
MP20 : INDUCTION, AUTO-INDUCTION.

Stéphane Vittoz - Thomas Moutonet

Rapports de Jury

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

2012, 2011 : La notion d'inductance mutuelle est souvent oubliée ou mal dégagée, par suite de mauvais choix dans les protocoles expérimentaux.

2010 : La notion d'inductance mutuelle est souvent mal dégagée, par suite en particulier de mauvais choix dans les composants utilisés et 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.

2007 : Ces notions sont fondamentales. Le montage est pourtant souvent décevant, traité à un niveau trop élémentaire.

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 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).

Bibliographie

- [1] **Quaranta – Tome IV**, Electricité et Applications
- [2] **Garing, Magnétisme**
- [3] **Duffait, Electronique**
- [4] **Un bouquin de prépa (PC Ancien programme)** pour les bases théoriques, le Cap Prépa fait ça très bien.

Plan de la leçon

INTRODUCTION.....	2
I VERIFICATION DE LOI DE FARADAY A L'AIDE D'UN FLUXMETRE	3
II MESURE DES COEFFICIENTS D'INDUCTANCES	3
II.1 Inductance propre.....	3
II.2 Inductance mutuelle	4
III APPLICATION : FREINAGE PAR COURANTS DE FOUCAULT	4

Introduction

Le phénomène d'induction est le nom donné à l'apparition de courants, dits induits, dans un conducteur sous l'effet d'un champ magnétique. Il est représenté de manière générale par l'équation de Maxwell-Faraday. On distingue dès lors deux types de descriptions de l'induction :

- Si le circuit est fixe et indéformable et le champ magnétique variable en temps, on parle d'induction de Neumann.
- Si le circuit est mobile ou déformable et le champ magnétique permanent, on parle d'induction de Lorentz.

Notons que la distinction entre ces deux cas dépend essentiellement du référentiel dans lequel on décide de se placer au cours de l'étude, le choix reposant sur la difficulté de la modélisation selon le référentiel.

De manière générale, le phénomène d'induction obéit à une loi de modération : la loi de Lenz :

Le courant induit, par son sens, tend à s'opposer aux causes qui lui ont donné naissance.

Cette loi peut être mise en évidence grâce à une manipulation qualitative consistant à étudier le courant induit par un aimant permanent pénétrant un solénoïde.

Manip 1 : cf Hecht pour une belle explication et un protocole simple.

Pour la suite de ce poly, faute de temps et d'accès aux ressources nécessaires aux moments adéquats, nous nous contenterons d'indiquer la bibliographie nécessaire à la manip ainsi que quelques remarques expérimentales. Pour plus d'informations, nous invitons le lecteur à se référer à la bibliographie générale indiquée en première page ainsi qu'aux polys des années précédentes notamment **2010** (pour la discussion du modèle de rayonnement utilisé en induction mutuelle) et **2012** (pour tout le reste sauf la fonte de l'étain qui nous paraît relever avant tout d'un défi lancé, accepté et réussi à défaut d'être réellement pertinent).

I Vérification de loi de Faraday à l'aide d'un fluxmètre

[Quaranta IV, à l'article Fluxmètre, pp 231-232]

La manip est longue à réaliser mais répétitive et fonctionne bien. Il est donc possible de demander l'aide d'un technicien le jour J.

Nous ajoutons à la mesure par fluxmètre une mesure par teslamètre (sonde à effet Hall) avec toutes les précautions d'usages que cela implique. Notons que l'étalonnage de l'électroaimant n'est pas nécessaire dans la mesure où l'on se contentera de tracer $B_{\text{flux}} = f(B_{\text{tesla}})$.

La pente doit dès lors être proche et inférieure à 1 : le flux mètre est une mesure intégrale dépendant de la surface de la bobine exploratrice contrairement au teslamètre qui produit une mesure locale. On mesure ainsi un flux plus faible près des bords de la bobine (suivant la géométrie des éléments de tronçon de l'électroaimant) qui résulte en un champ mesuré plus faible.

- Prendre le temps de mesurer le flux. Si l'on tremble, on modifie le « zéro » et on introduit une incertitude facile à éviter sur la mesure au fluxmètre.
- L'oscillo s'utilise en mode Roll. La mesure est facilitée.
- Préférer l'utilisation des boîtiers intégrateurs de la collection qui limite la dérive au cours de la mesure ainsi que la saturation d'un montage à AO (cf MP Milieux magnétiques)
- Le calcul des incertitudes est possible mais peu nécessaire dans la mesure où l'on ne fait aucune modélisation ni extraction de grandeurs à partir des données. L'obtention de courbes en fait néanmoins une mesure quantitative.
- Cette manip paraît incontournable dans ce montage.

