




# Séance 1 : Filtrage

## 1 Introduction

Les passages nécessitant des pré-déterminations ou des réflexions théoriques sont indiqués par un symbole  dans la marge, ceux nécessitant de manipuler du matériel par le symbole  et les passages informatif par .

### 1.1 But de la manipulation et objectifs d'apprentissage

Les compétences devant être développées par l'étudiant à la fin de cette séance sont en particulier :

- vous familiariser avec les instruments de mesure qui seront utilisés dans les laboratoires ultérieurs : générateur de fonctions, multimètre et oscilloscope ;
- étudier une des fonctions de base en électronique : le filtrage (en particulier les circuits RC et RLC) ;
- utiliser les outils mathématiques de l'analyse fréquentielle, qui conviennent particulièrement bien pour étudier les circuits précédents.

À la fin de ce laboratoire, vous devez être capable :

- d'expliquer le principe de fonctionnement des différents appareils utilisés,
- d'utiliser les principales fonctionnalités de ces appareils,
- d'expliquer les notions de masse, terre et borne « common »,
- de relever (mesure) la fonction de transfert d'un circuit réel,
- de tracer une fonction de transfert dans un plan de Bode à partir de son expression mathématique (théorie) ou de mesures (pratique),
- d'utiliser les phaseurs et les impédances complexes.

### 1.2 Pré-requis

L'ensemble du cours d'électricité BA2, partie « théorie des circuits » est supposé connu avant ce laboratoire.

On y utilisera en particulier les notions suivantes :

- masse et terre ;
- équivalents de Thévenin et de Norton, impédances d'entrée et de sortie ;
- analyse fréquentielle d'un circuit réactif : valeur efficace, plan de Bode, rapports de tension en décibels, rapports de fréquence en décades et octaves, phaseurs, fonction de transfert et réponse indicielle d'un circuit linéaire, fréquence de coupure, etc. ;

On vous demande également de lire :

- les annexes expliquant le principe de fonctionnement et les fonctionnalités des appareils de mesure du laboratoire ;

- le document intitulé « fonctions de transfert et plan de Bode », qui couvre la même matière que le syllabus BA2.

### 1.3 Matériel

Composant	Valeur		Quantité
Résistance	1	k $\cdot$	x1
	10	k $\cdot$	x1
Condensateur	1	nF	x1
	10	nF	x1
Inductance	8.2	mH	x1

### 1.4 Prédéterminations

Avant d'entrer au laboratoire, il est encore conseillé de réaliser les prédéterminations des §2.3.2 et §2.4.2 de cet énoncé.

## 2 Manipulation

### 2.1 Remarques préliminaires à propos du câblage

Afin de simplifier la vérification du câblage, d'éviter des erreurs et de limiter l'émission/réception de parasites, on respectera les règles suivantes :

- Utilisez intelligemment les couleurs : des fils de couleurs différentes vous sont fournis, ils vous permettent de repérer plus facilement les différents types de signaux une fois le montage achevé.
- Disposez les appareils et autres éléments dans l'ordre où ils apparaissent sur le schéma électrique.
- Évitez les distances inutilement longues.

Un signal électrique implique la circulation d'un courant, donc un conducteur aller et un conducteur retour. Il y a lieu de disposer physiquement ces deux conducteurs aussi près l'un de l'autre que possible, pour éviter de créer une boucle risquant de capter ou de générer un signal parasite sous forme d'un champ magnétique (cfr cours chap. 3).

### 2.2 Lectures et renseignements préliminaires

Assurez-vous d'avoir pris connaissance de la présentation d'introduction au laboratoire. Consultez également le document « Fonctions de transfert et plan de Bode » vous expliquant comment analyser un circuit RLC.

Prenez également connaissance des différentes documentations du matériel de laboratoire :

- Picoscope 2204A, vous pourrez notamment y trouver l'impédance de sortie du générateur  $R_G$ .
- Documentation technique du matériel et du logiciel.

