

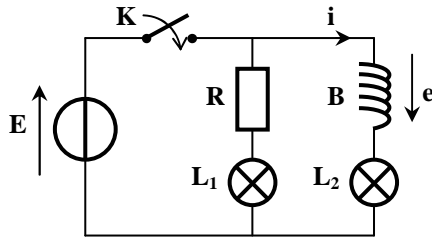
OBJECTIF

Découvrir expérimentalement le phénomène d'auto-induction pour une bobine.
 Appréhender la notion d'inductance.
 Connaître et savoir utiliser la relation courant-tension pour une bobine idéale mais aussi pour une bobine réelle.

I- ETUDE EXPERIMENTALE

1- Etablissement du courant dans une bobine

Cette expérience permet d'observer la différence de comportement entre une résistance et une bobine lors d'une apparition brutale de tension.
 Une lampe branchée en série avec chaque dipôle (la résistance et la bobine) permettra d'observer l'établissement du courant lors de la fermeture de l'interrupteur.

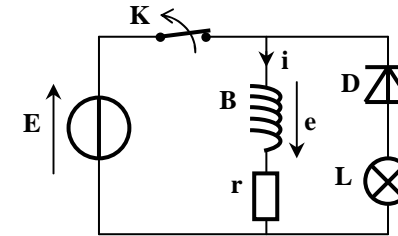


Observation : A la fermeture de l'interrupteur K, la lampe L_2 s'allume en retard par rapport à L_1 qui elle s'allume instantanément.

Interprétation : L'augmentation de l'intensité dans la bobine engendre une augmentation du champ magnétique. Il y a donc un phénomène d'induction et une **fém e** négative apparaît aux bornes de la bobine qui va s'opposer à la variation de courant (loi de Lenz).
 La bobine s'oppose donc à la variation du champ magnétique qu'elle crée elle-même; d'où le terme *auto-induction*.

2- Suppression du courant dans une bobine

Dans cette expérience, on va essayer de supprimer brutalement le courant dans la bobine.
 Dans l'état initial, l'interrupteur K est fermé et tout le courant passe dans la bobine (la diode D est bloquée et donc la lampe est éteinte).
 La résistance r permet de limiter le courant dans la bobine.



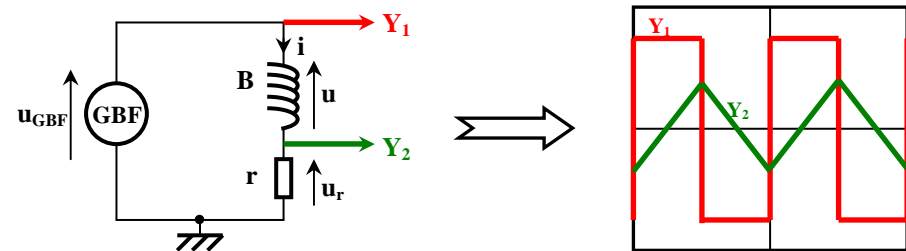
Observation : A l'ouverture de l'interrupteur, on constate un bref éclaircissement de la lampe.

Interprétation : La diminution de l'intensité dans la bobine engendre une diminution du champ magnétique. Il y a donc un phénomène d'induction et une **fém e** positive apparaît aux bornes de la bobine qui va s'opposer à cette variation de courant (loi de Lenz).
 La bobine, pendant un bref instant, va donc continuer à faire circuler le courant qui ne pourra que traverser la lampe et la diode.
 Ici aussi, la bobine s'oppose à la variation du champ magnétique qu'elle crée elle-même (*auto-induction*).
 Dans cette expérience, la bobine a joué le rôle de générateur durant l'éclaircissement de la lampe.

II- RELATION COURANT-TENSION POUR UNE BOBINE IDEALE

1- Expérience

Alimentons une bobine à noyau avec une tension en créneaux et visualisons la forme du courant à l'oscilloscope.



La résistance r est de faible valeur et permet de visualiser le courant ($i = u_r / r$).
 La tension u_r est négligeable devant la tension u aux bornes de la bobine. On peut donc considérer que $u \approx u_{GBF}$ et que la voie Y_1 représente bien la tension u .

Observations : Pour une tension constante et positive, le courant a une variation linéaire de coefficient directeur $\frac{\Delta i}{\Delta t}$ positif.

Pour une tension constante et négative, le courant a une variation linéaire de coefficient directeur $\frac{\Delta i}{\Delta t} < 0$.

Si on augmente l'amplitude des créneaux, le coefficient $\frac{\Delta i}{\Delta t}$ augmente dans les mêmes proportions.

Interprétation : La variation de courant i donne une variation du champ magnétique qui induit une tension u qui s'oppose à cette variation.

