

Rapport MP 20 : Induction ; Auto-induction

Correcteurs : Samuel Leroy : samuel.leroy@ens-lyon.fr
Guilhem Aubert: guilhem.aubert@gmail.com

Rapports de Jury concernant ce montage :

2014 à 2016 : Lors de ce montage, trop de candidats abusent des expériences qualitatives et transforment la séance en une série d'expériences de cours sur l'induction et obtiennent de ce fait une note médiocre. Par ailleurs, la notion d'inductance mutuelle est souvent mal dégagée, en particulier à cause de mauvais choix dans les composants utilisés et dans la fréquence d'excitation.

2010 à 2013 : La notion d'inductance mutuelle est souvent mal dégagée, par suite en particulier de mauvais choix dans les protocoles expérimentaux (composants utilisés, dans la fréquence d'excitation).

2009 : L'observation subjective d'un retard à l'allumage d'une lampe ne peut être qu'une introduction qualitative du phénomène d'auto-induction qui doit être illustré par des mesures précises et une confrontation entre la mesure et le modèle décrivant le phénomène. L'étude du rendement du transformateur n'a pas sa place dans ce montage.

1999 : Il est préférable de ne pas s'attarder trop longtemps sur les expériences qualitatives préliminaires de mise en évidence du phénomène. En revanche, du temps peut être utilement consacré à effectuer des mesures soignées de l'impédance associée aux bobines. Il convient de rappeler que, pour les montages en pont (Maxwell, Sauter, ...), la sensibilité obtenue n'est optimale que si une réflexion préalable a été menée. N'importe quelle combinaison d'impédances ne répond évidemment pas de façon correcte au problème posé.

Jusqu'en 1998, le titre était : *Auto-induction : tension, énergie. Caractérisations et mesures. Applications.*

1998 : Le flux magnétique créé par un courant à travers une bobine n'est proportionnel à l'intensité de ce courant ($\phi = Li$) qu'en l'absence de noyau ferromagnétique. La différence entre le modèle théorique que constitue une inductance pure (à laquelle on peut ajouter une résistance série) et une bobine concrète n'apparaît pas toujours clairement. Cette dernière peut révéler des surprises dès que la fréquence augmente quelque peu, alors qu'il n'en est évidemment pas de même du modèle. Les bobines sont évidemment utilisées dans des circuits électriques, RLC série, notamment. Il ne faut pas perdre de vue le titre du montage : toutes les propriétés des circuits utilisés n'ont pas forcément de rapport direct avec le sujet (largeur de la bande passante, notamment).

Commentaires généraux :

Le montage présenté était plutôt correct même si une attention plus grande aurait pu être apportée d'une manière générale à la description des expériences, aux explications sur le choix des composants et à la présentation des outils de mesure. Il y a eu d'autre part quelques soucis dans certaines manipulations (et notamment des cafouillages sur l'utilisation de l'oscilloscope) qui ont été à l'origine de quelques manifestations de lassitude qu'il faut absolument parvenir à maîtriser et à éviter le jour J. L'étudiant s'est toutefois bien repris et a pu mener à bien sa présentation, même si tout n'a pas pu être présenté jusqu'au bout.

Le choix des manipulations a quant à lui été plutôt convainquant, excepté peut être la dernière application sur le transformateur (qui n'a pas pu être menée complètement) qui était finalement un peu redondante avec la manip sur l'inductance mutuelle. On aurait pu ici finir sur d'autres applications permettant de diversifier le montage, comme le freinage par courant

de Foucault, l'allumage d'un tube fluorescent, le phénomène de surtension et les bougies d'allumage...

Enfin les réponses aux questions ont été l'occasion de revenir sur certains manquements dans les explications pendant la présentation, mais elles ont notamment mis en évidence quelques lacunes sur des notions de bases d'électricité (filtrage d'ordre 1 et 2 et montage intégrateur à AO). Même si le montage cible principalement l'évaluation des compétences expérimentales, tout circuit utilisé dans les manipulations doit être maîtrisé et pouvoir être expliqué, a fortiori lorsqu'il s'agit de simple filtre du 1^{er} ordre.

Commentaires détaillés :

Introduction

La manipulation d'introduction est tout à fait pertinente et intéressante pour mettre en évidence de manière qualitative et visuelle les phénomènes d'induction, mais elle mériterait des explications plus claires et de préférence basées sur la loi de modération de Lenz (qualitative) plutôt que sur la loi de Faraday (présentée plus tard dans le montage et quantitative). Il s'agit ici surtout d'interpréter qualitativement en fonction du mouvement de l'aimant le sens du courant dans la bobine et donc la diode qui s'allume.

Ex : En éloignant l'aimant de la bobine, le flux de B à travers la bobine diminue, donc d'après la loi de Lenz, le champ B induit est dans le même sens que le B de l'aimant pour compenser la diminution du flux, et d'après la règle de la main droite, on déduit le sens du courant induit et donc quelle diode s'allume...

