

Chapitre 3 : Les selfs

1. Introduction

Une bobine, self, solénoïde, ou auto-inductance est un composant courant en électrotechnique et électronique. La bobine est caractérisée par son inductance L , définie comme le rapport entre le champ magnétique et l'intensité du courant. L s'exprime en Henry, noté H.

1. Variétés technologiques

Une bobine est formée d'un fil enroulé soit dans l'air, soit sur un noyau magnétique.

1.1. Bobine à air

En hautes fréquences, on utilise des bobines à air. L'inductance obtenue est faible, mais son effet est suffisant pour des signaux dans les dizaines ou centaines de mégahertz.



Figure 3. 1 : Bobines à air

L'absence de noyau ferromagnétique évite les problèmes de saturation. Ce type de bobine a aussi l'avantage d'être léger et peu encombrant. Il arrive que l'on utilise aussi des bobines à air pour des fréquences peu élevées afin d'éviter les problèmes de non-linéarités liés aux matériaux magnétiques, mais il faut un nombre important de spires pour obtenir les inductances nécessaires.

1.2. Bobine à noyau

Une bobine est constituée d'un bobinage ou enroulement d'un fil conducteur peut-être autour d'un noyau en matériau ferromagnétique. Elles sont utilisées en basse et moyenne fréquence et dans les filtres d'alimentation.



Figure 3. 2 : Bobines enroulées sur un noyau

L'inductance d'une bobine dépend de la forme de la bobine, de sa section (donc du carré de son diamètre) et du carré du nombre de ses spires. Sur le tableau ci-dessous on donne les formules utilisées pour les deux types de bobines.

Tableau 3. 1 : Formules utilisées pour les bobines

Construction	Formule	Dimensions
Bobine à air	$L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l}$	<ul style="list-style-type: none"> • L = inductance en henry (H) • μ_0 = constante magnétique = $4 \pi \times 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$ • N = nombre de spires • S = section de la bobine en mètres carrés (m^2) • l = longueur de la bobine en mètres (m)
Bobine avec noyau magnétique	$L = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 S}{l}$	<ul style="list-style-type: none"> • L = inductance en henry (H) • μ_0 = constante magnétique = $4 \pi \times 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$ • μ_r = perméabilité relative effective du matériau magnétique • N = nombre de spires • S = section effective du noyau magnétique en mètres carrés (m^2) • l = longueur effective du noyau magnétique en mètres (m)

2. Gamme des valeurs standards

La gamme des inductances produites par l'industrie s'étend de quelques dizaines de nano henrys ($\text{nH} = 1 \times 10^{-9} \text{ H}$) à quelques henrys.

3. Symboles

Le symbole utilisé pour représenter une bobine parfaite dans les schémas de circuit est montré dans la figure ci-dessous.



Figure 3. 3 : Symbole générique de la bobine

Il existe d'autres symboles pour certaines bobines spécifiques :

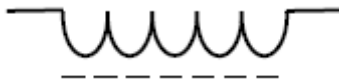


Figure 3. 4 : Bobine à noyau de ferrite

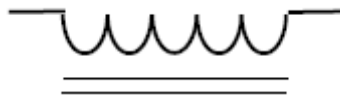


Figure 3. 5 : Bobine à noyau de fer doux



Figure 3. 6 : Bobine ajustable

4. Formules de base

4.1. Relation V-I pour une bobine parfaite

Cette relation est déduite de la loi de Lenz et de la relation de proportionnalité entre le flux et le courant. On a la relation suivante :

$$V = \frac{d\Phi}{dt} = L \frac{di}{dt}$$

V	Tension en volt [V]
Φ	Flux en weber [Wb]
i	Courant en ampère [A]
L	Inductance en Henry [H]

4.2. Energie emmagasinée

Une bobine est capable d'emmagasiner de l'énergie au même titre que le condensateur. Il s'agit pour la bobine d'énergie magnétique.

Pour une bobine d'inductance L, traversée par un courant I, l'énergie emmagasinée, exprimée en joule (J), est donnée par la formule :

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2$$

Avec :

- E : l'énergie en Joule (J)
- L : l'inductance de la bobine en Henry toujours (H)
- i : l'intensité du courant parcourant la bobine, en Ampères (A)

4.3. Inductances en régimes statique et dynamique

4.3.1. La bobine en régime statique

La bobine en régime continu est un fil !

4.3.2. La bobine en régime variable

Réactance de la bobine : $Z_L = 2 \pi f L = \omega L$ avec f = fréquence et ω pulsation du courant.

Avec :

- 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.

L'impédance augmente avec la fréquence f . Cette variation de l'impédance, opposée à celle qui est observée pour un condensateur, est également utilisée dans certains filtres.

Pour une bobine idéale (résistance négligeable), la tension et le courant sont en quadrature, mais, contrairement à ce qui se passe pour un condensateur, c'est le courant qui est en retard sur la tension.

La tension aux bornes de la bobine : $U = j L \omega I$

4.4. Association d'inductances en série et en parallèle

Le groupement de bobines est très peu utilisé. Il existe 2 types de groupement : série et parallèle.

