Travaux pratiques | [E] TP n°5

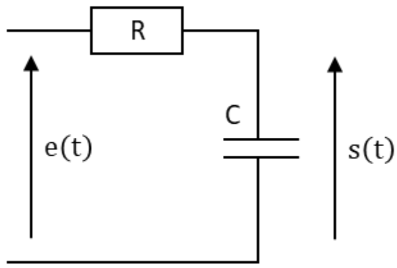
Filtrage électronique : le filtre RC

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 et nous discuterons de l'influence de l'appareil de mesure.

I - Étude d'un filtre passe-bas d'ordre 1 : le circuit RC

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

$$\underline{H} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$



Déterminer l'ordre et la nature du filtre. Que vaut la **fréquence** de coupure f_c ?

Réaliser le filtre ci-contre. Choisir $R = 1\ \mathrm{k\Omega}$ et C de manière à avoir une **fréquence** de coupure $f_c = 3\ \mathrm{kHz}$. Mettre en entrée un signal sinusoïdal d'amplitude 20 V.

Tracer sur Regressi le diagramme de Bode en amplitude de ce filtre.

Protocole pour tracer un diagramme de Bode en amplitude

- Au multimètre, mesurer les valeurs efficaces $\mathrm{E_{eff}} = \mathrm{E_m}/\sqrt{2}$ et $\mathrm{S_{eff}} = \mathrm{S_m}/\sqrt{2}$ des signaux $\mathrm{e(t)}$ et $\mathrm{s(t)}$.
- Dans le tableau de Regressi, calculer $\mathrm{G_{dB}} = 20\log(\mathrm{S_m}/\mathrm{E_m})$.
- Tracer $\mathrm{G_{dB}}$ en fonction f en échelle semi-log (linéaire pour l'axe des ordonnées et logarithmique pour l'axe des abscisses).
- 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 [$\cdots$] 1 MHz.
- Si le temps le permet, refaire une série de mesure pour combler les trous de la série précédente. Par exemple, choisir : 30 Hz, 300 Hz [$\cdots$] 300 kHz.
- Réaliser la mesure de quelques points supplémentaires dans la zone non linéaire (autour de la fréquence de coupure).

Le digramme de Bode expérimental est-il en accord avec le diagramme théorique : pente des asymptotes, fréquence de coupure à $-3\ \mathrm{dB}$, etc ?

II - Exploitation du filtre RC

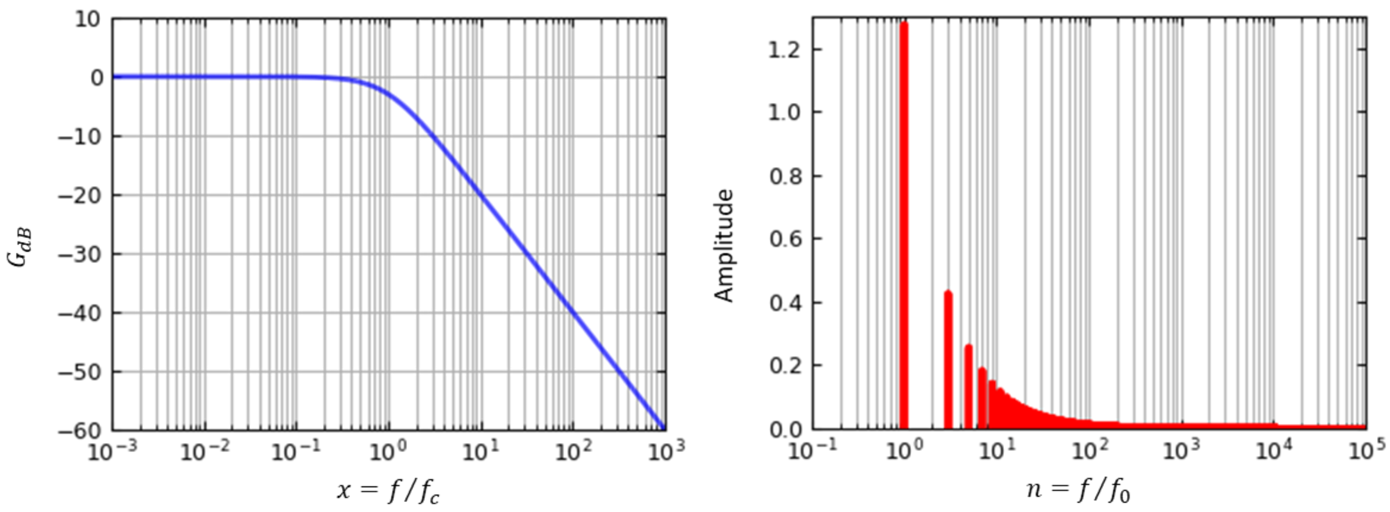
On donne ci-dessous la décomposition en série de Fourier d'un signal créneau d'amplitude $1\ \mathrm{V}$, de moyenne nulle et de fréquence f_0.

