

# Filtres LC

## 1. Introduction

Un filtre LC est constitué d'une bobine et d'un condensateur. Les filtres LC sont couramment utilisés en électronique de puissance, par exemple dans les alimentations à découpage ou dans les chargeurs d'accumulateur. L'objectif de ce TP est de réaliser et de tester un filtre LC passe-bas.

Matériel :

- ▷ Tore en ferrite.
- ▷ Fil souple 70 cm.
- ▷ Condensateur  $1\ \mu\text{F}$ .
- ▷ Résistances  $10\ \Omega$  et  $100\ \Omega$
- ▷ GBF et oscilloscope

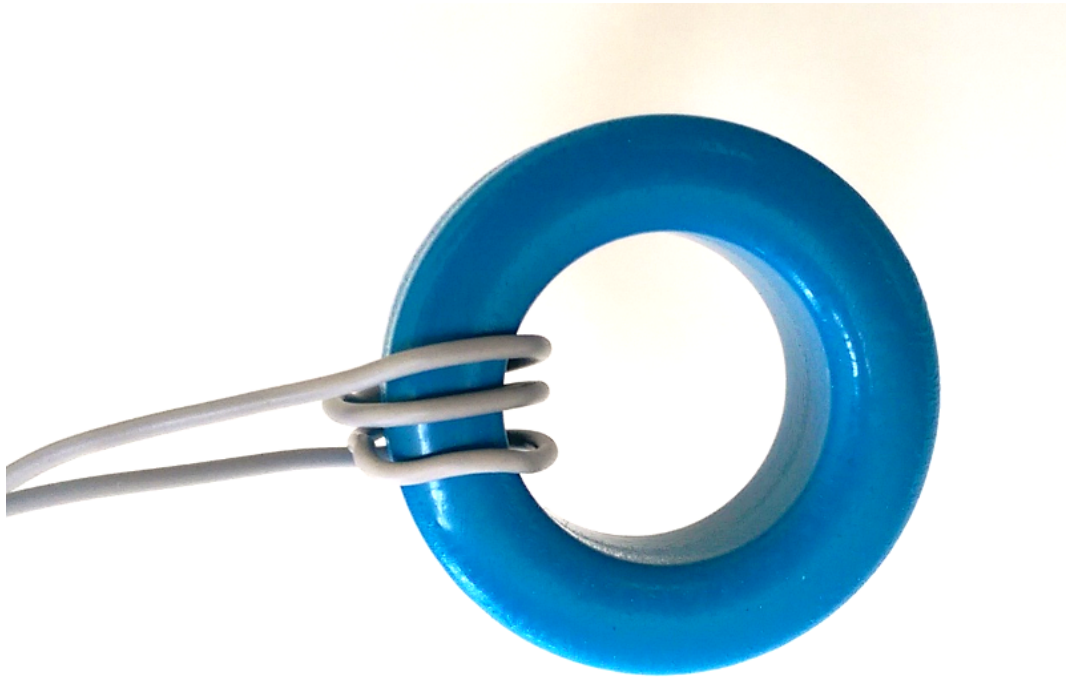
## 2. Réalisation de la bobine d'induction

### 2.a. Principe

Pour réaliser une bobine d'induction possédant une forte inductance pour un faible encombrement, on utilise un noyau en ferrite. La ferrite est une céramique ferromagnétique à base d'oxyde de fer. Par rapport à un noyau en fer, le noyau en ferrite a l'avantage d'être non conducteur, ce qui évite les pertes par courant induit. La présence d'un noyau en ferrite dans une bobine a pour effet d'augmenter la perméabilité magnétique d'un facteur 1000 ou plus.

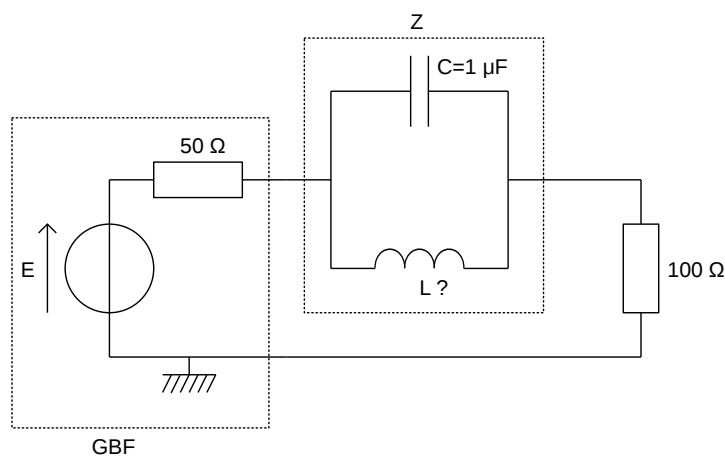
On utilise un noyau en ferrite sous forme de tore, qui permet de réaliser des bobines ou des transformateurs. La perméabilité magnétique relative est de 4300, ce qui signifie qu'une bobine donnera un flux magnétique 4300 fois plus élevé que la même bobine sans noyau.

La bobine est constituée de quelques tours de fil, au maximum une dizaine.



## 2.b. Mesure de l'inductance

Afin de mesurer rapidement l'inductance de la bobine réalisée, une méthode simple consiste à utiliser la résonance d'un circuit LC, par exemple avec le circuit suivant :



La capacité du condensateur est connue à 10 pour cent près.

Que représente la résistance de  $50\ \Omega$  dans ce schéma ?  
 Quelle hypothèse sur la bobine ce schéma suppose-t-il ?  
 Exprimer l'impédance  $Z$  du bloc LC et en déduire sa fréquence de résonance.  
 Quelle est en principe la tension aux bornes de la résistance à la résonance ? En déduire la méthode de mesure de  $L$ .