La tension u (fem d'auto-induction) est proportionnelle à la variation $\frac{\Delta i}{\Delta t}$.

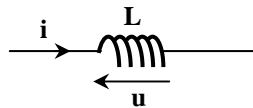
On a donc : $u = k \frac{\Delta i}{\Delta t}$ avec k constante d'auto-induction qui est propre à la bobine.

La convention récepteur donne $u > 0$ pour $\frac{\Delta i}{\Delta t} > 0$.

2- Inductance d'une bobine

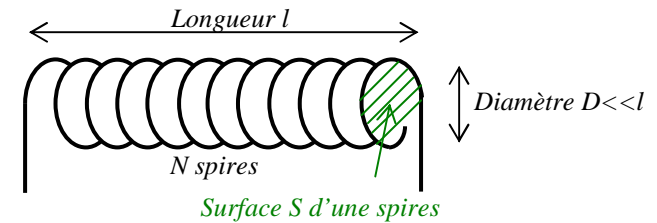
L'inductance d'une bobine traduit sa **capacité à produire du champ magnétique**. Une bobine de forte inductance fera apparaître un fort phénomène d'auto-induction avec une tension élevée lors de variations de courant.

① **Définition :** L'inductance notée L d'une bobine est le rapport entre la tension u à ses bornes et la variation de courant $\frac{\Delta i}{\Delta t}$ qui traverse cette bobine dans la convention récepteur.



On a donc $u = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$ avec L en henry (H) ; i en ampère (A) et t en seconde (s).

② **Inductance d'une bobine longue :** Pour une bobine longue (solénoïde) ou une bobine torique, l'inductance peut s'exprimer simplement en fonction des paramètres géométriques :



Si le noyau de la bobine est de l'air (ou du vide), alors :

$$L = \mu_0 \frac{N^2 S}{l} \quad \text{avec } L \text{ en Henry (H) ; } S \text{ en mètres carrés (m}^2\text{) ; } l \text{ en mètres (m)}$$

et $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H}\cdot\text{m}^{-1}$

Exemple : Une bobine de longueur $l = 50\text{cm}$, de diamètre D petit devant l et comportant $N = 500$ spires de surface $S = 10\text{cm}^2$ a une inductance :

$$L = 4\pi \cdot 10^{-7} \times \frac{500^2 \times 10 \cdot 10^{-4}}{0,5} \approx 628 \mu\text{H}$$

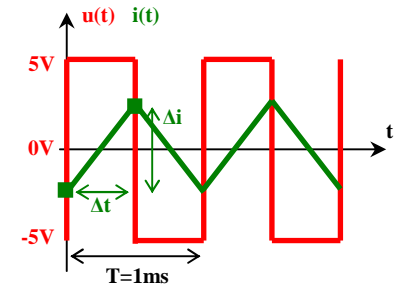
③ **Calcul de l'ondulation Δi du courant :**

Prenons l'exemple d'une bobine $L = 0,1\text{H}$ soumise a une tension en créneau +/- 5V et de fréquence $f = 1\text{kHz}$.

La durée Δt durant laquelle la tension u est constante (par exemple +5V) représente la moitié de la période soit $\Delta t = 0,5\text{ms}$.

$$\text{On a } u = L \frac{\Delta i}{\Delta t} \Rightarrow \Delta i = \frac{u}{L} \Delta t$$

$$\text{Soit } \Delta i = \frac{5}{0,1} \times 0,5 \cdot 10^{-3} = 25 \text{ mA}$$



Le même calcul peut être mené avec $u = -5\text{V}$ et on trouve $\Delta i = -25\text{mA}$ (décroissant).

3- Analogie avec le condensateur

Pour un condensateur, le courant i provoque une variation Δu de tension : $i = C \frac{\Delta u}{\Delta t}$.

Pour une bobine idéale, la tension u provoque une variation Δi de courant : $u = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$.

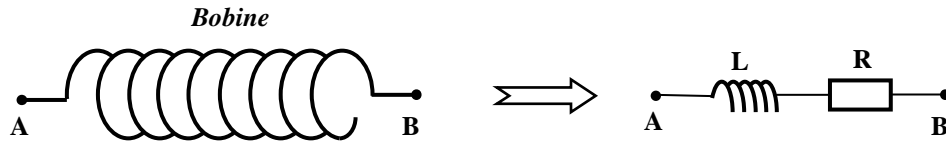
Pour un condensateur, il ne peut y avoir de variation brusque de tension (sinon courant très élevé)

Pour une bobine, il ne peut y avoir de variation brusque du courant (sinon tension très élevée et destruction des composants voisins).

