

M20 : Induction/Auto-induction

Remarque jury :

- Les notions d'induction, auto-induction, induction mutuelle sont souvent mal comprises rendant l'interprétation délicate de certains résultats.
- 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. Les mesures ne doivent pas se résumer à l'étude d'un circuit RL.
- 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. Le transformateur aurait sa place dans ce montage.

Introduction:

L'induction est le phénomène lié à la variation d'un champ magnétique dans un circuit. La variation de flux de ce champ entraîne l'apparition d'une f.é.m que l'on va essayer d'observer au cours de ce montage. Il y a 2 types d'induction:

-Induction de Lorentz où le circuit induit est en mouvement par rapport au champ inducteur qui est constant.

-Induction de Neumann où le champ inducteur est variable et le circuit induit fixe.

Il existe l'auto-induction, c'est un cas particulier où un circuit électrique est à la fois inducteur et induit.

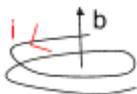
Attention : Ne pas couper brutalement l'alimentation car il peut apparaître de fortes fem car on peut faire circuler des courants importants dans les circuits

Manip introductive qualitative:

Poly M20 - II.1 → Phénomène est en opposition et dynamique (Loi de Lenz).

Montage : Aimant + Bobine Leybold de 1000 spires (carcasse en Bakélite de préférence, avec enroulement apparent.)

-On remarque que l'introduction de l'aimant dans la bobine provoque l'apparition d'une tension positive. On a la création d'un champ magnétique orienté vers le pôle Nord qui va donc s'opposer au champ de l'aimant. On peut en déduire le signe du courant à l'aide de la règle de la main droite.



Quand on sort l'aimant, une tension négative apparaît ; le courant a changé de sens. Le courant induit est converti en tension via la résistance d'entrée de l'oscilloscope.

Interprétation :

On rapproche l'aimant de la bobine. La norme du champ magnétique créé par l'aimant augmente. On a le flux dans la bobine $\phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S}$ qui est négatif (vecteur surface opposé à \mathbf{B}). Ainsi, le flux augmente en valeur absolue mais diminue en valeur algébrique. Ainsi la fem est positive ($e = - d\phi/dt$) et on a une intensité positive créée. Cette intensité crée elle-même un nouveau champ \mathbf{b} dans le sens opposé à \mathbf{B} de l'aimant qui augmentait : on a bien une

opposition. (on a le sens de i , donc on a le sens de \mathbf{b} .) On constate que l'effet s'oppose à la cause → illustre le signe moins dans la loi de Lenz-Faraday.

-On peut également faire varier la vitesse avec laquelle on introduit l'aimant :
Vitesse importante donne variation de tension plus importante car e relié à la variation du flux dans le temps.

Ici, l'aimant bouge (comme ci c'était la bobine qui bougeait, car B constant dans l'aimant):
Induction de Lorentz.

I/ Induction

Poly M20 - II.2 ; manipulation 2 (avec 2 bobines)

Matériel:

2 bobines : La 2ème bobine est insérée dans la première et va subir les effets de $\mathbf{B1}$ (champ magnétique de la 1ère bobine=champ inducteur). Prendre une bobine $\mathbf{B1}$ beaucoup plus grande que la bobine $\mathbf{B2}$ pour assimiler $\mathbf{B1}$ à un solénoïde infini par rapport à $\mathbf{B2}$. (Cf poly pour info sur les bobines.)

-Dans le montage, on introduit une résistance aux bornes de la bobine $B1$, permettant d'observer à l'oscilloscope une image du courant $i1$ dans l'inducteur, (mais aussi elle transforme le GBF, en générateur de courant). Le solénoïde ayant un caractère auto-inductif, la résistance permet d'atténuer ce phénomène si la chute ohmique à ses bornes est très supérieure au caractère auto-inductif de la bobine.

On applique une tension triangulaire afin de mettre en valeur l'aspect dérivatif de la loi. En mesurant la tension aux bornes de la 2ème bobine, on doit avoir une allure carrée dont les signes s'opposent aux pentes du signal triangulaire d'entrée.

