

La bobine et le magnétisme

Le phénomène d'induction [1]

Branchons une bobine sur un galvanomètre et déplaçons un aimant droit dans son environnement :

Déplaçons l'aimant tel qu'il est orienté de la droite vers la gauche.

L'aiguille du galvanomètre dévie.

On suppose que l'aiguille dévie vers la droite.

En réalité, cela dépendra du galvanomètre.

Lorsque le déplacement cesse, l'aiguille revient à sa position de repos.

Déplaçons l'aimant, toujours orienté de la même manière, de gauche à droite.

L'aiguille du galvanomètre dévie dans l'autre sens, vers la gauche !

Invertissons l'orientation de l'aimant et recommençons cet aller-retour.

L'aiguille dévie d'abord vers la gauche, puis vers la droite !

Accélérons ces mouvements :

Les déviations sont plus importantes.

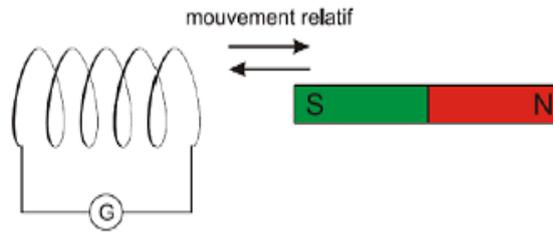


Figure 1 : expérience avec une bobine et un aimant rectiligne

Interprétation

Lorsqu'il y a déplacement d'une source du champ magnétique (ici l'aimant) près d'un circuit électrique fixe (ici la bobine), une tension apparaît aux bornes du circuit : ce champ magnétique se comporte comme un générateur.

A l'intérieur du circuit, une **force électromotrice (f.é.m.)** engendre cette tension.

Un peu de vocabulaire

- La source de champ variable (ici l'aimant droit) est appelée **l'inducteur** ;
- Le circuit dans laquelle apparaît la f.é.m. (ici la bobine) est appelé **l'induit** ;
- la f.é.m. est appelé force électromotrice **induite** et le phénomène **induction électromagnétique** ;
- le courant associé à la f.é.m. est appelé **courant induit**
-

La loi de Lenz

La loi de Lenz s'exprime simplement :

Le phénomène d'induction électromagnétique est tel que par ses effets, il s'oppose à la cause qui lui a donné naissance.

La loi de Lenz permet de déterminer rapidement l'orientation de la f.é.m. induite créée dans un circuit.

Une bobine parcourue par un courant se comporte comme un aimant.

Les lois de l'électromagnétisme (établies par Maxwell) permettent de relier le sens du courant aux lignes de champ magnétique et donc de déterminer les pôles de l'aimant ainsi créé.

Il existe trois règles pour déterminer le sens du champ :

La règle de la main droite : le pouce indique le sens du courant et les doigts s'enroulent dans le sens des lignes de champ (a).

La règle du bonhomme d'Ampère : L'observateur d'Ampère est placé sur le conducteur de sorte que le courant entre par ses pieds et sort par sa tête, lorsqu'il regarde le point d'observation (M), son bras gauche indique le sens du champ (b).

La règle du tirebouchon : en tournant le tire-bouchon dans le sens du courant parcourant la spire (ou du fil conducteur s'il s'agit d'un conducteur rectiligne) celui-ci se visse dans le sens du champ (c).

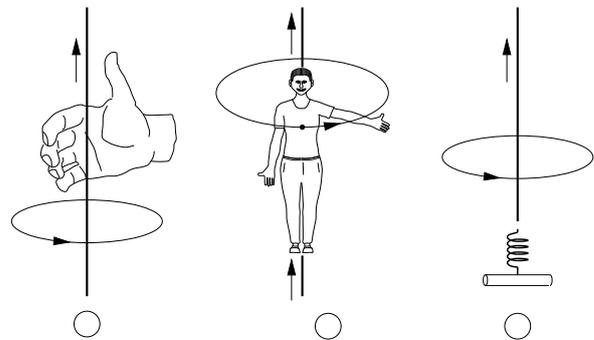


Figure 2 Sens du courant et champ magnétique [3]

La bobine et le magnétisme

Lois de Maxwell :

Reprenons à présent notre circuit, et supposons-le fermé (On fait passer un courant I dans cette bobine).

La loi de Lenz nous dit que le courant induit, de par sa circulation dans le circuit s'oppose à la cause qui lui donne naissance.

