

TP de physique n°1 : Étude de filtres RC (Partie 1)

Capacités expérimentales :

- Production d'un signal électrique analogique périodique simple à l'aide d'un GBF : obtenir un signal de valeur moyenne, de forme, d'amplitude et de fréquence données.
- Mesurer directement une tension au voltmètre numérique ou à l'oscilloscope numérique :
 - choisir une résolution, un calibre et un nombre de points adaptés à la mesure ;
 - préciser la perturbation induite par l'appareil de mesure sur un montage et ses limites (bande passante, résistance d'entrée) ;
 - définir la nature de la mesure effectuée (valeur efficace, moyenne, crête-à-crête, amplitude...)
 - gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison entre les masses.
- Reconnaître une avance ou un retard de phase. Convertir un décalage temporel en une différence de phase et inversement. Repérer précisément une différence de phase nulle ou égale à π en mode XY.
- Étudier le filtrage linéaire d'un signal non sinusoïdal à partir d'une analyse spectrale, la fonction de transfert du filtre étant fournie, ou sa courbe de réponse (en gain et/ou en phase) étant fournie ou déterminée expérimentalement.

Objectifs du TP :

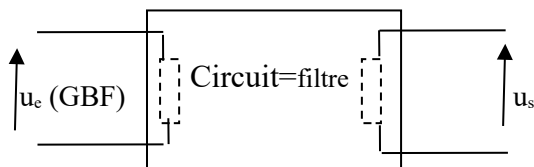
- Étudier expérimentalement un filtre afin d'obtenir ses courbes de gain et de déphasage, ainsi que sa fréquence de coupure.
- Élaborer un dispositif permettant de transformer un signal triangulaire en un signal sinusoïdal de même fréquence à l'aide d'un circuit électrique adapté.

I/ Étude expérimentale d'un filtre RC passe bas

1. Rappels

Document 1 : Fonction de transfert.

Il s'agit du rapport complexe noté $\underline{H}(j\omega)$ de la tension complexe prélevée aux bornes d'un dipôle d'un circuit en régime sinusoïdal, appelée **tension de sortie** $\underline{u}_s$ et de la **tension complexe d'entrée** $\underline{u}_e$ alimentant le circuit (généralement celle du GBF) :



Fonction de transfert complexe :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{u}_s}{\underline{u}_e}$$

Document 2 : Mesure d'un gain.

Le gain d'un filtre s'identifie au module de la fonction de transfert et donc au quotient des amplitudes U_m du signal de sortie et du signal d'entrée ; il s'identifie aussi au rapport des tensions crête à crête U_{cc} et au rapport des tensions efficaces qui sont toutes deux proportionnelles à l'amplitude :

$$G(\omega) = |\underline{H}(j\omega)| = \frac{U_{sm}}{U_{em}} = \frac{U_{scc}}{U_{ecc}} = \frac{U_{seff}}{U_{eff}}$$

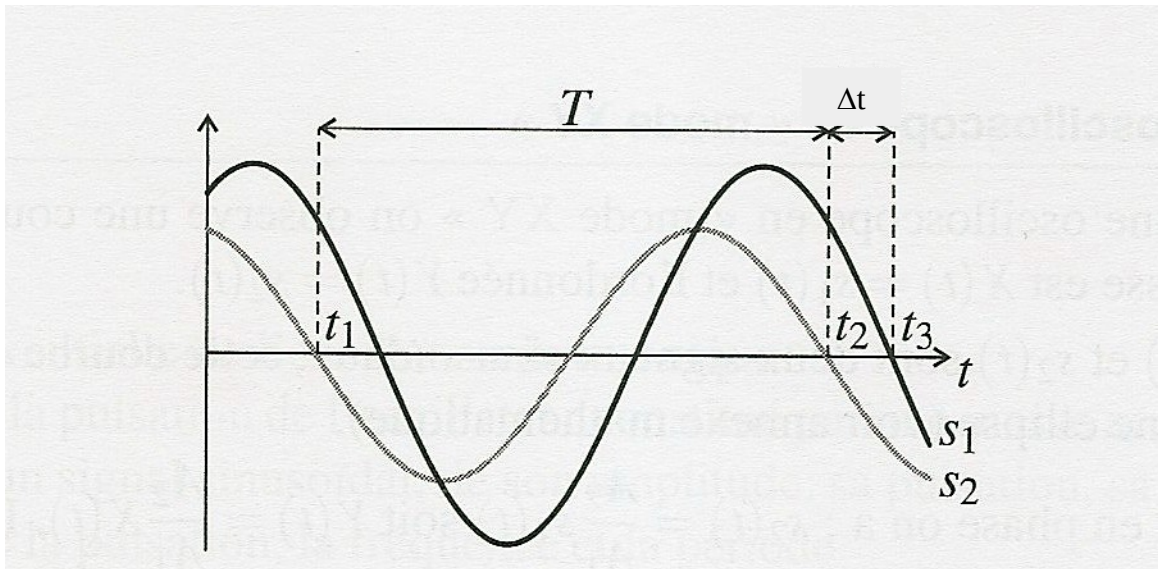
Document 3 : Mesure d'un déphasage.

