

## TP n° 10: Spectre des signaux et filtrage

### Matériel :

- 1 GBF.
- 1 boîte à décades de résistance.
- 1 boîte à décades de capacité.
- 1 Oscilloscope.

#### I. Spectres des signaux périodiques

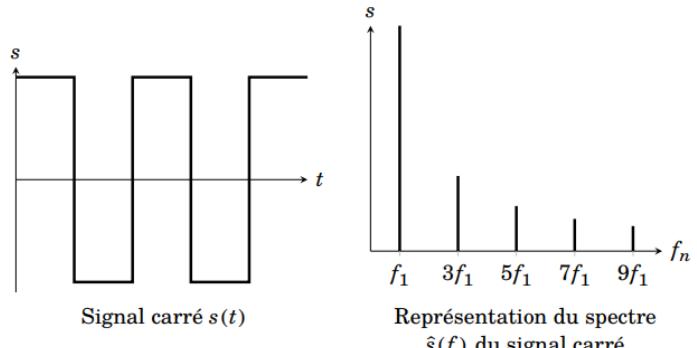
Le mathématicien Joseph Fourier (1768-1830) a montré que tout signal périodique de fréquence  $f_1 = \frac{1}{T_1}$  peut s'écrire comme la somme infinie de signaux sinusoïdaux :

$$s(t) = \sum_{n=0}^{\infty} s_n \cos(2\pi f_n t + \varphi_n) \quad \text{avec } f_n = n f_1$$

#### Spectre d'un signal périodique :

Le spectre d'un signal  $s(t)$  périodique est la donnée des  $s_n$  pour toutes les fréquences  $f_n$ .

On le représente graphiquement par le tracé en abscisse des fréquences  $f_n$  (le fondamental  $f_1$  et les harmoniques  $f_n$ ) et en ordonnée les amplitudes associées  $s_n$ .



L'objectif de cette partie est de visualiser les spectres de différents signaux périodiques en utilisant l'oscilloscope qui calcule numériquement une approximation du spectre d'un signal en utilisant un algorithme appelé **fft** (fast fourier transform).

- ★ Brancher l'oscilloscope sur la sortie « main out » du GBF.
- ★ Délivrer un signal sinusoïdal de fréquence  **$f = 1 \text{ kHz}$** , d'amplitude **4V** et sans Offset.
- ★ Visualiser ce signal en réglant l'oscilloscope.
- ★ Visualiser ce signal en réglant l'oscilloscope.
  
- ★ Calculer la **fft** du signal sur l'oscilloscope. Bouton : *Math/Utiliser : FFT*.
- ★ Régler les paramètres de la **fft** : « Source : CH1 », « Fenêtre : Rectangle », « Zoom FFT : x5 », « Echelle : Vrms », « Afficher : Ecran div ».

L'échelle horizontale (en fréquence) du spectre est inversement proportionnelle à l'échelle horizontale (en temps) du signal temporel.

- ★ Réduire la base de temps du signal temporel jusqu'à **25 ms** pour observer un spectre acceptable.
  
- 1) Commenter l'allure du spectre obtenu, quelles sont les différences avec le spectre attendu.

On va utiliser les curseurs de l'oscilloscope pour vérifier que le pic d'intensité spectrale est bien à la fréquence du signal délivré par le GBF.

- ★ Dans le menu « Cursors », régler les paramètres « Mode : manuel », « Type : temps », « Source : MATH ».

- ★ Vérifier que le pic est bien centré sur  $f = 1 \text{ kHz}$ .
- ★ Désactiver les curseurs et modifier la base de temps du signal temporelle à **5 ms**.
- ★ Remplacer le signal délivrer par le GBF par un créneau puis un triangle de même fréquence, de même amplitude et avec un rapport cyclique (DUTY) de 50%.

**2)** Comparer l'allure des spectres du signal sinusoïdal, du signal créneau et du signal triangle.

- ★ Ajouter un Offset (+2V) sur le signal délivrer par le GBF.

