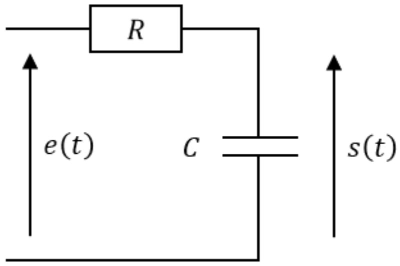
[E] TP n°7 – Filtrage à l'aide d'un passe-bas

L'objectif de ce TP est de se familiariser avec le concept de filtre électronique, à travers l'étude approfondie du filtre RC. Nous travaillerons les notions de diagramme de Bode, d'intégrateur, de moyenneur, de filtrage de bruit.

I) Diagramme de Bode

On considère le filtre RC ci-contre. On rappelle que la fonction de transfert est donnée par :

$$\underline{H} = \frac{1}{1+jx} \quad \text{avec :} \quad x = \omega RC$$



- Réaliser le filtre ci-contre. Choisir $R = 1$ kΩ et C de manière à avoir une fréquence propre $f_0 = 1$ kHz. Mettre en entrée un signal sinusoïdal d'amplitude 10 V.

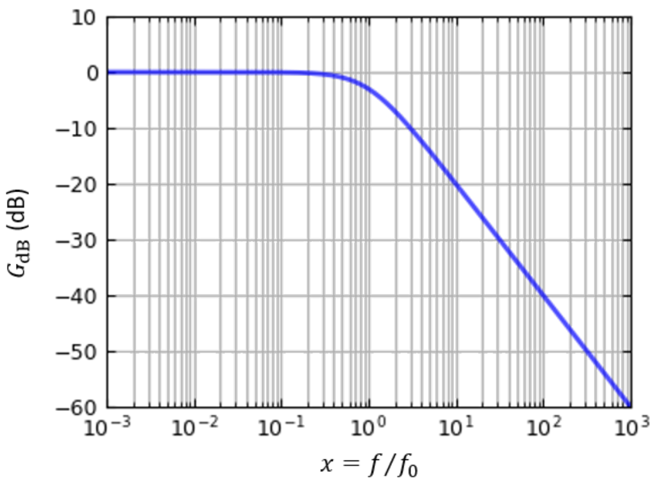
- Tracer sur Regressi le diagramme de Bode en amplitude de ce filtre, en suivant le protocole ci-dessous.
  - À l'oscilloscope, mesurer les valeurs efficaces E_{eff} et S_{eff} des signaux $e(t)$ et $s(t)$.
  - Dans le tableau de Regressi, calculer $G_{\text{dB}} = 20 \log\left(\frac{S_{\text{eff}}}{E_{\text{eff}}}\right)$
  - Faire une première série de mesures avec des points régulièrement espacés en échelle log. Par exemple, choisir un point par décade : 10 Hz, 100 Hz, ... 100 kHz.
  - Tracer G_{dB} en fonction f en échelle linéaire pour l'axe des ordonnées et logarithmique pour l'axe des abscisses.
  - Réaliser la mesure de quelques points supplémentaires dans la zone non linéaire (autour de $x = 1$).

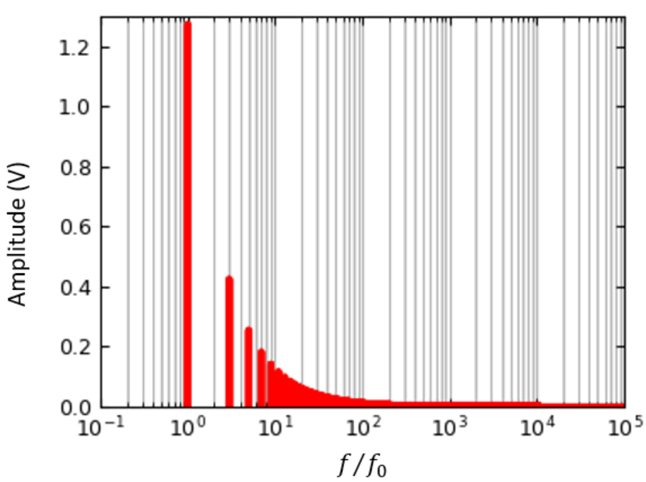
- Déterminer graphiquement les pentes des asymptotes ainsi que la fréquence de coupure à -3 dB.