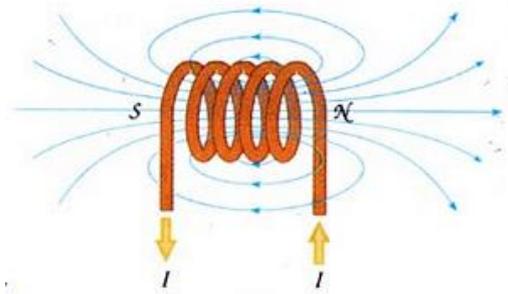


Figure 3 : champ magnétique d'une bobine

Ainsi, si l'on approche le pôle Nord de l'aimant de la bobine par la droite, le courant induit fait apparaître un pôle Nord dans la bobine à droite, pour repousser l'aimant (les pôles de même nature se repoussent). On peut alors en déduire, grâce au schéma précédent, le sens du courant induit et par suite celui de la f.é.m. induite, dans le même sens que le courant puisque la bobine se comporte comme un générateur.

L'auto-induction

Dans ce cas précis, l'inducteur est aussi l'induit.

Imaginons une bobine (parcourue par un courant I) dans un circuit.

- Si I varie, une f.é.m. apparaît aux bornes de la bobine pour contrecarrer cette variation ;
- Si le flux magnétique créé par la bobine est perturbé (par un aimant par exemple), un courant induit s'ajoute à I pour contrecarrer cette perturbation.

Exemples d'applications du phénomène d'induction

Les transformateurs

Un transformateur électrique est un convertisseur permettant de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme. (*Wikipédia*)

Un *transformateur* est constitué d'un assemblage de 2 bobines dites **primaire** (souvent le secteur, soit 230V \approx ou 110V \approx selon les pays) et **secondaire**.

Le symbole d'un transformateur représente bien ces deux bobines mises face à face [2]:

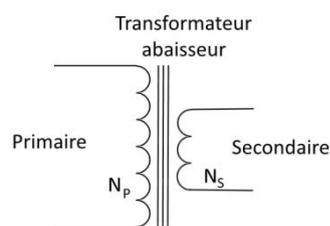


Figure 4 Transformateur à noyau de fer

$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{U_P}{U_S} = \frac{I_S}{I_P} \quad VA_P = VA_S \text{ (transfo. parfait !)}$$

- N_P = Nombre de spires du primaire
- N_S = Nombre de spires du secondaire
- U_P = Tension au primaire
- U_S = Tension au secondaire
- I_P = Courant au primaire
- I_S = Courant au secondaire
- VA_P = Puissance en Volt-Ampère au primaire
- VA_S = Puissance en Volt-Ampère au secondaire

Les deux barres verticales au centre représentent le noyau du transformateur, dont le rôle est de canaliser les lignes de champ.

La bobine et le magnétisme

Et voici à quoi cela peut ressembler :

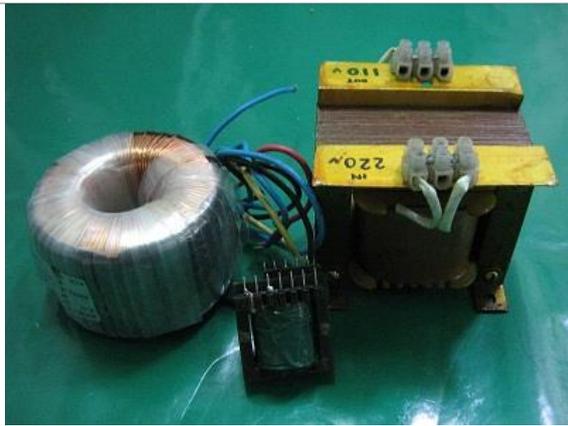


Figure 5 : photo de transformateurs -

De gauche à droite transformateur,

- torique
- pour circuit imprimé
- à noyau de fer

Le principe est simple :

- le primaire est alimenté avec une tension alternative et est parcouru par conséquent par un courant alternatif. Il se comporte donc comme un aimant dont le champ magnétique varie, c'est-à-dire comme un aimant que l'on déplace, à **proximité du secondaire** ;
- le secondaire répond à cet aimant se déplaçant à proximité de lui par la loi de Lenz : il y a au secondaire une f.é.m. et un courant induits.
-

Comment alors transformer la tension ?

Tout est question de nombres de spires :

- plus le nombre de spires au primaire est important, plus le champ magnétique généré est intense ;
- plus le nombre de spires au secondaire est important, plus l'influence du champ magnétique à proximité est importante.

Ainsi, en jouant sur le rapport entre le nombre de spires au primaire et le nombre de spires au secondaire, il est possible de modifier (principalement abaisser, mais l'on peut aussi augmenter) la tension au secondaire.

Pour un rapport donné, en doublant le nombre de spires, le champ magnétique est doublé, et par conséquent, le courant induit est doublé.

Ainsi, il est également possible d'ajuster la valeur du courant.

