie cinétique initiale de la barre.

E 57. Freinage par induction : chute d'un cadre.

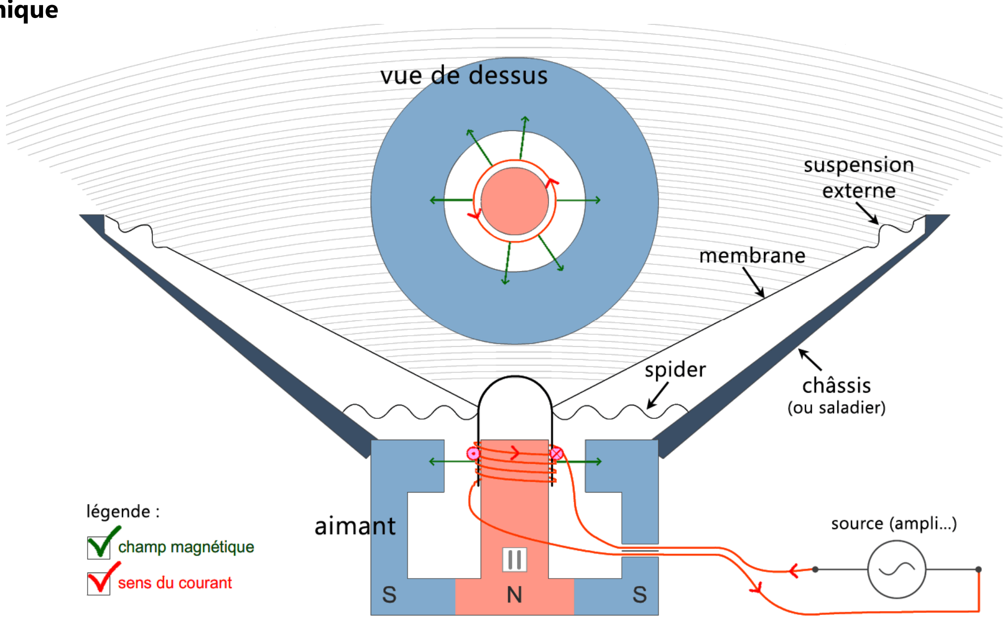


On demande d'étudier la chute verticale (mouvement guidé) d'un cadre rectangulaire filiforme de résistance R dans un champ magnétique permanent uniforme perpendiculaire au plan du cadre. Le cadre est à l'instant t dans la position indiquée sur la figure. À $t=0$, le cadre pénètre dans le champ avec une vitesse nulle.
Remarque : Dans ce problème, nous négligerons le champ magnétique créé par le courant induit et qui intervient également dans le phénomène d'induction (auto-induction). Nous négligerons également tout frottement.

1) Écrire l'équation électrique (on distinguera deux phases).
2) Écrire l'équation mécanique (pour les deux phases).
3) En déduire une équation différentielle globale où le courant n'apparaît pas. La résoudre pour exprimer la vitesse $v(t)$ tant que cadre n'est pas entièrement soumis au champ magnétique.
4) Effectuer un bilan de puissance à partir de l'équation différentielle obtenue à la question précédente, en exprimant la puissance cinétique. Traduire la conversion électromécanique. Que dire de l'énergie motrice du poids ?

E 58. Haut-parleur électrodynamique

Un haut-parleur est constitué d'une bobine solidaire d'une membrane pouvant se déplacer parallèlement à elle-même, cette bobine étant plongée dans le champ magnétique radial constant créé par un aimant permanent.
Lorsqu'on soumet le haut parleur à un signal électrique, un courant parcourt la bobine, et celle-ci se met alors en mouvement, entrainant avec elle la membrane. Les mouvements de la membrane se communiquent à l'air par frottement, ce qui crée du son.



source : https://www.pccl.fr/physique_chimie_college_lycee/cpge_mpsi_pcsi/haut_parleur_microphone_force_laplace_flash.htm

Les équation électriques et mécaniques du haut-parleur sont les suivantes :

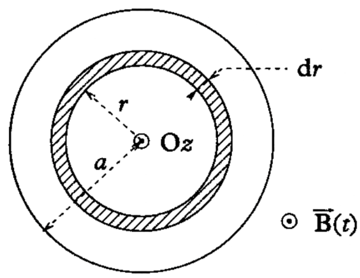
$$L\frac{di}{dt}+Ri=u_0+B\ell v \qquad m\frac{dv}{dt}=-kz-hv-B\ell i$$

avec m la masse de la membrane, k la raideur des ressorts qui rappellent la membrane, ℓ la longueur de fil enroulé de la bobine, h le coefficient de frottement de la membrane avec l'air, z et v la position et vitesse de la membrane, i l'intensité parcourant la bobine, u_0 la tension électrique d'alimentation du haut-parleur, et enfin R et L la résistance et l'inductance de la bobine. Les grandeurs variables sont z, v, u_0 et i.

1) Expliquer pourquoi la bobine se met en mouvement. Nommer et représenter sur le schéma les forces subies par le couple bobine-membrane. On négligera la pesanteur. Retrouver l'équation mécanique par application du PFD.
2) Identifier chaque terme dans l'équation électrique fournie. Montrer en particulier qu'il existe deux phénomènes d'induction distincts.
3) Transformer les deux équations en bilan de puissance. Identifier la puissance cinétique. Parmi ces puissances, certaines sont liées à des phénomènes conservatifs, et peuvent s'exprimer en fonction des énergies potentielles associées. Introduire ces énergies potentielles.
4) Exploiter la loi de conversion électromécanique et faire un bilan de puissance global. On introduira l'énergie totale $\mathscr{E}_{tot}=\mathscr{E}_m+\mathscr{E}_B$. Identifier le terme correspondant à la puissance sonore émise.

E 59. Plaque à induction

On cherche dans cet exercice à déterminer la puissance thermique reçue par le fond d'une casserole posée sur une plaque à induction. On assimile le fond de la casserole à un cylindre de rayon a, d'épaisseur h et d'axe Oz. La plaque à induction crée en son sein un champ magnétique variable $\vec{B}(t)=B_0\cos(\omega t)\vec{u_z}$.



Pour étudier les courants induits dans le fond de la casserole (courants de Foucault), on modélise ce dernier par un ensemble de spires circulaires concentriques d'axe Oz, d'épaisseur h et de largeur dr.
On admettra que la conductance électrique dG (inverse de la résistance) d'une de ces spires, de rayon r, s'écrit $dG=\gamma h\,dr$ où γ est la conductivité du métal utilisé.

1) Exprimer la f.é.m. induite dans une spire de rayon r.
2) En déduire le courant élémentaire di induit dans une spire, assimilée à un circuit filiforme de conductance dG.
3) En déduire la puissance instantanée dp dissipée par effet Joule dans une spire, puis la puissance moyenne $d\mathscr{P}$.
4) Déterminer alors la puissance totale $\mathscr{P}$, dissipée dans le fond de la casserole en fonction de B_0, ω, h, γ et a.
5) AN : Calculer $\mathscr{P}$ avec $\gamma = 10^7\ \mathrm{S{\cdot}m^{-1}}$, $h = 5$ mm, $a = 10$ cm, $B_0 = 0{,}1$ T, $\omega = 100\pi\ \mathrm{rad{\cdot}s^{-1}}$.
6) Comment peut-on procéder, en pratique, pour faire varier la puissance reçue par la casserole ?