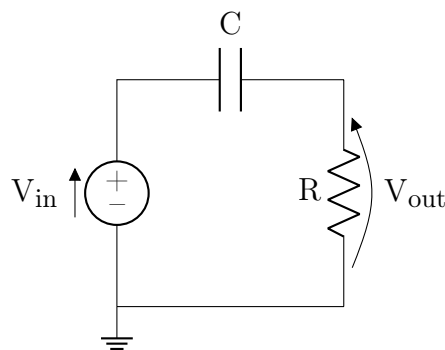
- Guide d'utilisation complet du logiciel, **attention**, certaines fonctionnalités ne sont présentes que sur la version Windows du logiciel. Pour les utilisateurs macOS et Linux, il est recommandé d'utiliser une machine virtuelle ou un dual boot Windows.
- Vidéo d'introduction au matériel de laboratoire

## 2.3 Le circuit RC passe-haut

### 2.3.1 Introduction



Le circuit RC passe-haut peut être vu comme un quadripôle :



Pour établir sa fonction de transfert, le plus simple est de remarquer que le circuit RC est un diviseur impédant (c'est à dire la généralisation du diviseur résistif à n'importe quel type d'impédance). On peut donc écrire :

$$\underline{V}_{\text{out}}(p) = \frac{Z_R(p)}{Z_R(p) + Z_C(p)} \underline{V}_{\text{in}}(p) = \frac{Z_R(p)}{Z_{\text{tot}}(p)} \underline{V}_{\text{in}}(p)$$

### 2.3.2 Prédéterminations : tracé asymptotique de la réponse fréquentielle



#### Approche mathématique

Remarque : nous avons écrit un document détaillant cette méthode : « Fonctions de transfert et plan de Bode »

1. Établissez l'expression de la fonction de transfert du circuit  $H(p) = \frac{\underline{V}_{\text{out}}(p)}{\underline{V}_{\text{in}}(p)}$
2. Calculez les pôles et zéros de la fonction de transfert.
3. Déduisez, de la fonction de transfert, la réponse fréquentielle du circuit  $H(j\omega) = \frac{\underline{V}_{\text{out}}(j\omega)}{\underline{V}_{\text{in}}(j\omega)}$
4. Tracez l'approximation asymptotique de la réponse fréquentielle dans un plan de Bode (donné en annexe).

#### Approche intuitive

Nous pouvons aussi déduire le comportement asymptotique de la réponse fréquentielle par un raisonnement sur les impédances, en se rappelant que :  $H(j\omega) = \frac{Z_R(j\omega)}{Z_{\text{tot}}(j\omega)}$

**Question 1.** Pour chacun des cas  $\omega \rightarrow 0$  et  $\omega \rightarrow \infty$  :

- que vaut  $Z_{\text{tot}}$ , l'impédance totale du circuit ?

- comment peut-on approximer la réponse fréquentielle  $H(j\omega)$  du circuit ?

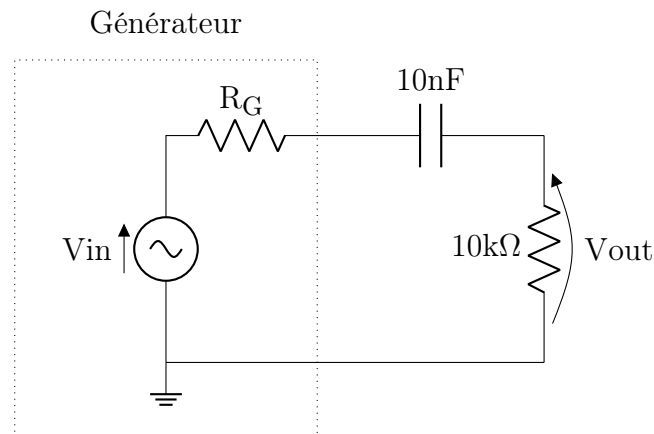
**Question 2.** Dans le cas où  $\omega \rightarrow \omega_C = \frac{1}{RC}$  :

- quel est le rapport entre le module de  $Z_R$  et le module de  $Z_C$  ?
- quelle est la valeur de la réponse fréquentielle en  $\omega = \omega_C$  ?