### 2.c. Influence du nombre de spires

Soit  $N$  le nombre de spires de fils enroulées sur le tore. On cherche la loi donnant  $L$  en fonction de  $N$ .

Reproduire le schéma ci-dessus et le compléter avec le branchement de l'oscilloscope.

Faire une bobine avec  $N=1$  et mesurer la fréquence de résonance avec sa précision.

En déduire  $L$  avec son incertitude.

Faire les mesures pour  $N$  variable de 1 à 10 et reporter les résultats dans un tableau.

Selon quelle loi simple  $L$  dépend-elle de  $N$  ?

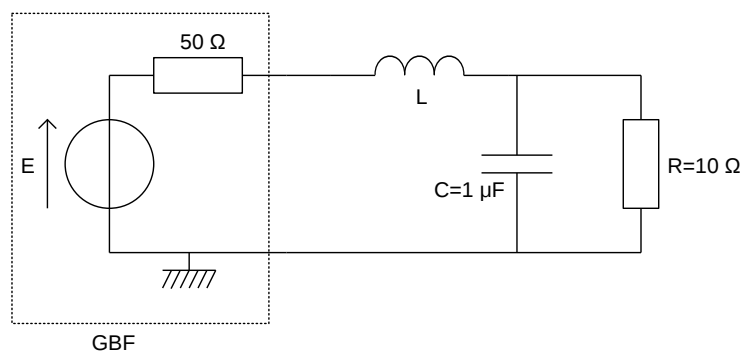
Le fabricant du tore en ferrite donne une inductance spécifique  $A_L = 5460 \text{ nH}$ .

Quelle est la signification de cette valeur ?

## 3. Filtre LC passe-bas

### 3.a. Principe

Le schéma suivant représente un filtre LC. Pour son étude expérimentale, la tension sinusoïdale à filtrer est fournie par un générateur de fonctions (GBF). En pratique la tension est fournie par une source d'énergie dont la résistance interne est beaucoup plus petite que celle du GBF. Le filtre LC lui-même dissipe très peu d'énergie. La résistance  $R$  représente la charge, c'est-à-dire le circuit qui reçoit l'énergie après le filtrage de la tension. On suppose ici que la charge est résistive, de résistance  $R = 10 \Omega$ .



### 3.b. Conception du filtre

La fonction de transfert du filtre est :

$$H(f) = \frac{1}{1 - \frac{f^2}{f_0^2} + j\frac{1}{Q}\frac{f}{f_0}} \quad (1)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

$$Q = \frac{R}{L2\pi f_0} = R\sqrt{\frac{C}{L}} \quad (3)$$

Le filtre passe-bas optimal (filtre de Butterworth) est obtenu pour un facteur de qualité

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

Dans ce cas le gain est :

$$G(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{f^4}{f_0^4}}} \quad (5)$$

La fréquence de coupure est alors  $f_0$  et la décroissance après la coupure est de  $-40$  dB par décade.

Pour tracer le diagramme de Bode du filtre, on utilisera le script python suivant (à compléter) :

`bode.py`

```
import numpy
from matplotlib.pyplot import *

R_gbf = 50.0
L=
C=1.0e-6
R=10.0

def H(f):
    w=2*numpy.pi*f
    return 1.0/(1+1j*L*w*(1j*C*w+1.0/R))

f = numpy.logspace(2,6,1000)
GdB = 20*numpy.log10(numpy.absolute(H(f)))
phi = numpy.angle(H(f))/numpy.pi

figure()
subplot(211)
plot(f,GdB)
xlabel("f (Hz)")
ylabel("GdB")
xscale('log')
grid()
subplot(212)
```

```
plot(f,phi)
xlabel("f (Hz)")
ylabel("phi")
xscale('log')
grid()

show()
```

C et R étant choisis, calculer la valeur de L qui permet d'obtenir un filtre de Butterworth.  
Réaliser une bobine (avec le tore en ferrite) dont la valeur de l'inductance est au plus proche de cette valeur. Mesurer cette valeur.  
Calculer la fréquence de coupure.  
Tracer le diagramme de Bode et conclure.  
Que se passe-t-il si l'on change la résistance R de la charge ?  
Pour quelle plage de valeurs de R peut-on considérer que le comportement du filtre est pratiquement inchangé ?

### 3.c. Réalisation et étude expérimentale

Reproduire le schéma en le complétant par le branchement de l'oscilloscope.  
Réaliser le circuit et vérifier le comportement passe-bas.  
Relever la fréquence de coupure et comparer à la valeur prévue.  
La tension en sortie du générateur ne reste pas constante lorsque la fréquence augmente au delà de la coupure. Expliquer cette observation. On pourra faire un script python qui trace cette tension en fonction de la fréquence.  
Relever la décroissance du gain (en décibel) au delà de la coupure, en expliquant la méthode utilisée. Le résultat est-il conforme aux attentes ?  
Tester le même filtre avec une résistance de charge  $R = 100 \Omega$  et conclure.

## 4. Filtre passe-bande

On souhaite réaliser un filtre LC passe-bande avec le condensateur et la bobine utilisées précédemment. La résistance de charge est  $R = 10 \Omega$ .

Proposer un schéma de filtre LC passe-bande et expliquer son fonctionnement.  
Tracer son diagramme de Bode théorique.  
Réaliser le filtre et vérifier son fonctionnement.  
Relever la fréquence de résonance et la largeur de la bande passante.  
En déduire son facteur de qualité expérimental et comparer à la valeur théorique.