$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{U_P}{U_S} = \frac{I_S}{I_P}$$

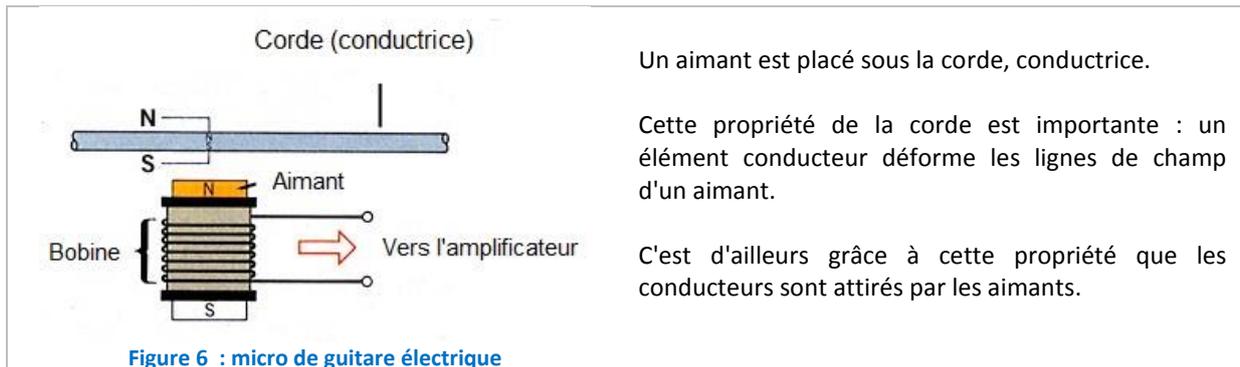
Voir : [Figure 4 Transformateur à noyau de fer](#)

La bobine et le magnétisme

Les micros de guitare électrique

Les micros de guitare sont des systèmes très ingénieux.

Voici comment ils sont construits :



Revenons à nos micros. Le fonctionnement est le suivant :

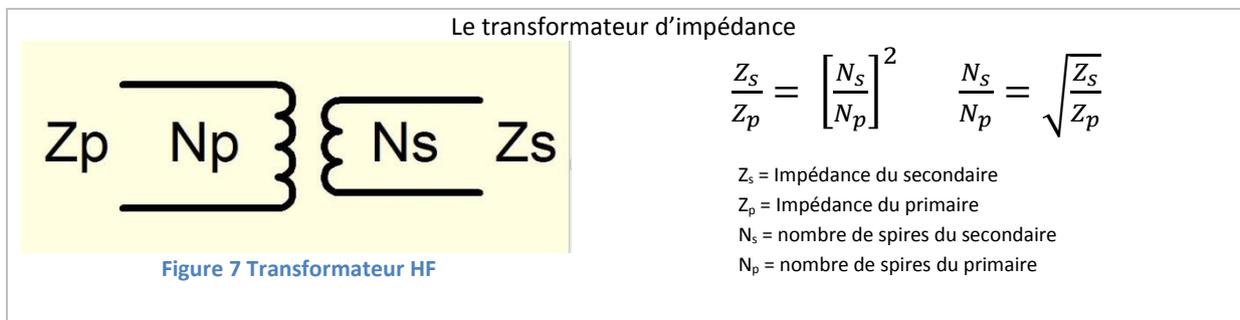
- le guitariste pince la corde conductrice ;
- la corde en mouvement perturbe le champ magnétique de l'aimant, à la fréquence de vibration de la corde ;
- la bobine autour de l'aimant "ressent" cette perturbation et, suivant la loi de Lenz, y répond par la création d'une tension et d'un courant induits, de même fréquence que le mouvement de la corde ;
- un amplificateur permet d'amplifier ce signal et de créer un son de même fréquence que celle de la corde, c'est-à-dire de produire la même note.

Transformation d'impédance

Nous avons vu le transformateur au paragraphe [Les transformateurs](#)

Il est facile de réaliser des transformations d'impédance et de calculer le rapport des bobinages nécessaire. Pour réduire les dimensions et augmenter l'efficacité de transformation (diminuer les pertes) en utilisant des noyaux magnétiques appropriés jusqu'à 1,5GHz maximum.(transformateurs toriques par ex.)

Au-dessus de cette fréquence les pertes et désadaptations deviennent prohibitives avec des moyens amateurs[2].



La bobine et le magnétisme

L'impédance et la réactance

L'association d'une résistance pure et d'une réactance s'appelle une impédance.

Une bobine (idéale) soumise à un signal alternatif (ou en présence d'une onde Haute Fréquence) se comporte différemment en fonction de la fréquence de ce signal.

Par exemple une résistance de 100Ω en série avec une self de $2\mu\text{H}$ à $F_0 = 7\text{MHz}$ [4], forment une impédance Z_L de :

$$Z_L = 100\Omega + j 88\Omega$$

$+j 88\Omega$ est la réactance X_L de la self.