$$\mathrm{s_{créneau}(t)} = \frac{4}{\pi}\sum_{\mathrm{n}=0}^{+\infty} \frac{\sin\big((2\mathrm{n}+1)2\pi f_0 t\big)}{2\mathrm{n}+1}$$

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

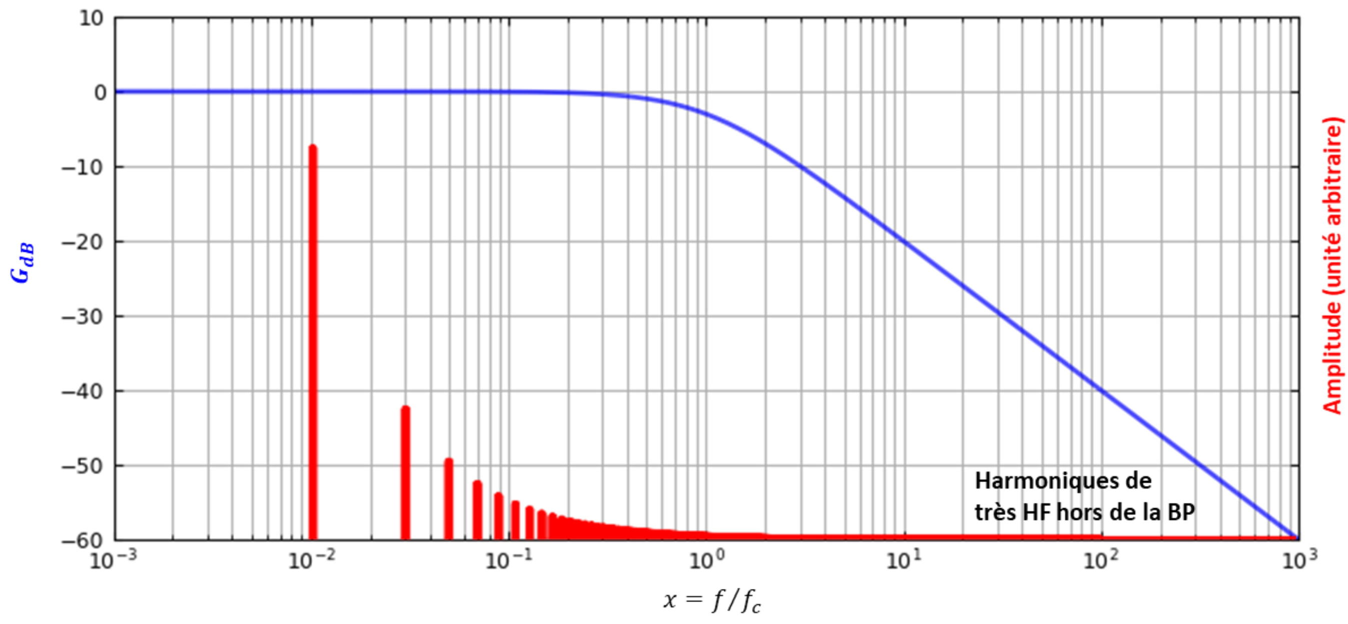
Réaliser le filtre RC en choisissant $R = 1\ \mathrm{k\Omega}$ et $C = 53\ \mathrm{nF}$ (on a donc $f_c = 3\ \mathrm{kHz}$). Envoyer en entrée un signal créneau d'amplitude crête à crête 20 V et de valeur moyenne nulle.

