

FILTRAGE

Le but de la séance est de travailler sur la réalisation de filtres électroniques, en analysant leur fonctionnalité. Une réflexion sera menée au préalable sur la définition des paramètres d'acquisition d'un signal par échantillonnage.

Les filtres étudiés seront des circuits linéaires. Le traitement des signaux sera analysé au moyen de leur réponse fréquentielle. La réponse en sortie de filtre sera égale à la superposition des réponses du circuit à chacun des termes harmoniques appliqués en entrée.

1. Réponse fréquentielle sur un circuit du premier ordre :

Câbler un circuit R-C passe-bas, avec $R = 1,50 \text{ k}\Omega$ et $C = 0,100 \text{ }\mu\text{F}$. Faire un balayage fréquentiel sommaire pour vérifier le bon fonctionnement et la nature de filtre.

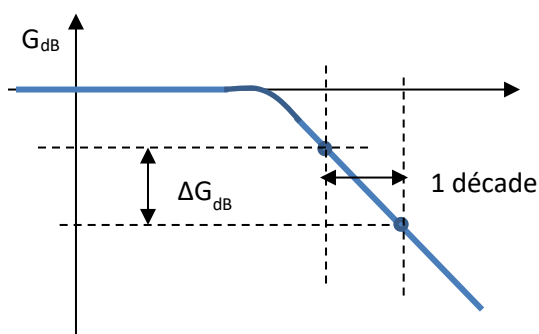
En employant les mesures automatiques disponibles sur l'oscilloscope (fréquence, amplitudes ou valeur RMS des tensions d'entrée et de sortie), déterminer expérimentalement la fréquence de coupure du filtre f_c . Confronter cette mesure à la valeur attendue théoriquement.

Quelle est la valeur de la phase pour des fréquences f de valeurs respectives $f = f_c$, $f = 10 \text{ Hz}$ et $f = 20 \text{ kHz}$?

L'oscilloscope disponible dans la salle permet une mesure directe de l'avance de phase (se reporter éventuellement à la notice de l'appareil). En l'absence de cette fonctionnalité, il faudrait procéder selon les modalités vues au TP « signal sinusoïdal » : $\varphi = 360 \cdot \Delta t / T$ où T est la période des signaux et Δt le retard temporel entre ces signaux.

En relevant les valeurs du gain en décibel pour deux fréquences judicieusement choisies, évaluer expérimentalement la pente de l'asymptote à haute fréquence de la courbe de gain en diagramme de Bode pour ce filtre (voir figure). Le gain G_{dB} sera évalué par $G_{dB} = 20 \cdot \log(V_s / V_e)$ à partir des valeurs efficaces V_e et V_s . On prendra soin de placer les deux voies de l'oscilloscope en **mode AC** afin d'éliminer toute composante continue. Le mode AC s'obtient en activant la voie concernée et en sélectionnant à l'écran dans le paramètre Couplage (ou Coupling) le choix AC.

Attention : L'oscilloscope est configuré par défaut sur le mode DC où il affiche l'ensemble de la tension sur la voie, y compris sa composante continue. L'oscilloscope revient automatiquement sur ce mode DC si l'on actionne une mise à l'échelle automatique de l'écran (bouton « Auto »).




2. Analyse fréquentielle :

On procède par Décomposition en Série de Fourier (D.S.F.), au moyen du boîtier d'acquisition SYSAM, piloté par le logiciel Latis-Pro. (Le logiciel Latis-Pro est placé dans le dossier Eurosmart, ou accessible par une icône située sur le bureau de l'ordinateur).

2.1 Acquisition du signal.

Appliquer à partir du G.B.F. une tension $V_e(t)$ sinusoïdale de fréquence $f = 1,0 \text{ kHz}$, d'amplitude quelques volts, sur l'entrée EAO du boîtier. Il est nécessaire de relier la masse du montage à celle présente sur le boîtier d'acquisition.

L'acquisition d'un signal appliqué sur une des entrées analogiques du boîtier est activée en sélectionnant cette entrée sur le panneau d'acquisition affiché sur Latis-pro. Elle est déclenchée en utilisant l'icône dédiée  ou par la touche F10.

Faire l'acquisition avec les paramètres d'acquisition par défaut, en vérifiant simplement la durée totale d'acquisition (quelques millisecondes).

Relancer une acquisition en ayant préalablement entré les paramètres : période d'échantillonnage $T_e = 200 \mu\text{s}$, durée totale 40 ms.

Les trois paramètres d'acquisition sont liés : la durée totale d'acquisition t_{tot} est égale au produit du nombre de points d'acquisition par la période d'échantillonnage T_e . On ne peut donc fixer manuellement que deux de ces trois paramètres. Du fait du temps de réponse de ses composants, la carte d'acquisition est limitée à une valeur minimale de sa période d'échantillonnage.