4.4.1. Bobines en série



Figure 3. 7 : Bobines en série

Dans un groupement en série, l'inductance équivalente est la somme des inductances:

$$L_{eq}=L1+L2$$

4.4.2. Bobines en parallèle

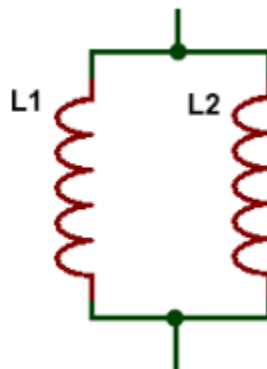


Figure 3. 8 : Bobines en parallèle

Dans un groupement parallèle, l'inverse de l'inductance équivalente est la somme de l'inverse des inductances :

$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L1} + \frac{1}{L2}$$

Le résultat du groupement des bobines est analogue à celui des résistances.

5. Utilisations et applications

Une bobine peut être utilisée pour diverses fonctions :

5.1. Oscillateur LC

Les bobines sont aussi utilisées en hautes fréquences pour la polarisation des transistors. Ce sont les bobines d'arrêt (appelées selfs de choc dans le jargon électronique). Par exemple, on peut utiliser cette solution dans un oscillateur *LC* du type Colpitts.

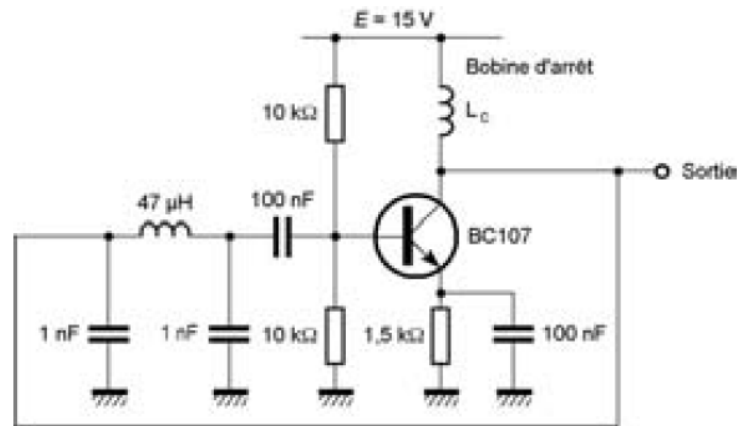


Figure 3. 9: Oscillateur Colpitts avec polarisation du collecteur par une bobine d'arrêt

5.2. Transformateur

Un transformateur est constitué de deux enroulements placés sur le même noyau magnétique fermé.

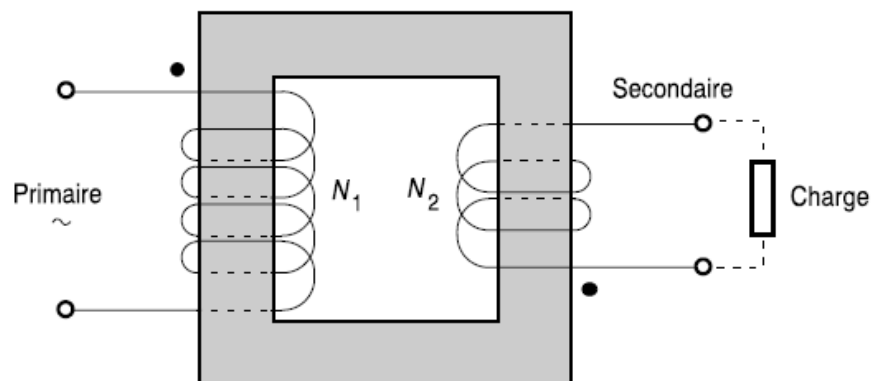


Figure 3. 10 : Principe d'un transformateur

Le symbole d'un transformateur est représenté par la figure ci-dessous.

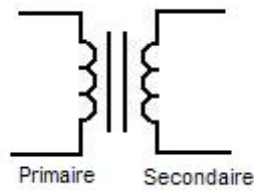


Figure 3. 11 : Symbole d'un transformateur

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 fém et un courant induits.

5.3. Relais statique

Un relais est un système de commutation (interrupteur) commandé par une bobine.

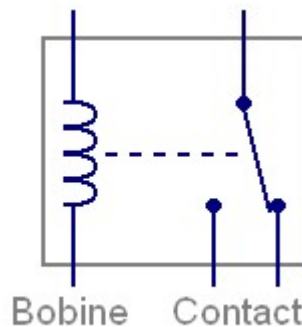


Figure 3. 12 : Symbole d'un relais

Une bobine traversée par un courant est un aimant. Le relais se sert de cette propriété :

- lorsque aucun courant n'est appliqué à la bobine, la palette (voir ci-dessus) est libre, les connecteurs ne sont pas en contact et aucun courant, ni aucune puissance, n'y circulent : c'est un **interrupteur ouvert**.
- lorsqu'un courant est appliqué à la bobine, la palette est attirée vers la bobine, et pousse, par un jeu de levier le connecteur de gauche sur celui de droite. Il y a contact : c'est un **interrupteur fermé**.

Il est par exemple possible de commander avec un circuit de faible puissance (circuit de la bobine :9V) un circuit de forte puissance (ampoule de 230V).

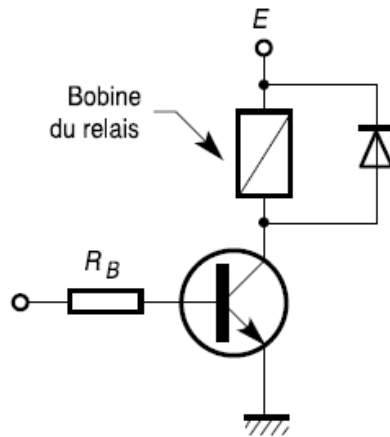


Figure 3. 13 : Commande d'un relais