II) Exploitation du filtre RC

On donne ci-dessous la décomposition en série de Fourier d'un signal créneau d'amplitude 1 V, de moyenne nulle et de fréquence f.

$$e_{\text{cre}}(t) = \frac{4}{\pi}\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{2k-1} \sin((2k-1)\,\omega t) \quad \text{avec :} \quad \omega = 2\pi f$$



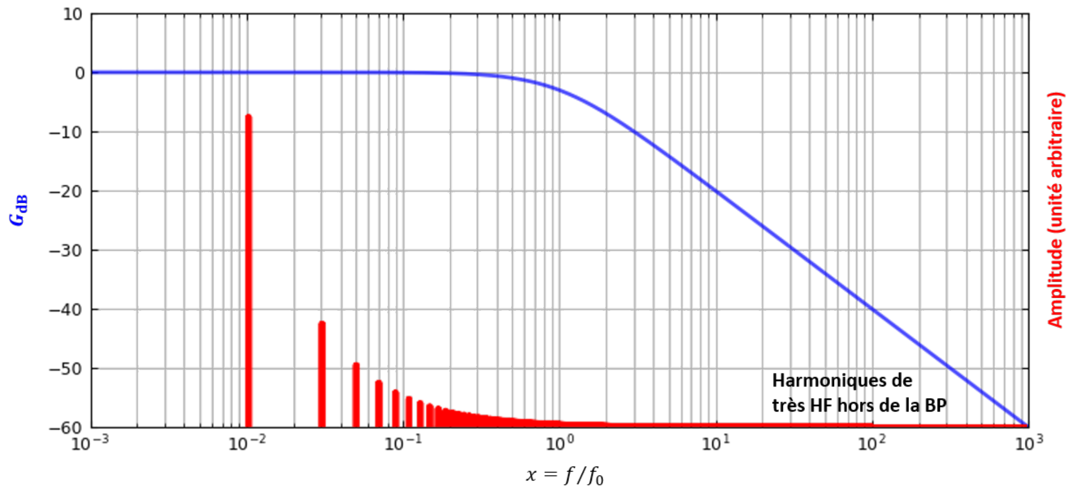


Dans cette partie, nous allons faire passer un signal créneau de fréquence f à travers le filtre RC de fréquence de coupure f_0. Nous allons progressivement augmenter la fréquence du signal, afin de passer du cas où $f \ll f_0$, au cas où $f \gg f_0$.

- Envoyer en entrée du filtre un signal créneau d'amplitude 10 V et de valeur moyenne nulle.

1) Cas où $f \ll f_0$

Choisir une fréquence $f = 100$ Hz et observer le signal $s(t)$.

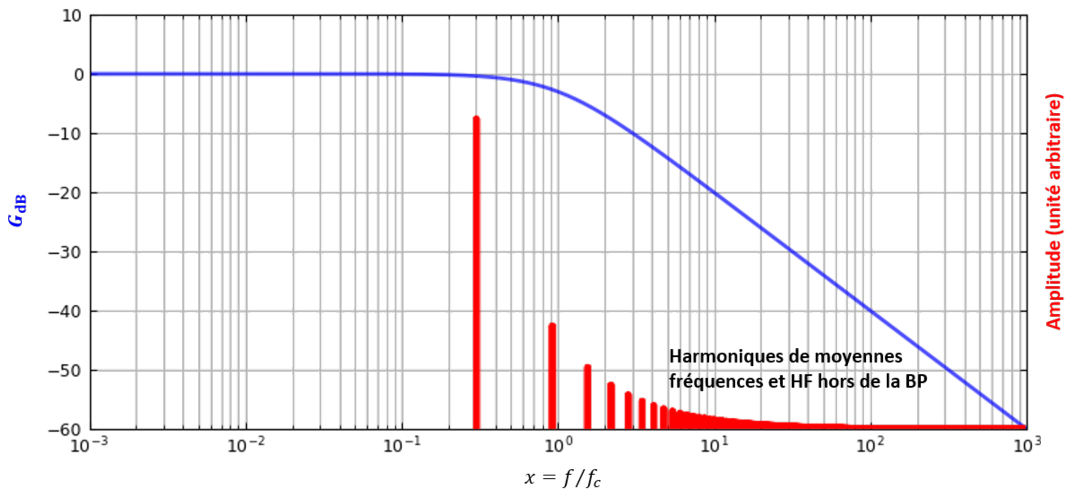


Lorsque $f \ll f_0$, la quasi-totalité du spectre est contenu dans la bande passante du filtre. Seuls les harmoniques de très hautes fréquences sont en dehors de la bande passante, et vont donc être coupés par le filtre. Puisque les HF d'une décomposition en série de Fourier sont responsables des variations rapides du signal, le filtre RC va couper les variations rapides de $e(t)$.

En conclusion, le signal de sortie $s(t)$ est presque identique à celui de l'entrée $e(t)$, mais sans variations abruptes (il n'y a plus de discontinuités). On retrouve ici, mais avec un point de vue différent, une « charge d'un condensateur » et la « continuité de la tension aux bornes d'un condensateur ».