Soit deux signaux sinusoïdaux s_1 et s_2 .

La phase initiale d'un signal sinusoïdal a peu d'intérêt pratique car elle dépend du choix de l'origine des temps. En revanche, le déphasage entre 2 signaux sinusoïdaux de même fréquence est souvent une information importante. Le déphasage est lié au décalage temporel entre les 2 signaux en effet :

$$\cos(\omega t + \phi) = \cos\left[\omega\left(t + \frac{\phi}{\omega}\right)\right] = \cos[\omega(t + \Delta t)]$$

Il apparaît le décalage temporel entre les deux signaux $\Delta t = \frac{|\phi|}{\omega}$.



La mesure de Δt conduit à la valeur de $|\phi|$.

Pour cela, on repère deux dates t_1 et t_2 consécutives en lesquelles une des courbes, par exemple $s_2(t)$, s'annule avec la même pente, puis une date t_3 la plus proche possible de t_2 où l'autre signal ($s_1(t)$) s'annule avec la même pente que les précédentes. On en déduit :

- La période du signal $T = t_2 - t_1$
- Le décalage temporel $\Delta t = t_3 - t_2$;
- La valeur absolue du déphasage de s_2 par rapport à s_1 :

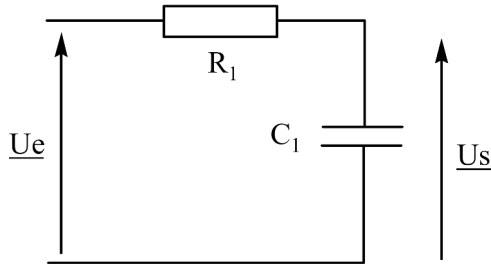
$$|\phi| = \omega \cdot \Delta t = 2\pi \frac{\Delta t}{T} = 2\pi \frac{t_3 - t_2}{t_2 - t_1}$$

Ce déphasage est mesuré en radian et prend une valeur comprise entre $-\pi$ et $+\pi$. Il est positif si le signal étudié est en avance sur le signal pris comme référence, c'est-à-dire si entre t_1 et t_2 , le signal étudié atteint son maximum avant le signal de référence et négatif si le signal étudié est en retard. Sur le schéma s_2 est en avance sur $s_1 \Rightarrow \phi_{s_2/s_1} = \phi > 0$ et $\phi_{s_1/s_2} < 0$.

Attention : bien vérifier quel est le signal en avance sur l'autre.

2. Étude expérimentale

Le montage étudié est le suivant :



$$R_1 = 2700 \, \Omega$$

$$C_1 = 100 \, \text{nF}$$

A l'entrée, on placera un GBF utilisé en courant sinusoïdal. Grâce à l'oscilloscope, on pourra visualiser simultanément u_e et u_s . On pourra ainsi comparer leurs amplitudes et mesurer le déphasage ϕ entre ces deux tensions pour différentes valeurs de la fréquence du GBF.

- Indiquer les branchements nécessaires pour observer u_e et u_s sur l'écran de l'oscilloscope.
- En observant le comportement de la tension de sortie comparée à la tension d'entrée lorsque la fréquence f varie, justifier l'appellation de filtre passe bas donnée à ce circuit.
- Pour des fréquences comprises en 50 et 5000 Hz et pour une amplitude fixée du signal d'entrée (par exemple $U_{em} = 5V$):
 - Mesurer l'amplitude la tension de sortie
 - Mesurer l'amplitude de la tension d'entrée
 - Mesurer le décalage temporel Δt de la tension de sortie par rapport à la tension d'entrée (attention au signe)

On rappellera quelle est la grandeur mesurée par un voltmètre. Comment est-elle reliée à la grandeur déduite d'un oscillogramme ? (attention à ne pas utiliser le voltmètre en dehors de sa bande passante prévue par le fabricant !)