On donne ci-dessous le diagramme de Bode en amplitude d'un filtre RC (fréquence de coupure f_c) et le spectre en amplitude du signal créneau (fréquence fondamentale f_0), en échelle semi-log.



II.1 - Cas où $f_0 \ll f_c$

Superposons les deux diagrammes pour comprendre l'effet du filtre RC sur le signal d'entrée $e(t)$. Prenons le cas où la fréquence du signal créneau f_0 est 100 fois plus faible que la fréquence de coupure f_c du filtre.



Lorsque $f_0 \ll f_c$, 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 $e(t)$.

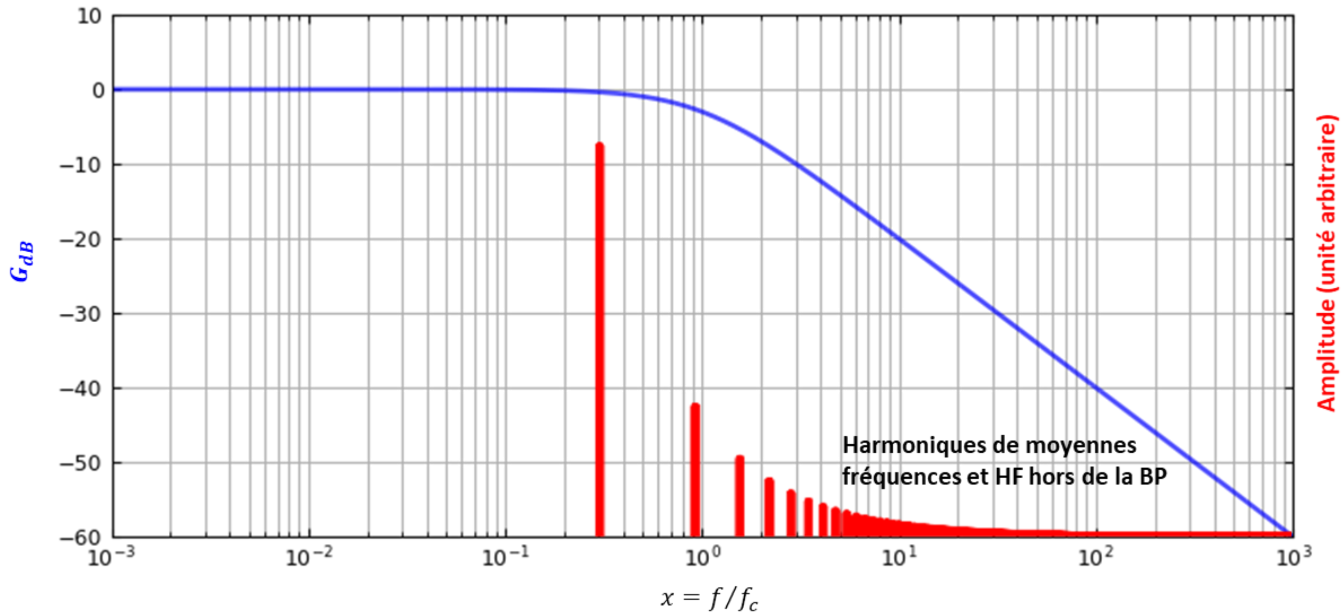
En conclusion, le signal de sortie $s(t)$ est presque identique à celui de l'entrée $e(t)$, mais sans variations abruptes (les bords du créneau sont donc « arrondis »).

Choisir une fréquence $f_0 = 100\ \mathrm{Hz}$ et observer le signal $s(t)$.

<u>Remarque</u> : il s'agit là d'une interprétation différente de la « charge d'un condensateur ». L'exponentielle complexe est un créneau auquel on a retiré les discontinuités de la fonction.

II.2 - Cas où $\boldsymbol{f_0 \to f_c}$

Lorsque $f_0 \to f_c$, 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.