2) Cas où $f \simeq f_0$

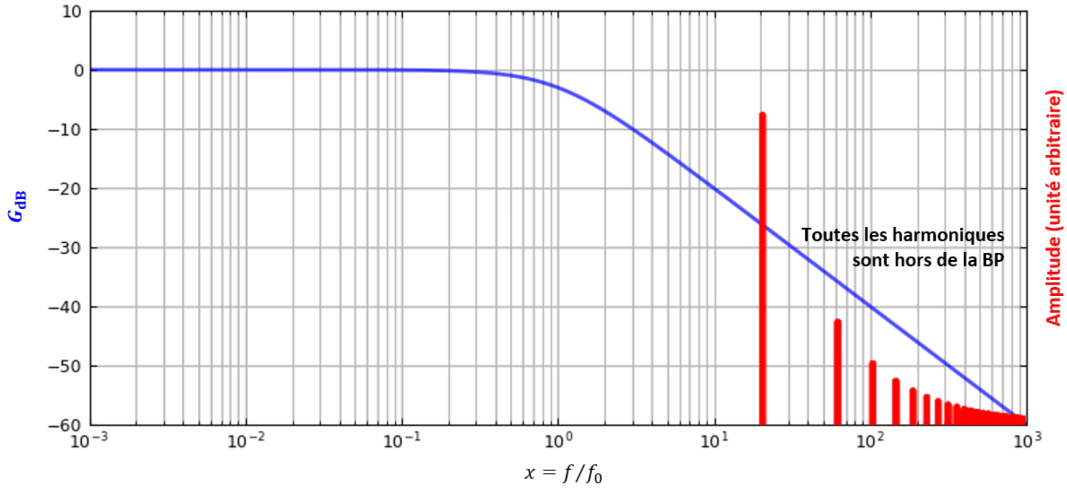
Augmenter progressivement f de 100 Hz à 7 kHz environ et observer le signal $s(t)$.



Lorsque $f \simeq f_0$, de plus en plus d'harmoniques vont être coupés par le filtre RC. Le signal de sortie $s(t)$ ressemble dont à un signal créneau où l'arrondissement des bords du créneau est de plus en plus marqué. On retrouve ici une « charge incomplète d'un condensateur ».

3) Cas où $f \gg f_0$ – filtre intégrateur

Augmenter progressivement f jusqu'à 50 kHz environ et observer le signal $s(t)$. Quel signal obtient-on ? Commenter.



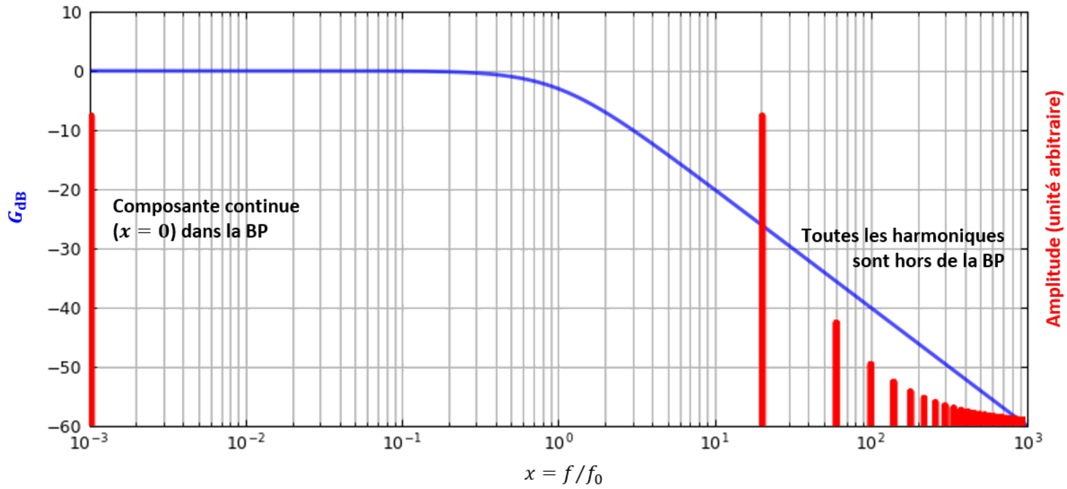
Lorsque $f \gg f_0$, l'ensemble des harmoniques sont coupés par le filtre RC. Le signal de sortie $s(t)$ est donc un signal de très faible amplitude.

De plus, cette configuration remplit les conditions d'un filtre intégrateur : ensemble du spectre dans une pente de -20 dB/dec. Le signal $s(t)$ correspond donc une primitive de $e(t)$ fortement atténuée.