II- RELATION COURANT-TENSION POUR UNE BOBINE RÉELLE

1- Bobine réelle

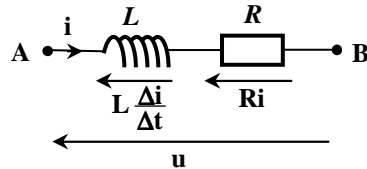
Le modèle d'une bobine réelle tient compte de son inductance et de la résistance de ses enroulements (schéma ci-dessous) :



2- Relation courant-tension

La tension u aux bornes de la bobine est la somme de la tension u_R (résistance) et de la tension u_L (inductance pure).

$$u = Ri + L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$



Remarque : En régime continu ($\Delta i / \Delta t = 0$), la bobine est équivalente à la résistance R et on a $u = Ri$.

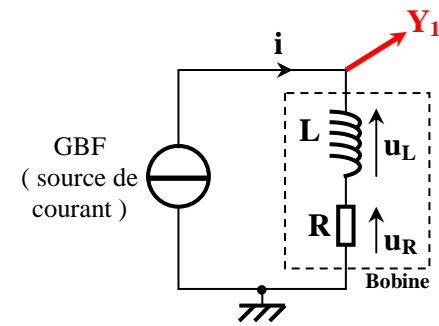
3- Utilisation du modèle de la bobine réelle

Pour réaliser une bobine de forte inductance, il faut utiliser une grande longueur de fil de cuivre qui va représenter une résistance non négligeable.

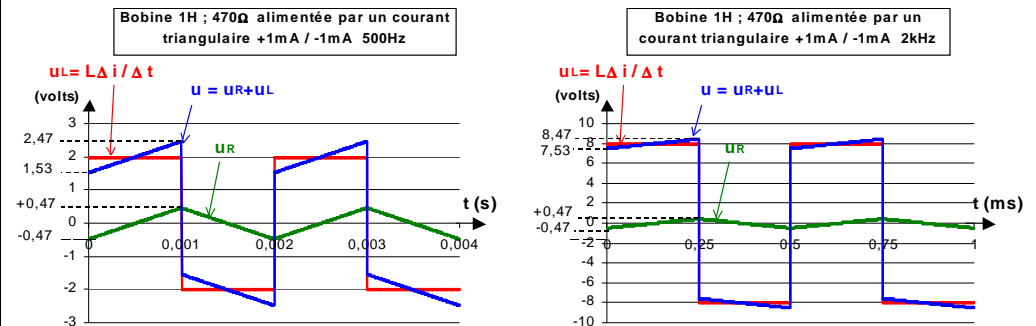
Examinons deux cas et nous verrons dans quelles conditions il faut tenir compte de la résistance de la bobine :

- ① Alimentons une bobine (1H ; 470 Ω) avec un courant triangulaire $-1/+1$ mA de fréquence 500Hz.
- ② Alimentons la même bobine avec un courant triangulaire $-1/+1$ mA de fréquence 2kHz.

Montage :



Chronogrammes :



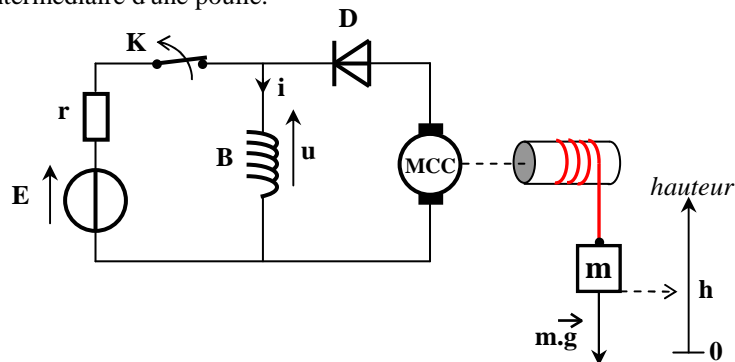
Interprétation :

- ① Avec $f = 500\text{Hz}$, la tension u_L est de forme carrée $+2 / -2\text{V}$ ($u_L = 1 \times \frac{2 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}} = 2\text{V}$).
La tension u_R est triangulaire $+0,47 / -0,47\text{V}$ ($u_R = 470 \times 1 \cdot 10^{-3} = 0,47\text{V}$).
La tension u est la somme de u_R et de u_L ce qui donne un signal carré "déformé" avec un niveau haut qui débute à 1,53V et termine à 2,47V ($2-0,47$ et $2+0,47$).
 \Rightarrow En basse fréquence, u_R n'est pas négligeable devant u_L . Il faut donc tenir compte de la résistance R de la bobine.
- ② Avec $f = 2\text{kHz}$, la tension u_L est de forme carrée $+8 / -8\text{V}$ ($u_L = 1 \times \frac{2 \cdot 10^{-3}}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 8\text{V}$).
La tension u_R est toujours triangulaire $+0,47 / -0,47\text{V}$ ($u_R = 470 \times 1 \cdot 10^{-3} = 0,47\text{V}$).
La tension u est la somme de u_R et de u_L ce qui donne un signal carré "peu déformé" avec un niveau haut qui débute à 7,53V et termine à 8,47V ($8-0,47$ et $8+0,47$).
 \Rightarrow En haute fréquence, u_R est négligeable devant u_L . On peut donc négliger le rôle de la résistance R de la bobine.

