TP18 – Filtrage linéaire (1)

Le filtrage linéaire permet notamment d'isoler un signal d'intérêt en éliminant le bruit qui l'accompagne souvent, ce qui permet d'améliorer considérablement la qualité des transferts d'information dans les télécommunications et la sensibilité des mesures dans de nombreux domaines. Par exemple, la détection des ondes gravitationnelles a été permise grâce au développement de filtres mécaniques, optiques, électroniques et numériques performants. On s'intéresse ici dans un premier temps au filtrage électronique d'un signal harmonique par un filtre simple.

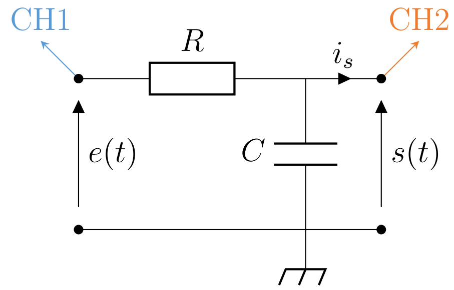
Objectifs

→ Mesurer une tension : mesure directe au voltmètre numérique ou à l'oscilloscope numérique.
→ Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison entre les masses.
→ **Mettre en œuvre un dispositif expérimental exploitant les propriétés des fonctions de transfert d'un système linéaire.**

Filtre passe-bas

On considère au filtre RC représenté ci-contre, alimenté par un signal sinusoïdal de fréquence f variable $e(t) = E_0 \cos(\omega t)$. On souhaite étudier la fonction de transfert $\underline{H}_1$, définie comme le rapport

$$\underline{H}_1(j\omega) = \frac{\underline{s}(j\omega)}{\underline{e}(j\omega)}.$$



1. On mesure la tension aux bornes du condensateur à l'aide d'un oscilloscope. Justifier que l'intensité i_s du courant sortant du filtre est négligeable.

2. En déduire l'expression de la tension $\underline{s}$ en fonction de $\underline{e}$ et montrer que

$$\underline{H}_1(j\omega) = \frac{H_0}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}}.$$

Donner l'expression de H_0 et de la fréquence caractéristique f_0 du filtre en fonction des valeurs des composants. Faire l'application numérique pour $R = 10\,\mathrm{k\Omega}$ et $C = 60\,\mathrm{nF}$.

APP REA VAL **3.** Réaliser le circuit et mesurer les valeurs du module et de l'argument de $\underline{H}_1(j\omega)$ en BF et en HF. Commenter le nom « passe-bas » donné à ce filtre. Retrouver ce comportement à l'aide de circuits équivalents.

REA VAL **4.** Mesurer la fréquence de coupure f_c pour laquelle le module de $\underline{H}_1$ vaut $H_0/\sqrt{2}$. Estimer l'incertitude-type associée et comparer quantitativement à la valeur attendue.

ANA COM **5.** En HF, ce filtre peut-être utilisé comme intégrateur : la sortie $s(t)$ est alors une primitive de l'entrée $e(t)$, à un facteur d'échelle près. Expérimentalement, mettre en évidence cette propriété avec un signal non sinusoïdal bien choisi et représenter graphiquement $e(t)$ et $s(t)$. Retrouver ce comportement à partir de l'étude asymptotique de la fonction de transfert.

APPEL PROF 1 ANA Caractère intégrateur du filtre en HF.

REA COM 6. Avec Python ou sur papier semilog, tracer le diagramme de Bode (Doc. 2) le plus précisément possible. On fera apparaitre H_0, f_c, la bande-passante et la gamme de fréquence sur laquelle le filtre se comporte comme un intégrateur.

Filtre RL

APP REA 7. Remplacer le condensateur par une bobine. Quel type de filtre est ainsi obtenu ?

APP ANA REA VAL COM 8. Proposer et mettre en œuvre un protocole expérimental pour déterminer les caractéristiques du filtre obtenu. On comparera les valeurs mesurées aux valeurs attendues après étude de la fonction de transfert $\underline{H}_2$ du filtre réalisé.

Documents

Document 1 – Matériel

- GBF ;
- oscilloscope ;
- bobine $L \approx 45\,\mathrm{mH}$ ou $11\,\mathrm{mH}$;
- boite à décade de résistance ;
- boite à décade de capacité ;
- câbles ;
- papier semilog ;
- ordinateur et Python.

Document 2 – Diagramme de Bode

Pour un signal $e(t)$ de la forme $e(t) = E_0 \cos(\omega t + \varphi_e)$, un filtre linéaire renvoie un signal $s(t)$ de même pulsation, de la forme $s(t) = S_0(\omega)\cos(\omega t + \varphi_s(\omega))$. La réponse $s(t)$ de ce filtre à une entrée $e(t)$ est caractérisée par sa fonction de transfert $\underline{H}(j\omega) = \underline{s}/\underline{e}$.

Pour représenter la fonction de transfert complexe, on utilise le **diagramme de Bode** où sont tracés :

- le gain du filtre, en décibel : $G_{\mathrm{dB}}(\omega) = 20\log(|\underline{H}(j\omega)|) = 20\log\left(\frac{S_0(\omega)}{E_0}\right)$;
- le déphasage $\varphi(\omega) = \arg(\underline{H}(j\omega)) = \varphi_s(\omega) - \varphi_e$ introduit par le filtre, en degré,

tous deux en fonction de la pulsation ω ($\mathrm{rad\cdot s^{-1}}$), représentée en échelle logarithmique. Pour plus de lisibilité, on indique souvent la fréquence en abscisse, plutôt que la pulsation.