

Fiche sur l'utilisation d'une inductance pour le stockage d'énergie

L'expérience proposée permet de présenter une structure de type « hacheur à stockage inductif ». Dans ce type de système, le fonctionnement se fait en deux phases :

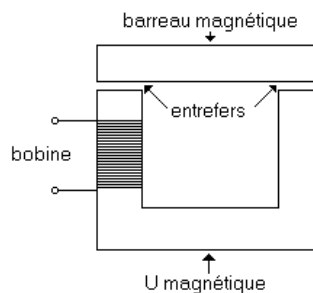
- lors de la première, l'inductance du circuit va emmagasiner de l'énergie délivrée par la source.
- Lors de la seconde, elle va restituer cette énergie à la charge.

Il faut noter que ce type de fonctionnement se retrouve dans certains dispositifs industriels, comme les alimentations à découpage de type flyback.

Présentation de l'expérience.

I.1. Structure de l'inductance et effet de l'entrefer sur l'énergie stockée.

L'inductance est réalisée au moyen d'un U ferromagnétique qui peut être fermé avec un barreau du même matériau. Cet ensemble est compatible avec les bobines Leybold (on prendra une bobine de 500 spires).

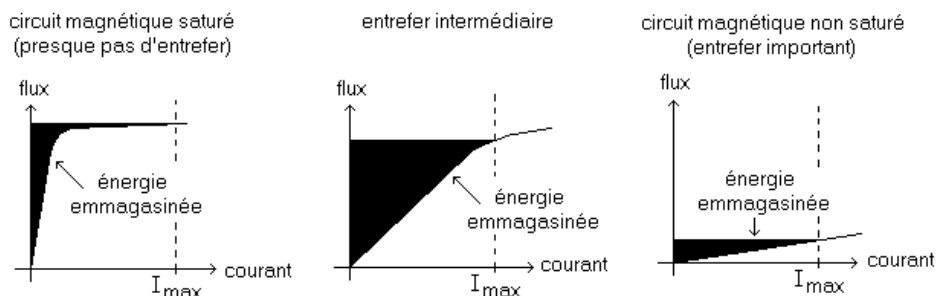


On constate la présence de deux entrefers, à la jonction du U et du barreau. Il faut noter que même lorsque les deux éléments semblent au contact, il subsiste un entrefer résiduel. Dans la suite, on contrôlera l'épaisseur d'entrefer au moyen de feuilles de carton ou de papier, ce qui permettra d'avoir un pas de variation suffisamment fin pour quantifier l'effet de la largeur d'entrefer sur l'énergie stockée.

Pour comprendre l'incidence de la largeur de l'entrefer sur l'énergie stockée, il suffit de se référer à la caractéristique flux/courant de l'inductance. On sait que l'énergie stockée par une inductance quand elle est parcourue par un courant i est donnée par l'aire comprise entre la courbe flux(i) et l'axe du flux pour le niveau de courant considéré. On va envisager trois cas

- cas d'un entrefer presque nul (fort effet de saturation).
- Cas d'un entrefer très important (pratiquement pas de saturation, composant presque linéaire).
- Cas intermédiaire.

On suppose que l'on travaille à courant maximum constant égale à I_{\max} identique dans chaque cas (on verra pourquoi par la suite).



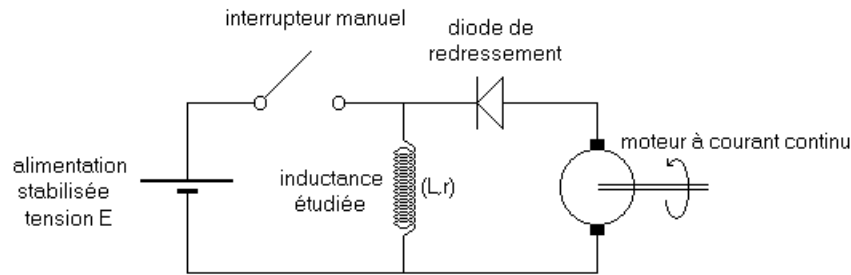
On constate qu'une forte saturation (pas ou peu d'entrefer) limite l'énergie stockée, tout comme une caractéristique linéaire de trop faible pente (entrefer important). Il existe donc un optimum entre ces deux cas, pour lequel l'inductance emmagasinerait un maximum d'énergie pour un courant maximum donné.