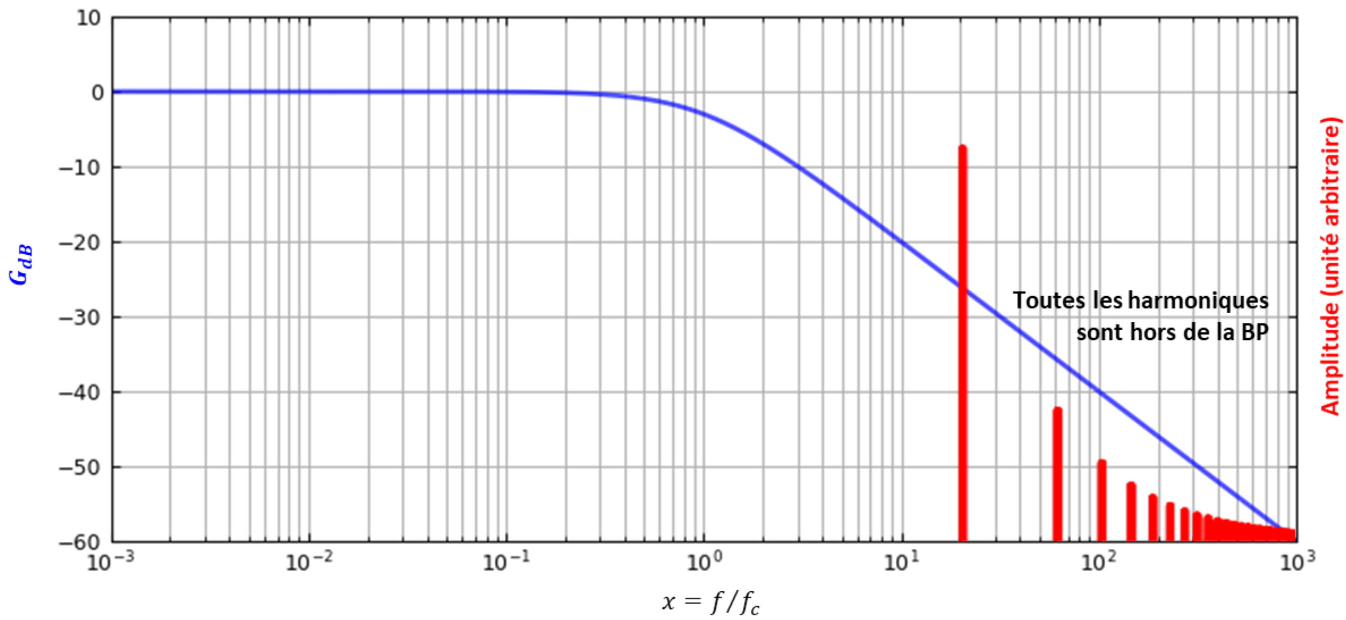
Augmenter progressivement f_0 de $100\ \text{Hz}$ à $7\ \text{kHz}$ environ et observer le signal $s(t)$.

Remarque : il s'agit là d'une interprétation différente de la « charge incomplète d'un condensateur ». Le régime permanant n'est jamais atteint.

II.3 - Cas où $\boldsymbol{f_0 \gg f_c}$: filtre intégrateur

Lorsque $f_0 \gg f_c$, 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 toutes les conditions d'un filtre intégrateur (pente de $-20\ \text{dB/dec}$ et déphasage de $-\pi/2$). 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.



Dessiner l'allure de la primitive d'un signal créneau de valeur moyenne nulle.

