

Induction électromagnétique

Niveau : 2e année CPGE

Pré-requis :

- Définition du champ magnétique
- électrocinétique
- Equations de Maxwell

Bibliographie :

- Physique tout-en-un PCSI , Dunod
- Physique tout-en-un PC , Dunod

Introduction

Simulation Experience de Faraday

https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_en.html

Ou (de préférence)

Spire + Résistance et voltmètre (ou oscillo) à bord de R ou ampèremètre en série
+ aimant qui rentre et sort dans la spire.

Deux causes possibles que l'on étudiera dans cette leçon : soit le circuit est plongé dans un champ magnétique variable soit c'est le circuit lui-même qui se déplace dans un champ magnétique constant.

I. Le phénomène d'induction : Neumann

- A. Cadre
- B. Modélisation
- C. Loi de lenz

II. Couple inductif

- A. Auto-inductance
- B. Inductance mutuelle

Manip

III. Applications

- A. Transformateur
- B. Courants de Foucault et freinage par induction

Manip aimant dans tube + video "un frein magnétique - Unisciel"

Ou II.B) application : Transformateur

III. Courants de Foucault

A) Modélisation B) freinage par induction C) chauffage par induction

Questions sur la Manip

Q: L'induction a été présentée avec deux formes, Lorentz et Neumann, mais a-t-on une loi plus générale qui regroupe les deux cas ?

R: Oui, c'est la loi de Faraday, la fem est l'opposée de la dérivée du flux magnétique à travers le circuit par rapport au temps.

Lorentz est l'induction « motionnelle » (mouvement du circuit dans le champ) et Neumann l'induction liée à la dépendance temporelle du champ B. Les deux se retrouvent dans l'expression de la force électromotrice $e = -d\phi/dt$. La force électromotrice e_{AB} aux bornes d'un circuit étant obtenue par la circulation de A à B du champ E. Le champ électromoteur s'écrit de façon générale : $\vec{E}_m = \partial \vec{A} / \partial t + \vec{v} \wedge \vec{B}$ avec A potentiel vecteur et v vitesse de déplacement du circuit. Si on calcule par le flux du champ magnétique à travers un circuit, il faut toujours donner un sens conventionnel au courant dans le circuit qui implique le sens de la normale au circuit (ou du vecteur $d\vec{S}$). Le choix du sens conventionnel n'a pas d'effet sur le résultat final.

Q: Quelle hypothèse fait-on ici ?

R: Celle de l'ARQS, réponse instantanée du circuit, on néglige le temps de propagation des ondes Em.

Q: Question sur l'introduction: $\Phi = Li$, expression générale ?

R: Φ et I à définir, ici cette expression décrit surtout le cas de l'auto-induction. Par exemple pour les inductances mutuelles on a $\Phi_2 = Li_2 + Mi_1$

Q: Comment fonctionne le teslamètre ? Pourquoi un semi-conducteur ?

R: On plonge un conducteur dans un champ magnétique. Lorsqu'une tension est appliquée au borne du conducteur, les électrons sont mis en mouvement et atteignent une vitesse longitudinale stationnaire v_x . En présence d'un champ magnétique transverse B_z ils subissent une force de Lorentz dans la direction transverse y d'amplitude $q v_x B_z$. Dans le régime transitoire, la xz dérive latérale des électrons dans le conducteur conduit à leur accumulation sur les faces normales à la direction y, ce qui provoque l'apparition d'une différence de potentiel entre ces faces. En régime permanent, cette différence de potentiel est associé à un champ électrique de Hall E_H et les électrons subissent la force électrostatique additionnelle qE_H qui compense exactement la force de Lorentz. Ainsi la tension de Hall mesurée est proportionnelle à l'amplitude du champ magnétique appliqué. On notera que la tension de Hall est d'autant plus importante que la vitesse des électrons est importante. Comme la densité de courant $j = qnv_x$ elle est inversement proportionnelle à la densité de porteurs n , ce qui explique pourquoi on privilégie les semiconducteurs pour mesurer l'effet Hall et non les métaux.

Sonde à effet Hall: un courant passe dans la sonde (semi-conducteur), les électrons sont alors déviés par le champ magnétique, ce qui va induire en régime permanent un champ électrique qui va s'opposer à cette déviation, correspondant donc à une tension que l'on peut mesurer et qui est proportionnelle au champ magnétique appliqué.

On utilise un semi-conducteur car la tension de Hall est inversement proportionnelle à la densité de porteur de charge, donc dans un métal conducteur elle serait trop faible.

Q: Ordre de grandeur de L dans la vie courante ?

R: Le Henry est une grande unité: en général plutôt du mH (les inductances de fuite sont de l'ordre du mH dans les modèles de transformateur). On peut obtenir en TP une inductance de l'ordre de 1 H avec une bobine d'environ 1000 spires avec un noyau de fer. Voir le cours d'électronique de Jérémy Neveu pour modélisation des bobines à haute fréquence.

Q: Exemples d'application des inductances ?

R: Des exemples d'applications sont les transformateurs, l'utilisation du phénomène de surtension (dans des portails par exemple) etc.. Bobine aussi utile en électronique pour lisser un signal (comme la tension est la dérivée du courant).

Q: Pourquoi la mesure de L2 au RLC-mètre avec le fer doux ne fonctionnait pas ?

R: Car le circuit 1 était encore branché donc il y avait encore une influence du circuit 1 via la mutuelle !

Q: Pourquoi un noyau de fer ? Quel est son effet ?

R: Le terme de canalisation des lignes de champ est peu explicite. Comme, la perméabilité magnétique du milieu entre les bobines augmente fortement (même si le comportement n'est pas linéaire on peut prendre comme valeur de μ_r celle à l'origine de la courbe B(H)), cela augmente le champ magnétique (théorème d'Ampère) et par conséquent L (expérimentalement on passait de 8 à 18 mH) et donc M.

Q: Pourquoi fer "doux" ?

R: Cycle d'hystérésis d'aire faible : voir par ex. le BFR électromagnétisme 4 sur les différents matériaux (fer doux ou durs avec les valeurs de la perméabilité relative). Le fer doux perd son aimantation quand on arrête de lui appliquer un champ magnétique (faible champ coercitif, au contraire on utilisera des fers durs pour la fabrication d'aimants). Il y a aussi un intérêt énergétique dans toutes les applications de type transformateur afin de limiter les pertes par hystérésis (2 types de perte : pertes par hystérésis et pertes par courants de Foucault).

Q: Relation linéaire entre v2 et i1 ?

R: Attention relation linéaire entre leurs AMPLITUDES.

Q: Pourquoi $M < \sqrt{L_1 L_2}$?

R: On peut le retrouver en posant les équations couplées et en écrivant la conservation de l'énergie magnétique.

Q: Comment avoir $\theta=1$?

R: Dans le solénoïde Jeulin, il y a deux solénoïdes l'un sur l'autre, ce qui donne un coefficient de couplage très fort (à mesurer pour vérifier).

Q: Comment fonctionne un LCR mètre ? L'appareil propose plusieurs fréquences, laquelle choisir ? Incertitude du LCR mètre ?

R: Via la détection Synchrone, technique de mesure d'impédance en régime sinusoïdal forcé. Il faut se mettre à faible fréquence car $Z = wL$, on veut L grand donc w petit. Il faut regarder la notice, c'est un peu plus compliqué que seulement le dernier DIGIT