II Mesure des coefficients d'inductances

II.1 Inductance propre

[Duffait Electronique]

On utilisera ici un circuit RLC référencé dans tous les livres d'élec imaginables. Les valeurs utilisés sont celles indiquées dans le Duffait. La bobine utilisée est une **AOIP** de 0.1 H.

R = 5 kΩ ; C variable réalisée avec une boîte à décades.

- On mesure les composants choisis avec un RLC-mètre dont on maîtrise le principe de mesure (je ferais passer un poly discutant de cela. Il s'agit pour les fréquences de nos appareils, de ponts auto-équilibrés et non de multivibrateurs astables ou de circuits résonnants)
- La précision sur les mesures est fournie dans la notice des RLC-mètres. Ne pas rendre négligeable l'erreur systématique en digits, elle ne l'est pas.
- La précision redoutable de la mesure réalisée est constituée d'une grosse part de chance mais aussi du fait que les boîtes et les AOIP sont utilisés dans les gammes où ils sont très précis, l'habit ne faisant pas le moine.

Comme cela a été déjà discuté pour d'autres montages, dans ce cas, nul besoin de réaliser une étude complète du circuit. La résonance en intensité aux bornes de R est étudiée par la méthode de Lissajous basée sur l'étude du déphasage et non de l'amplitude. L'oscillo s'utilise **en Mode XY avec entrée et sortie sur chaque voie et en affichage High Resolution**. La mesure est ainsi rapide, précise et répétable.

II.2 Inductance mutuelle

[Quaranta Tome IV, article Induction, pp 277-278]

La mesure d'inductance mutuelle peut se faire de différentes manières. Les montages avec bobines en regard, déjà rencontrées pour le couplage inductif, est classique mais ne permet de remonter qu'à M. J'entends par là que contrairement à ce qui a été dit au cours des années précédentes, l'évaluation théorique de M est peu pertinente. Les bobines disponibles ont en effet des géométries rigoureusement peu sympathiques. D'autre part, l'éventuelle étude des dépendances de M notamment avec la distance entre les deux bobines est inexacte pour les raisons expliquées dans le MP de 2009 (qui se base sur le Jackson). A savoir une approximation dipolaire qui n'est pas valide.

Partant de ce constat, à savoir que seul une mesure de M est possible sans base théorique à comparer à moins de récréer un dispositif, nous avons décidé d'utiliser un vieux dispositif de l'ENS Saint-Cloud de référence **P59.4**.

- Ce dispositif contient deux bobines encastrées l'une dans l'autre et évite l'utilisation d'un ampli de puissance du fait du recouvrement quasi total des lignes de champ.
- Les inductances propres et l'inductance mutuelle sont fournies sur le boîtier et la mesure retombe dessus de manière relativement précise.
- Il peut paraître dommage de ne pas pouvoir aller plus loin : aucune autre donnée sur les bobines n'est fournie notamment géométrique et l'une d'entre elles est de toute manière scellée. Mais le constat précédent sur les bobines en regard nous amène à penser qu'on ne peut pas faire grand-chose de plus sans créer un nouveau dispo plus approprié.

III Application : freinage par courants de Foucault

[Garing, Magnétisme, p. 165]

Il s'agit de la même manip que pour le montage Métaux.

L'important est ici de dégager la notion de forces de Laplace et de vitesse limite liée à la compétition entre le poids et ces forces. Le Garing fournit les explications et les formules.

- Les nouveaux tubes achetés (Alu et cuivre) ont même diamètre moyen mais des épaisseurs nettement différentes. Il faut donc reporter ces épaisseurs pour calculer le ratio des conductivités. On tombe alors sur une valeur proche de la théorie. On a, a priori, pas affaire à des alliages...
- Les nouveaux aimants Neodyme sont très costauds : on se fait facilement pincer la peau en s'amusant avec ! Un seul petit aimant est nécessaire. On est ainsi plus proche de la théorie du Garing qui suppose un moment magnétique très faible expansion spatiale par rapport à toutes les autres dimensions.
- Dans ce cas, l'aimant ne frotte presque pas ! Et pas non plus de rotation intempestive ! En revanche on constate un mouvement sensiblement hélicoïdal qui n'a pas de réelle influence sur la mesure.
- La verticalité du tube est primordiale => utiliser un niveau.
- Oscillo en mode Roll pour la mesure.
- Distance entre les deux bobines : de l'ordre de 30 cm.
- Mettre une mousse sous le tube pour éviter d'abîmer les aimants qui sont relativement fragiles.
- Ne PAS mettre de pinces sur le trajet de mesure : l'aimant est suffisamment puissant pour être attiré par une pince à travers le tube et le plastique protecteur.