rq : c'est au niveau de l'entrefer qu'est stockée l'énergie.

rq : dans ce raisonnement, on néglige totalement les pertes fer, ce qui signifie que le matériau magnétique présente peu de défauts de structure et qu'il est suffisamment résistif pour s'opposer aux courants de Foucault (c'est pourquoi l'alliage utilisé dans notre circuit magnétique présente 3,5% d'atomes de silicium associés aux atomes de fer).

I.2. principe de cette expérience.

Notre inductance va être intégrée dans le circuit suivant :



• Lors de la première phase, l'interrupteur manuel est fermé et l'alimentation stabilisée apporte de l'énergie à l'inductance étudiée. Si L est sa valeur (en supposant en première approximation qu'elle ne sature pas) et r sa résistance (il y a un circuit électrique en cuivre !), le courant va tendre vers une valeur limite $I_{\max} = E/r$. En effet, tout se passe comme si on appliquait un échelon de tension à un circuit (r,L) , et dans ce cas, l'établissement du courant se fait sous la forme suivante :

$$i(t) = \frac{E}{r} \cdot (1 - e^{-t/\tau}) \quad \text{avec } \tau = L/r$$

On constate que I_{\max} est indépendant de L (dans la mesure où aucune dissipation par perte fer n'est prise en compte dans le circuit magnétique). C'est pourquoi cette valeur de courant est très importante pour interpréter l'énergie emmagasinée dans l'inductance, lorsque l'on fait varier l'entrefer et donc la caractéristique flux/courant. Pendant cette phase, le moteur ne reçoit aucun courant et reste à l'arrêt.

• Lors de la seconde phase, on ouvre l'interrupteur manuel. Cette fois l'alimentation stabilisée n'est plus connectée au reste du circuit. La diode est passante et le moteur est alimenté. Un moment de couple est appliqué sur l'arbre de ce dernier. On peut visualiser l'énergie disponible sur l'arbre en fixant une poulie et en l'utilisant pour lever une masse m connue sur une hauteur h à mesurer.

travail expérimental.

Matériel utilisé :

U ferromagnétique

Barreau ferromagnétique

Bobine Leybold 500 spires (11 mH environ à basse fréquence en l'absence de matériau magnétique)

Une diode de redressement

Une alimentation 5V-1A (elle est adaptée au moteur utilisé)

Un interrupteur manuel

Un moteur 6V avec système de transmission (poulie, fil, crochet...).

Une masse de 20g

rq : le sens de rotation du moteur peut être inversé en changeant de position la petite manette à l'arrière du boîtier. Il est possible de choisir le rapport de réduction de vitesse (6 positions différentes) : on a choisi 1:16. On va ainsi pouvoir éviter que la poulie ne tourne trop vite.

Observations et mesures :

A chaque fois, on procède de la façon suivante :

-l'interrupteur est ouvert, on met l'alimentation sous tension.

-on ferme l'interrupteur et on mesure la hauteur h sur laquelle s'est déplacé la masse marquée

En répétant plusieurs fois cette procédure pour différents entrefer e (poser un nombre croissant de fiches cartonnées d'épaisseur connue), on trace $h=f(e)$ et on constate qu'il existe bien un optimum d'énergie transmis sur l'arbre du moteur. En supposant que l'énergie prélevée par ce dernier augmente avec la puissance qui lui est fournie, on ne peut alors expliquer l'optimum que par le fait qu'il existe un entrefer pour lequel l'énergie emmagasinée est maximum. On pourra vérifier que quel que soit l'entrefer, pourvu qu'on laisse l'interrupteur fermé assez longtemps, le courant maximal dans la bobine est identique.

Remarque:

Il se peut qu'avec un faible niveau de courant maximal dans la bobine, le flux dans le circuit magnétique ne soit pas suffisant pour que la saturation se manifeste suffisamment. Dans ce cas, l'optimum d'énergie stockée n'est pas net ou même impossible à mettre en évidence.