### 2.3.3 Manipulation



Câblez le montage suivant :



#### Astuce

Attention,  $R_G$  est déjà comprise à l'intérieur du générateur, vous ne devez pas l'ajouter au montage.

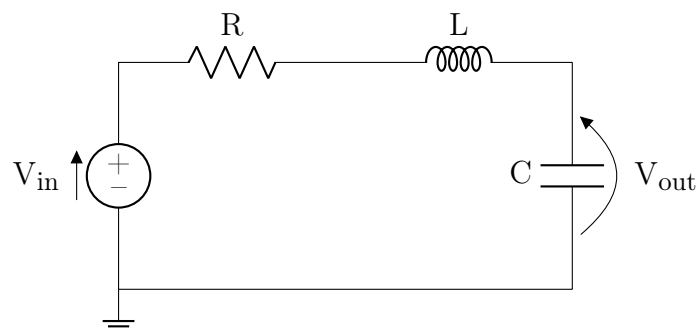
**Question 3.** Pouvez-vous négliger l'impédance de sortie du générateur ? Vérifiez vos prédéterminations en relevant la réponse fréquentielle du circuit (module ET phase), entre 10Hz et 80kHz.

## 2.4 Circuit RLC passe-bas

### 2.4.1 Introduction



On peut utiliser l'approche intuitive sur tous les quadripôles qui ont une structure de diviseur impédant (l'approche mathématique est valable pour tous les circuits). Appliquons-la au circuit RLC passe-bas :



$$H(j\omega) = \frac{V_{\text{out}}(j\omega)}{V_{\text{in}}(j\omega)} = \frac{Z_C(j\omega)}{Z_{\text{tot}}(j\omega)} \text{ avec } Z_{\text{tot}} = Z_R + Z_L + Z_C$$

### 2.4.2 Prédéterminations



**Question 4.** Répondez aux questions suivantes **pour chacun des cas**  $\omega \Rightarrow 0$  et  $\omega \Rightarrow \infty$  :

1. Une des impédances du circuit devient beaucoup plus grande que les deux autres, laquelle ?
2. Déduisez-en une expression simplifiée de la fonction de transfert à la pulsation considérée.
3. Tracez l'approximation asymptotique de la réponse fréquentielle dans un plan de Bode (donné en annexe).

**Question 5.** L'impédance de la capacité est purement imaginaire et négative. L'impédance de l'inductance est purement imaginaire et positive. L'impédance équivalente à la mise en série d'une capacité et d'une inductance peut donc s'annuler à une fréquence : c'est le phénomène de résonance.

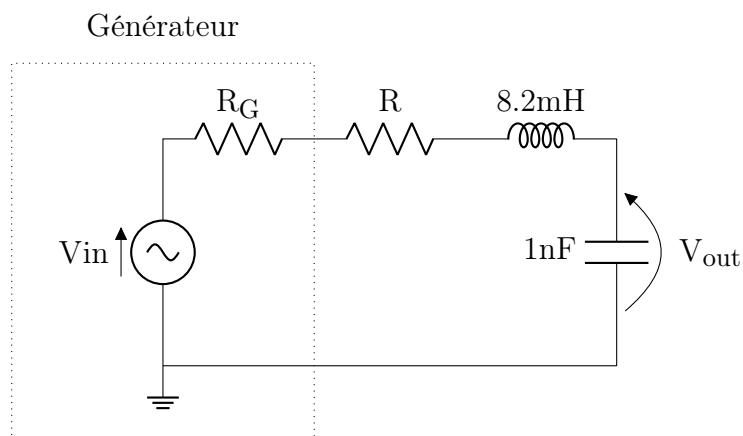
1. Prédéterminez la pulsation de résonance.
2. Que vaut  $Z_{\text{tot}}$  à cette pulsation ?
3. Que vaut la fonction de transfert à la résonance ?
4. Si  $L = 8,2\text{mH}$  et  $C = 1\text{nF}$ , calculez le module de la fonction de transfert à la fréquence de résonance pour  $R = 1\text{k}\Omega$  et  $R = 10\text{k}\Omega$ .