On trace f_{em} en fonction de di/dt pour vérifier $e = - M di/dt$

→ Pour avoir i : il faut mesurer la pente du signal triangulaire qui est une tension, sachant que $U = Ri$ donc on prend en compte la résistance aussi.

→ Pour avoir e : Il faut aussi mesurer la valeur crête à crête du signal rectangulaire correspondant à $2e$. On réalise les mesures entre 1kHz et 2kHz.

Rem : La résistance est utile afin d'obtenir le courant puisqu'on a la tension. Par ailleurs, avec le GBF, on impose une tension triangulaire, la résistance permet d'avoir un courant triangulaire et dès lors on aura un champ magnétique triangulaire qui nous permettra de mesurer e .

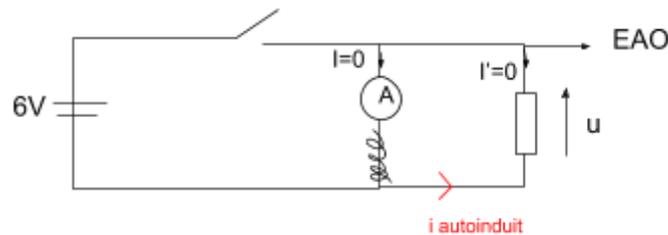
On obtient normalement une relation linéaire entre e et di/dt . On va alors déduire le coefficient d'induction mutuelle : M (à noter qu'on a mesuré la valeur absolue de e). → comparer avec la théorie : $M = \mu_0 N_2 S_2 N_1$. La valeur obtenue peut être très éloignée de la valeur théorique. Cause : la bobine peut ne pas être dans l'axe du solénoïde ce qui modifierait le flux. Mais on vérifie bien la linéarité.

Voir Excel

II/ Auto induction

Poly M20 - III.2 ; manipulation 1

Le circuit électrique est à la fois inducteur et induit. La variation de flux que le circuit s'envoie à travers lui-même crée une fem.



Avec ce circuit, on veut un temps de réponse assez élevé. On sait que $\tau = L/R$. Ainsi, on prend une bobine de résistance basse et d'inductance haute (ne pas oublier d'enlever le noyau de la bobine). **Attention**, cela signifie qu'on va travailler avec des courants élevés. On doit donc prendre une alimentation et une résistance de puissance pour qu'ils puissent supporter le courant.

-Mesurer au RLC mètre, L et r de l'inductance (sans noyau).

On a $e_{\text{autoind}} = -L di/dt$; l'équation électrique quand on ouvre l'interrupteur est :

$$L di/dt + (R+r)i = 0 \rightarrow \int_{i_0}^{i(t)} di/i = -\frac{R+r}{L} \int_0^t dt \rightarrow i = i_0 \exp(-(R+r)t/L)$$

i_0 est le courant dans la bobine quand on ouvre l'interrupteur et vaut E/r à cet instant d'où :
 $u_R = a e^{-bt}$ d'où $L = (R+r)/b$ (avec $a = -(RE/r)$)

Ainsi b correspond à l'inverse du temps caractéristique du régime transitoire.

-On se place en régime transitoire et on coupe le courant dans la bobine. La fem auto induite va tendre à s'opposer à l'arrêt du courant. → Utiliser un système d'acquisition Latis pro. On fait une modélisation exponentielle.

-Après arrêt du courant, on mesure la tension aux bornes de la résistance : la tension va passer par des valeurs négatives avant de s'annuler. On relève la valeur de b à l'aide de la modélisation de Latis → On en déduit L_{exp} .

Attention : Avec Latis Pro, bien penser à mettre le réticule juste après l'ouverture de l'interrupteur de la tension (et pas avant quand on est à 6V).