3. Exploitation des résultats

A l'aide des programmes python mis à votre disposition :

- Tracer la courbe de gain et la courbe de déphasage pour le filtre étudié (programme « [Filtre_tracé des courbes](#) »)
- Déterminer la fréquence de coupure de ce filtre. On rappellera la définition de la fréquence de coupure et on justifiera la méthode employée par le programme « [Filtre fréquence de coupure](#) »
- Déterminer l'incertitude sur la fréquence de coupure (programme « [Filtre incertitudes MC](#) »)

4. Pour aller plus loin

Pour des **hautes fréquences** $f \gg f_c$ ce circuit est dit **intégrateur**. On se propose de justifier cette appellation :

- Se placer dans ces conditions et choisir pour $u_e(t)$ un signal créneau. Observer l'allure du signal de sortie $u_s(t)$ et interpréter.
- A partir de la relation théorique entre u_s et u_e , justifier le caractère intégrateur de ce circuit à haute fréquence.

II/ Filtrage d'un signal triangulaire

1. Étude expérimentale

A l'aide d'un circuit électronique adapté, réaliser la transformation d'un signal triangulaire dont vous aurez choisi la fréquence, en un signal sinusoïdal de même fréquence. Vous justifierez vos choix et vous analyserez le signal obtenu.

Pour obtenir le spectre en amplitude d'un signal, on fera une acquisition de ce signal à l'aide d'une interface SYSAM et d'un ordinateur muni de LatisPro (cf notice plastifiée).

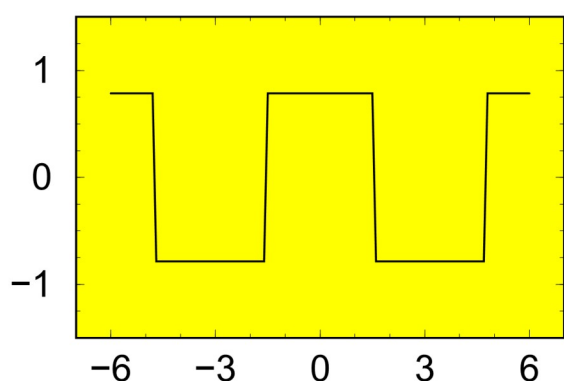
2. Données et rappels

Document 1 : Décomposition en série de Fourier

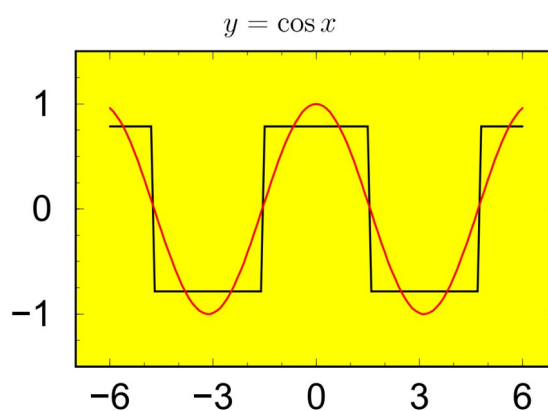
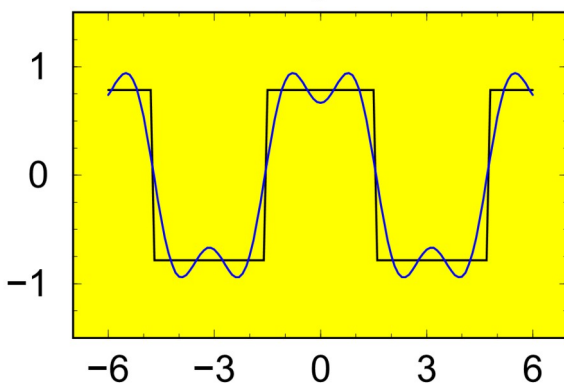
Soit une fonction périodique, de période de T . On peut décomposer f sous la forme d'une somme infinie de signaux sinusoïdaux :

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t) \quad \text{avec} \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