### 2.4.3 Relevé de la fonction de transfert



**Question 6.**

- Ajustez la tension de sortie du générateur pour obtenir une sinusoïde de 1V d'amplitude (à vide).
- Relevez le module de la fonction de transfert du circuit ci-dessous, aux bornes du condensateur, sur la plage de fréquences allant de 10Hz à 80kHz pour  $R = 0\Omega$ ,  $R = 1\text{k}\Omega$  et  $R = 10\text{k}\Omega$ . Veillez à prendre suffisamment de points, en particulier autour de la fréquence de résonance !



- À la fréquence de résonance, mesurez la tension aux bornes de C, de L et de la mise en série de L et C.

#### Astuce

Vous ne pourrez pas réaliser ces mesures avec un appareil référencé à la masse (comme votre oscilloscope) sans changer le montage. Afin de mesurer la tension aux bornes de C et L, échangez R avec le composant adéquat.

Remarquez notamment que la somme de leurs amplitudes n'est pas égale à  $V_{in}$ .

- Portez vos mesures dans un plan de Bode et comparez avec vos prédéterminations.

**Question 7.** Lorsque  $R = 0$  et  $R = 1k$ , on peut observer que la tension  $V_{in}$  mesurée est plus faible que la tension que vous imposez au générateur. À quoi est-ce dû ?

#### Astuce

Réfléchissez à l'endroit où vous mesurez la tension  $V_{in}$  dans le montage. Pouvez-vous encore négliger  $R_G$  ?

## 2.5 Exercices



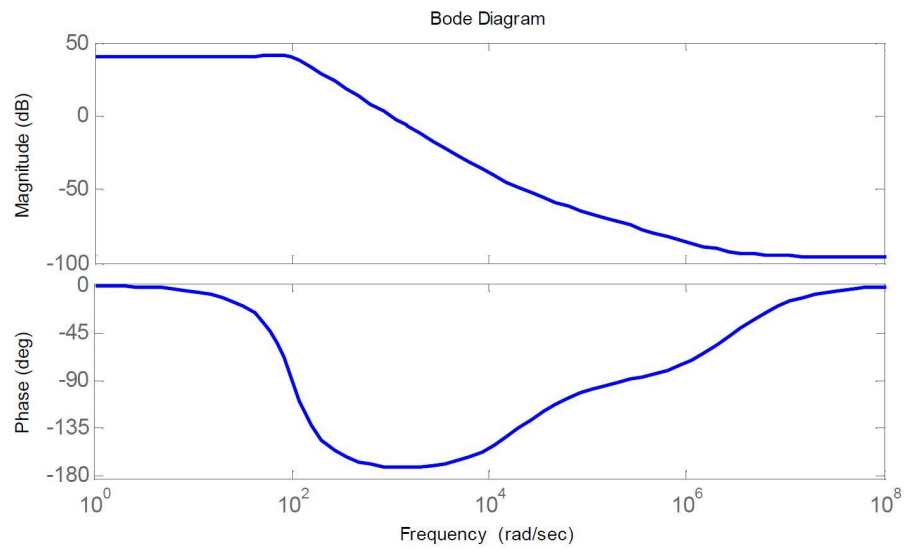
**Question 8.** Sur les quadrillages données en annexe, réalisez le tracé asymptotique des courbes de Bode des fonctions de transfert suivantes :

$$H(p) = \frac{p + 10^3}{p + 10^6}$$

$$H(p) = \frac{10(p + 10^3)^2}{p(p + 10^6)}$$



**Question 9.** On donne les courbes de Bode suivantes.



Donnez la tension de sortie (sous forme temporelle) du système si la tension d'entrée est :

- $V_{in}(t) = 1V \times \cos(100 \frac{\text{rad}}{\text{s}} t)$
- $V_{in}(t) = 5V \times \cos(10^4 \frac{\text{rad}}{\text{s}} t)$
- $V_{in}(t) = 2V \times \cos(1000 \frac{\text{rad}}{\text{s}} t + \frac{\pi}{6})$