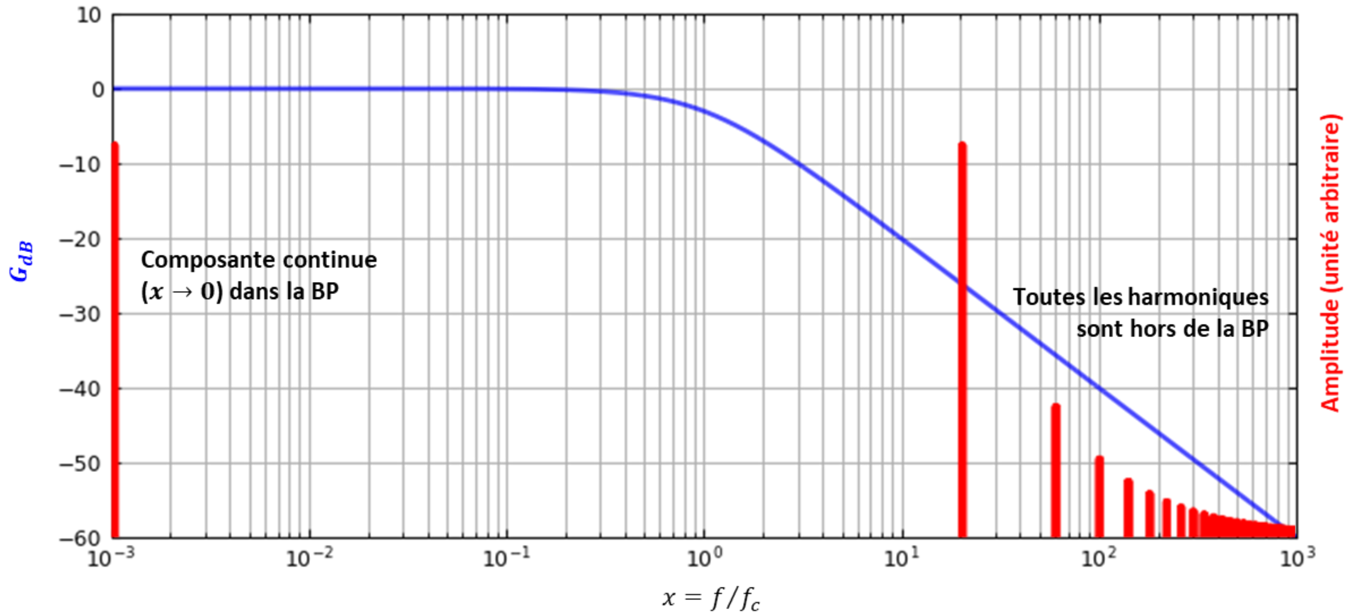
Augmenter progressivement f_0 jusqu'à $80\ \text{kHz}$ environ et observer le signal $s(t)$. Vérifier que l'on obtient bien une primitive de $e(t)$ mais fortement atténuée (de faible amplitude).

Remarque : il est de nouveau possible de faire le lien la courbe de charge d'un condensateur. Ici, le condensateur n'a que temps de se charger que de manière infime. On observe donc une infime portion de la courbe de charge, c'est-à-dire sa dérivée à l'origine.

II.4 - Filtre moyenneur

Restons dans le cas où $f_0 \gg f_c$ et ajoutons une composante continue au signal d'entrée. Puisqu'un 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 : $s(t) \simeq \langle e(t) \rangle$.



Ajouter une tension d'offset de 5 V et observer le signal $s(t)$.

II.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.

Généré un signal sinusoïdal de fréquence 1 kHz et d'amplitude crête à crête 10 V. Observer directement ce signal sur l'oscilloscope.

Nous allons ajouter à une signal un bruit électronique $b(t)$.

Appuyer sur « Mod ». Choisir : Type « AM », Source interne « SrcInt », Shape « Noise ». Augmenter progressivement le « Depth » jusqu'à 90 % et observer en même temps le signal à l'oscilloscope.

On obtient ainsi un signal :

$$e(t) = E_m \cos(\omega t) + b(t) \quad \text{avec :} \quad |b(t)| \leq 0{,}9 \times E_m |\cos(\omega t)|$$

Envoyer ce signal dans un filtre passe-bas. Bien choisir la fréquence de coupure afin de laisser passer la composante sinusoïdale et de filtrer le bruit.

Idéalement, il vous faut obtenir en sortie : $s(t) = E_m \cos(\omega t)$. Cela signifie que $b(t)$ est entièrement coupée et que $E_m \cos(\omega t)$ n'est pas atténuée.