Remarque : les filtres intégrateur et dérivateur vus en cours possèdent tous cet inconvénient, ils atténuent fortement le signal.

4) Filtre moyenneur

Augmenter progressivement f jusqu'à 200 kHz environ, ajouter une tension d'offset de 5 V et observer le signal $s(t)$. Quel signal obtient-on ? Commenter.



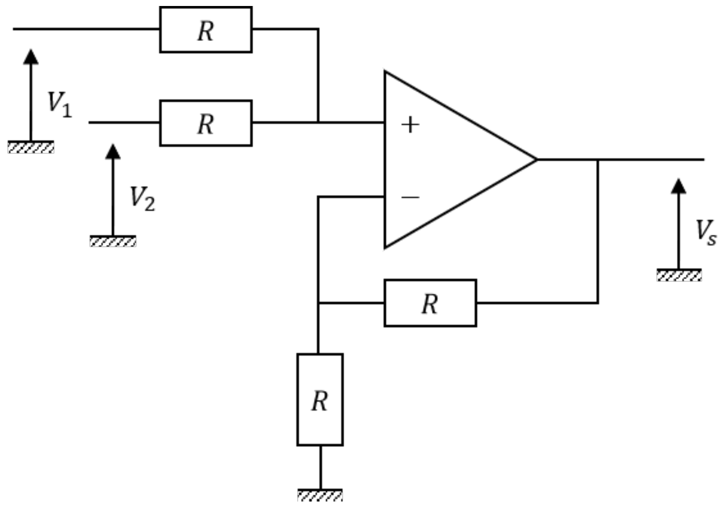
Signal continu est un signal de fréquence nulle, elle n'est pas modifiée par le filtre RC. Le signal de sortie est donc la superposition de ce signal continu et du signal intégré/atténué vu précédemment. L'amplitude de ce dernier étant très faible devant l'amplitude du signal continu, il peut être négligé. On en déduit que $s(t)$ est, en bonne approximation, assimilable à la composante continue seule : $s(t) \simeq \langle e(t) \rangle$.

5) Filtrage d'un bruit haute fréquence

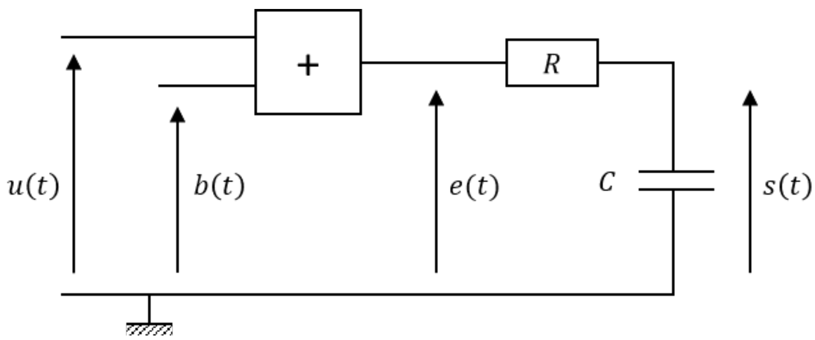
Un « bruit électronique » d'amplitude B_m est un signal parasite de moyenne nulle et prenant à chaque instant une valeur aléatoire comprise entre $-B_m$ et B_m. Le signal variant aléatoirement, il possède des variations très rapide : c'est donc un signal de très haute fréquence qui peut être filtré par un filtre passe-bas.

Dans ce TP, nous allons générer artificiellement un bruit électronique $b(t)$ à l'aide du GBF mais il faut garder en mémoire qu'en réalité, ce bruit correspond à une multitude de signaux parasites présent dans l'environnement.

À l'aide de la plaquette et des 4 résistances mises à disposition, réaliser le montage ci-dessous. La plaquette doit être alimentée par l'alimentation continue ± 15 V. Pour l'instant, laisser libre les entrées V_1 et V_2, ainsi que la sortie V_s. Ce montage est un circuit sommateur : la tension de sortie est égale à la somme qui tensions d'entrée $V_s = V_1 + V_2$.



- Réaliser le montage ci-dessous où le bloc « + » représente le circuit sommateur précédent : $e(t) = u(t) + b(t)$. Le signal $u(t)$ est le signal d'intérêt : signal sinusoïdal de fréquence 1 kHz, d'amplitude 5 V et de valeur moyenne nulle (voie CH1 du GBF). Le signal $b(t)$ est un bruit électronique d'amplitude 5 V (voie CH2 du GBF).



- Observer à l'oscilloscope $e(t)$ puis $s(t)$. Conclure sur l'efficacité du filtrage.

- Faire varier la fréquence de coupure du filtre en faisant varier R ou C. Comment cela impacte-t-il la qualité du filtrage ?