IV- ÉNERGIE EMMAGASINÉE DANS UNE BOBINE

1- Étude expérimentale

Dans l'expérience ci-dessous, la bobine **B** est alimentée par la source de tension **E**. Le moteur à courant continu **MCC** est branché aux bornes de la bobine et peut soulever une masse **m** par l'intermédiaire d'une poulie.



Observations : Lors de l'ouverture de l'interrupteur **K**, la masse **m** est soulevée par le moteur.

Interprétation : Lorsque **K** est fermé, tout le courant fourni par l'alimentation traverse la bobine. La bobine se "charge" en courant et accumule donc de l'énergie. Lors de l'ouverture de **K**, le courant dans la bobine ne peut s'annuler brusquement et traverse donc le moteur. La bobine a transféré de l'énergie vers le moteur (soulèvement de la masse **m**).

2- Expression de l'énergie emmagasinée

Une bobine d'inductance **L**, traversée par un courant **i** stocke de l'énergie électromagnétique **W** définie par :

$$W = \frac{1}{2} Li^2$$

Joule (J)
ampère (A)
henry (H)

3- Exemple de calcul de W

Une bobine **L = 0,5H** parcourue par un courant **i = 10A** a stocké l'énergie

$$W = \frac{1}{2} \times 0,5 \times 10^2 = 25 \text{ J.}$$

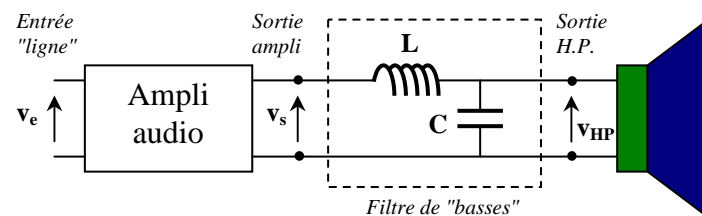
C'est l'énergie qu'il faut pour soulever une masse **m = 100g** d'une hauteur de 25m

$$\Rightarrow W = m.g.h = 0,1 \times 10 \times 25 = 25 \text{ J.}$$

V- EXEMPLES D'UTILISATION DES BOBINES

1- Filtrage audio

Les sons de basses fréquences (graves) sont caractérisés par des variations lentes du signal alors que les sons de hautes fréquences (aigus) proviennent de variations rapides du signal. Avant de brancher un haut-parleur "basses fréquences", il faut atténuer les aigus en utilisant le montage ci-dessous :

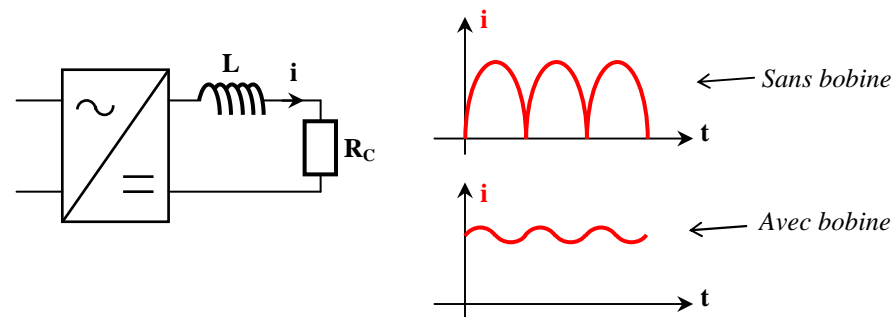


La bobine s'oppose aux variations rapides du courant et ne va laisser "passer" que les variations lentes (basses fréquences).

Le condensateur s'oppose aux variations rapides de tension et va jouer le même rôle que la bobine en étant branché en parallèle sur le haut-parleur.

2- Lissage de courant

En sortie d'un montage redresseur, si l'on souhaite avoir un courant le plus constant possible, il faudra ajouter une bobine en série avec la charge.



Remarques : Les diodes de redressements jouent aussi le rôle de "roue libre" et permettent le passage du courant lorsque la bobine restitue l'énergie. Plus la valeur de l'inductance est grande, plus le courant est "lissé".