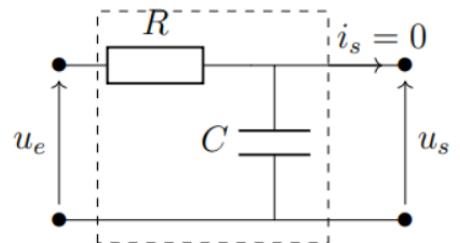
**3)** Expliquer comment se traduit sur le spectre une valeur moyenne du signal non nulle (OFFSET).

## II. Etude du filtre RC

Nous allons étudier la réponse en fréquence d'un filtre RC avant de l'utiliser pour filtrer des signaux complexes.

Le signal d'entrée sera une tension sinusoïdale  $u_e(t) = E \cos(2\pi f t)$ .

Comme le système est linéaire, le signal de sortie est sinusoïdal de même fréquence :  $u_s(t) = U \cos(2\pi f t + \varphi)$ .



Le comportement du filtre RC est complètement déterminé par sa fonction de transfert  $H(\omega) = \frac{u_s(t)}{u_e(t)} = \frac{U}{E}$

Nous démontrerons son expression en cours :

$$\underline{H(\omega)} = \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_c}} \quad \text{avec } \omega_c = \frac{1}{RC}, \text{ la pulsation de coupure du filtre.}$$

### 1) Etude qualitative

**4)** Indiquer sur le schéma les branchements de l'oscilloscope permettant de visualiser la tension d'entrée  $u_e(t)$  et la tension de sortie  $u_s(t)$ .

★ Réaliser le montage sur votre paillasse avec **R= 1 kΩ** et **C=10 nF**

**5)** Calculer la valeur de la fréquence de coupure du filtre  $f_c = \frac{\omega_c}{2\pi}$ .

★ Balayer une gamme de fréquence de **2000 Hz** autour de la fréquence de coupure.

**6)** De quelle type de filtre s'agit t'il (passe-bas, passe-bande, passe-haut, réjecteur de bande...)

## 2) Tracer du diagramme de Bode

Le diagramme de Bode est outil graphique essentiel pour caractériser les filtres, il renseigne sur la valeur de  $|\underline{H}| = f(\omega)$  (Rapport de l'amplitude de la tension de sortie et de l'amplitude d'entrée) et de  $\arg(\underline{H}) = f(\omega)$  (Avance de phase de la tension de sortie sur la tension d'entrée.)

### 7) Exprimer $|\underline{H}|$ et $\arg(\underline{H})$ en fonction de $\omega$ et $\omega_c$ .

★ Ajouter une mesure automatique d'amplitude sur l'oscilloscope : *Measure/Tension/CH2 et Amplitude*.

★ Ajouter une mesure automatique de déphasage sur l'oscilloscope : *Measure/Retard/Phase*.

★ Compléter le tableau ci-dessous en faisant varier la fréquence du signal délivré par le GBF :

$f$ (Hz)	100 Hz	1 kHz	1,6 kHz	2 kHz	3 kHz	4 kHz	5 kHz	10 kHz	100 kHz
$U$ (V)									
$\varphi$ (°)									

⌚ Lancer Spyder et ouvrir le programme python TP10Veleve.py (*Accessible sur cahier de prépa*).

⌚ Compléter les listes de **U** et **phi** avec vos mesures puis exécuter le programme.

⌚ Compléter les lignes pour calculer  $|\underline{H}|$  et  $\arg(\underline{H})$  avec les expressions déterminées à Q7.

⌚ Exécuter le programme.

### 8) Esquisser l'allure du diagramme de Bode en gain et en phase afficher par le programme. Indiquer les informations importantes : fréquence de coupure, limites hautes et basses fréquences.

## 3) Filtrage d'un signal créneau

★ Délivrer en entrée du filtre un signal créneau de fréquence **f = 1kHz**, d'amplitude **4V**, **sans offset**, avec un rapport cyclique de **50%**.

★ Visualiser à l'oscilloscope le spectre du signal en entrée du filtre puis en sortie.

### 9) Quelles sont les différences entre ces deux spectres, comment peut-on les expliquer ?