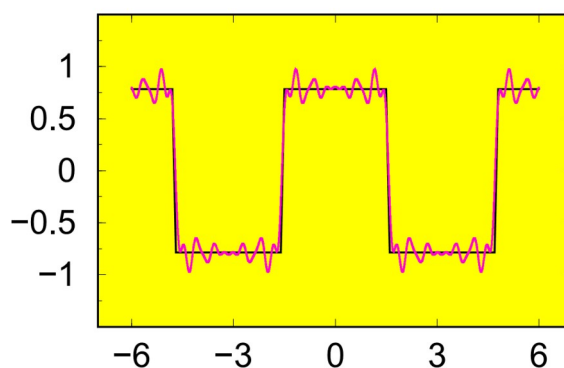
Exemple : étude d'un signal carré



$$y = \cos x - \frac{1}{3} \cos 3x$$

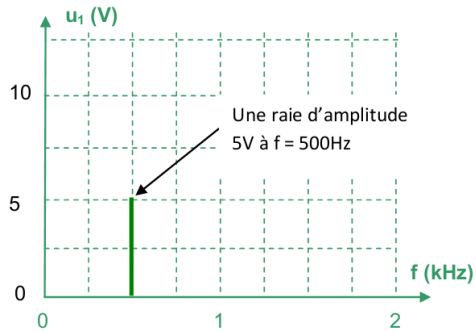
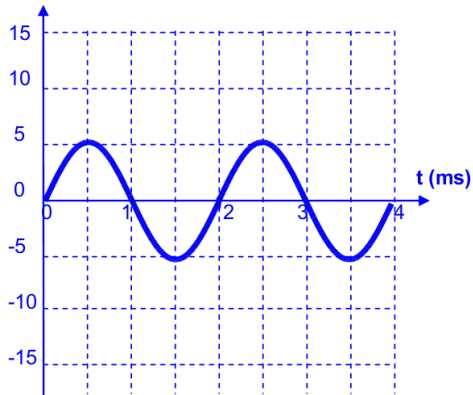
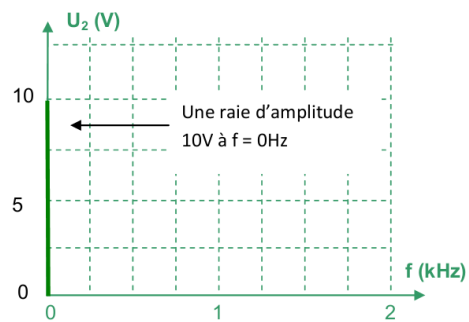
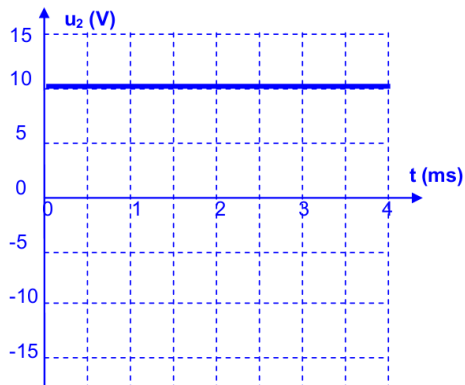
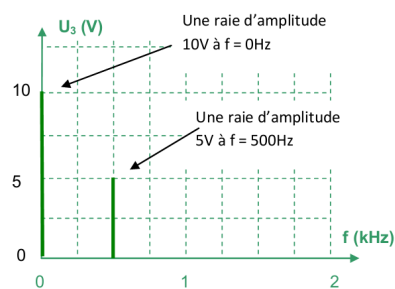
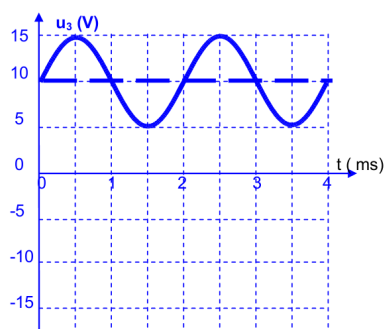


$$y = \cos x - \frac{1}{3} \cos 3x + \frac{1}{5} \cos 5x - \frac{1}{19} \cos 19x + \frac{1}{21} \cos 21x$$



Document 2 : Représentation fréquentielle d'un signal**Exemple 1**

$u_1(t) = 5 \cdot \sin(2\pi \cdot 500 \cdot t)$ ne contient qu'une seule fréquence : $f = 500 \text{ Hz}$ $T = 2 \text{ ms}$

**Exemple 2 : $u_2(t) = U_2 = 10V$** **Exemple 3 : $u_3(t) = u_1(t) + u_2(t) = 10 + 5 \cdot \sin(2\pi \cdot 500 \cdot t)$** 

Document 3 : Analyse fréquentielle d'un signal périodique