I° 1) Proportionnalité entre flux et intensité

Il faut ici mieux expliquer comment on a placé la sonde à effet Hall (position, orientation) pour diminuer au maximum les effets de bord, mesurer au mieux la composante de B dans la bobine. Il faut notamment pour cela pouvoir expliquer clairement, lors des questions notamment, le principe de fonctionnement de la sonde à effet Hall.

Attention aux unités sur les formules écrites au tableau, une valeur de plus de 12 T devrait immédiatement vous choquer.

Concernant la modélisation affine choisie, il était certes intéressant de la justifier en montrant que pour $I=0$, on avait un champ B non nul, mais la valeur de 2,1 mT devrait là aussi vous poser question. D'où proviendrait ce champ résiduel 40 fois supérieur en intensité au champ magnétique terrestre ?? Comme évoqué lors des questions, il y a un bouton de réinitialisation du zéro de la sonde dont il faudrait expliciter le mécanisme et qui permet ainsi de privilégier comme attendu la modélisation linéaire

I° 2) Vérification de la loi de Faraday

Les précautions de la manipulation et le choix des pièces plates plutôt que tronconique ont été évoquées très rapidement mais mériteraient d'être expliquées de manière plus approfondie.

En particulier, la mesure de la chute de tension lorsque l'on a déplacé la sonde du fluxmètre jusqu'à l'intérieur de l'électro-aimant doit se faire lorsque l'on est au plus fort du champ et dans l'orientation la plus perpendiculaire au champ, c'est-à-dire au minimum de Vs. D'autre part l'espacement de l'entrefer de l'électroaimant semblait ici trop important pour pouvoir négliger complètement les effets de bord et considérer le champ B uniforme sur toute la surface du fluxmètre...

De même, il est essentiel sur cette manipulation d'expliquer le choix des valeurs des composants du montage intégrateur, et pour cela bien sûr de maîtriser les notions de bases d'électricité. Il ne s'agit bien évidemment pas ici d'un filtre d'ordre 2 mais d'un ordre 1, dont

on aura choisi la fréquence de coupure suffisamment petite par rapport au signal pour être dans le domaine haute fréquence (et donc intégrateur) de ce passe-bas.

Enfin, il y a eu un problème sur l'ordre de grandeur du coefficient trouvé par rapport à celui évalué en préparation d'après les paramètres du fluxmètre. Cela a donné lieu à des cafouillages, et il est dommage de ne pas avoir eu le réflexe de recalculer rapidement ce coefficient évalué en préparation, à l'origine de l'erreur.

II° 1) Inductance propre

Là encore, l'explication du choix des valeurs des composants, et notamment celui de la résistance (qui doit permettre d'avoir le facteur de qualité suffisamment grand pour obtenir une résonance piquée) est essentielle.

Bien qu'il ait été clairement évoqué que la méthode la plus précise était l'étude en mode XY (car les signaux doivent être en phase à la résonance), encore faut-il avoir retenu lors de la préparation comment trouver ce mode XY sur l'oscilloscope ! Après s'être replié dans un premier temps sur une méthode moins précise consistant à trouver le max d'amplitude (attention toutefois à bien optimiser les calibres pour gagner en précision), la mesure a finalement pu être faite rapidement en mode XY, mais il aurait fallu là-aussi optimiser les calibres car une mesure à $\pm 15\text{Hz}$ près par cette méthode n'est pas satisfaisante du point de vue de la précision. Beaucoup de temps a ainsi été perdu ce qui explique en partie que le montage n'ait pas pu être complètement terminé.

II° 2) Inductance mutuelle

Une fois de plus, il faut mieux expliquer le choix des composants, et optimiser les conditions expérimentales pour gagner en précision : augmenter l'amplitude de U_e pour avoir un meilleur rapport signal sur bruit, optimiser les calibres... etc

Il y a eu des problèmes dans les mesures qui n'ont pas permis de retrouver une cohérence avec les points fait en préparation, or contrairement à ce qui a été dit, il n'y a pas de raison pour que l'amplitude de U_e (différente en préparation) puisse être à l'origine des différences observées.

On peut aussi s'interroger sur les oscillations visibles sur le signal créneau et évaluer notamment la valeur de la capacité correspondante, provenant notamment des câbles et de l'entrée de l'oscilloscope (cf montage 19 sur les effets capacitifs)

III) Application au transformateur

Cette application a à peine été abordée et comme dit précédemment, est un peu redondante avec la manip précédente. Elle pourrait donc, nous semble-t-il, être judicieusement remplacée par un autre exemple afin de montrer la variété des domaines d'application : freinage par courant de Foucault, allumage d'un tube fluorescent, bougies d'allumage, flash d'appareil photo...