On sait que la pulsation ω est égale à $2\pi F$:

$$\omega = 2\pi F$$

La réactance X_L d'une bobine idéale est donc :

$$X_L = L * \omega$$

- Z_L : l'impédance de la bobine en Ohm (Ω)
- F : la fréquence appliquée à la bobine en Hertz (Hz)
- L : l'inductance de la bobine en Henry (H)
- ω : pulsation en radians par seconde (r/s)
- X_L : la réactance en Ohm (Ω)

La réactance n'est pas une propriété réelle, elle dépend de la fréquence du signal qui lui est appliqué.

Si on mesure à l'ohmmètre une bobine, c'est la valeur ohmique de la bobine que l'on obtient, et non sa réactance.

Pour une bobine possédant sa résistance série (R_s), l'impédance est :

$$Z_L = \sqrt{R_s^2 * X_L^2}$$

Pour être tout à fait exact on devrait écrire pour l'impédance :

$$Z_L = +j * \sqrt{R_s^2 * X_L^2}$$

- $+j$: partie imaginaire de la réactance

Ouh là là ... les imaginaires c'est une tout autre histoire hors de notre cours.... (cf. *abaque de Smith et consorts*)

Loi d'Ohm

La réactance de la bobine s'applique par la loi d'Ohm généralisée ($U = R*I$), pour calculer des valeurs de tension ou de courant :

$$U = X_L * I$$

- U : tension en volts (V)
- X_L : réactance en Ohm (Ω)
- I : intensité du courant en ampères (A)

La bobine et le magnétisme

Retard de phase

Réalisons le montage suivant :

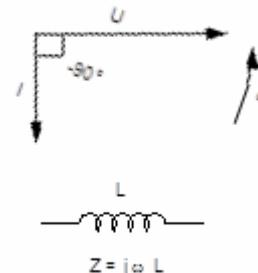
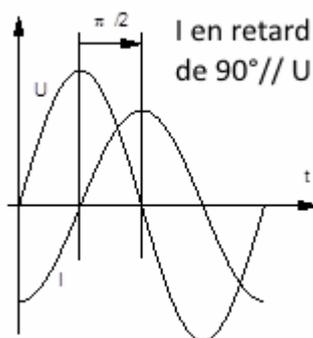
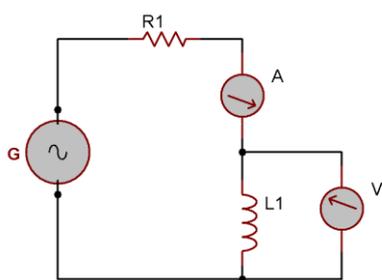


Figure 12 mesures du déphasage

Source : Harec

Dans une bobine, le courant est déphasé de -90° (en retard de 90°), par rapport à la tension : il est "ralenti". C'est exactement l'inverse du condensateur où c'est la tension qui est en retard par rapport au courant.

Fréquence nulle

Si la fréquence F est nulle, $F = 0$ alors :

$$U = X_L \cdot I$$

$$U = L * \omega * I$$

$$U = L * 2\pi F * I$$

$$U = L * 2\pi * 0 * I$$

$$U = 0$$

A fréquence nulle, c'est-à-dire en régime continu, la bobine se comporte comme un simple fil (résistant).

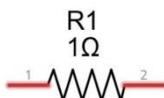
Fréquence infinie

Plus le générateur va monter en fréquence, plus la tension va augmenter (dans les limites du générateur). On va dire que la bobine a un comportement **passé-haut** : elle laisse passer les hautes fréquences sans problème, en revanche, elle atténue les fréquences basses.

Conclusion

Pour une bobine réelle, son comportement est différent selon la fréquence du signal qui lui est appliqué. Pour une fréquence nulle c'est une résistance (celle du fil), en HF la bobine se comporte comme une réactance, pour une fréquence infinie, la bobine est équivalente à un interrupteur ouvert :

Courant continu



Phénomène de résistance
Le courant passe (limité par la valeur de R)

Haute Fréquence



Phénomène de réactance
Le courant est fonction de la fréquence

Fréquence infinie



Interrupteur ouvert
Le courant ne passe (pratiquement) pas

La bobine et le magnétisme

Bobines HF



Figure 13 Différentes bobines HF [2]

De gauche à droite:

- à air qq. nH (ϕ 6mm)
- sur résistance carbone (choc)
- moulée
- ajustable à noyau
- nid d'abeille

Bibliographie

-
- [1] <http://pagesperso-orange.fr/f6rcp/elec/>
 - [2] F5XG : <http://f5xg.jimdo.com/>
 - [3] Harec : <http://users.skynet.be/fb286774/cours/>
 - [4] Les antennes Lévy clés en main † P.VILLEMAGNE F9HJ
 - [5] F5XG Pierre Marie GAYRAL