Voir Excel

Explication : en ouvrant l'interrupteur, le courant dans le circuit s'annule immédiatement, mais celui dans la bobine non car on va avoir l'apparition d'une fem qui va s'opposer à l'arrêt (qui circule en sens inverse du courant initial). En respectant convention récepteur (tension sens opposé au courant) on va avoir une tension qui est négative cette fois. Cela vérifie la loi de Lenz.

$$L'incertitude est donnée par : \Delta L = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta r}{b}\right)^2 + \left(\frac{R+r}{b^2}\right)^2 \Delta b^2} .$$

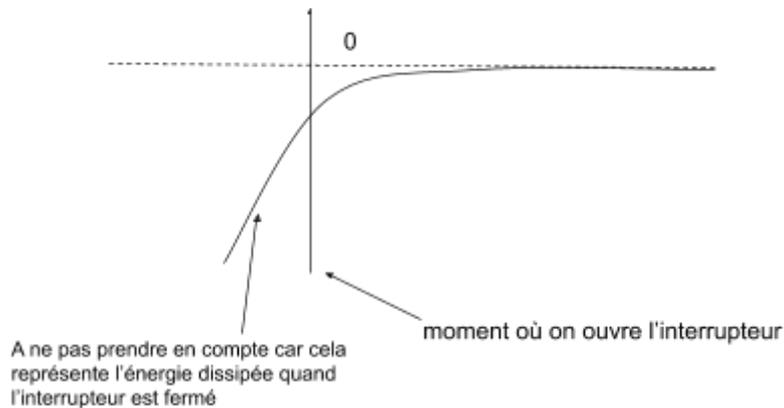
Puis enchaîner avec III.3) pour l'énergie emmagasinée car on reprend le même montage : on veut montrer que l'énergie stockée par une bobine en régime permanent est : $E = 1/2 (Li^2)$

-On mesure le courant i qui circule dans la bobine lorsque l'interrupteur est fermé pour

connaître l'énergie stockée en régime permanent et on peut vérifier que c'est bien l'énergie qui est dissipée dans la bobine et la résistance en régime transitoire à l'ouverture du circuit.

$$E_d = \int P_{dissipée} = E_{finale} - E_i = 0 \quad (\text{dans Latis Pro : mettre INTEG, voir poly})$$

Attention : on obtient ce genre de courbe :



III - Applications : lissage d'un courant

-Trouver une expérience permettant de montrer le lissage du courant à l'aide de l'auto-induction : Une inductance s'opposant aux variations de courant, elle est particulièrement bien adaptée au lissage des courants forts au contraire du lissage par capacité (courant faible). M20 - IV 2.2 + [9] : JP Bellier : Montages de physique ; Capes de physique et chimie p.63.

Autres applications :

Fluxmètre ou champmètre : champ mag à mesurer → mettre bobine dedans en intégrant la fem puisqu'elle est liée à la dérivée du flux.

Questions:

- Si on met un noyau de fer dans une bobine, on change l'inductance ? On change la perméabilité magnétique, donc ça fait augmenter l'inductance vu que dans toutes les formules d'inductance, il y a un μ_0 qui se transformerait en $\mu_0\mu_r$. (Un noyau de fer dans un bobine canalise les lignes de champs).
- Sur quel principe physique fonctionne le teslamètre ? Utilisez devant nous le teslamètre. Pourquoi doit-il être le plus orthogonal possible aux lignes de champ ?
- Quel est le fonctionnement du tachymètre ?
<https://dmorieux.pagesperso-orange.fr/tachymetre0001.htm>
- Pourquoi est-ce que cette machine est dite « à courant continu » ?
- Comment avez-vous choisi les valeurs des composants pour vos différentes manipulations ?
- Lors de la manipulation de « l'inductance mutuelle » on voyait sur l'écran de l'oscilloscope non pas des carrés parfaits, mais des carrés avec une légère oscillation sur le haut des carrés, d'où ça vient ?

-Dans votre circuit RLC, que vaut R ? Comment déterminer expérimentalement le C de votre circuit RLC ?

-Comment aurait-on pu déterminer le L du RLC autrement ? Comment est liée L au nombre de spires ? $L = \mu_0 \cdot N^2 \cdot S / l$

(<http://olivier.granier.free.fr/Seq14/co/rappels-de-cours-ind-EM-ind-propre-mutuelle.html>)