Comparer les signaux obtenus. Expliquer les problèmes constatés sur la seconde acquisition.

Reprendre l'acquisition, avec une durée totale de 4 ms et un nombre de points d'acquisition suffisant. Conclusion ?

2.2 Décomposition en série de Fourier.

2.2.1 Signal sinusoïdal :

Pour $V_e(t)$ sinusoïdal, et avec des paramètres d'acquisition satisfaisants, réaliser la D.S.F.

La D.S.F. d'un signal préalablement acquis sur Latis-pro s'obtient à partir du menu « traitements » -> « Calculs spécifiques » -> « Analyse de Fourier » (ou par le raccourci sur le clavier : touche F6). La courbe devant subir l'Analyse de Fourier est sélectionnée à la souris dans l'onglet « Coubes » et glissée dans le champ de la fenêtre de calcul.

Commenter le résultat : en quoi permet-il de confirmer l'observation d'un signal sinusoïdal ?

2.2.2 Signal créneau :

Changer la forme du signal produit par le G.B.F. Observer sa D.S.F.

Pointer au moyen du réticule les différentes harmoniques (amplitude, fréquence).

Vérifier que les fréquences des harmoniques sont des multiples de la fréquence fondamentale du signal $f = 1/T$ où T est sa période.

Vérifier que les harmoniques voient leurs amplitudes évoluer selon une loi en $1/n$ où n est le rang de l'harmonique. (On remarquera que dans le cas du signal créneau, seules les harmoniques de rangs impairs sont présentes dans le signal).

3. Filtrage :

Appliquer une tension $V_e(t)$ de forme créneau, de fréquence $f = 1,0 \text{ kHz}$ sur l'entrée du filtre passe-bas étudié en 1°) ; avec pour paramètres $R = 1,50 \text{ k}\Omega$ et $C = 0,100 \mu\text{F}$. Evaluer numériquement la fréquence de coupure du filtre d'après l'expression théorique : $f_0 = 1 / (2\pi RC)$.

Observer la tension $V_s(t)$ obtenue en sortie. Réaliser sa D.S.F. Comparer à celle de $V_e(t)$.

Reprendre les mêmes observations, et confronter à la valeur de la fréquence de coupure du filtre pour les valeurs de paramètres $R = 1,50 \text{ k}\Omega$ et $C = 10,0 \text{ nF}$, puis pour $R = 1,50 \text{ k}\Omega$ et $C = 1,00 \mu\text{F}$ et enfin pour $R = 1,50 \text{ k}\Omega$ et $C = 5,00 \mu\text{F}$.

La fonction transfert du filtre est :

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j \cdot \frac{\omega}{\omega_0}} = \frac{1}{1 + j \cdot \frac{f}{f_0}}$$

Discuter de ses comportements asymptotiques selon la valeur de pulsation (ou de fréquence) comparée à celle de coupure.

N.B. : Les études fréquentielles théoriques sont conduites sur la variable pulsation ω , tandis que les études expérimentales emploieront la variable fréquence f , avec $\omega = 2\pi \cdot f$.

Confronter vos conclusions aux études expérimentales réalisées. Quelle est l'opération effectuée par le filtre pour la dernière situation ? Expliquer en examinant l'expression approchée de la fonction de transfert dans ce domaine de fréquences et en l'interprétant dans le domaine temporel.

4. Opération valeur moyenne :

Reprendre les valeurs $R = 1,50 \text{ k}\Omega$ et $C = 0,100 \text{ }\mu\text{F}$ pour le filtre.

Activer sur le G.B.F. la fonction offset (bouton offset, push/pull), permettant l'introduction d'un terme de tension continue U_0 . Régler la valeur de décalage à $U_0 = 1,0 \text{ V}$ en employant un voltmètre, configuré en mesure de tension continue (V_{DC}).

Régler la fréquence de la composante variable de $V_e(t)$ à $f = 1,0 \text{ kHz}$.

Utiliser la commande « mesures automatiques » dans le menu « outils » du logiciel Latis-pro. Observer l'effet de l'ajout de la composante continue sur $V_e(t)$ ainsi que sur sa D.S.F.

Observer $V_s(t)$. On souhaite réaliser, par le filtrage, l'opération « valeur moyenne » amenant $V_s(t) = \langle V_e(t) \rangle$ en conservant la valeur de fréquence $f = 1,0 \text{ kHz}$ pour $V_e(t)$.

Modifier les caractéristiques du filtre afin d'obtenir ce résultat. Déterminer la valeur de sa fréquence de coupure et expliquer.

Qu'obtient-on si on modifie la fréquence de $V_e(t)$ pour $f = 10,0 \text{ kHz}$?

5. Filtrage passe-haut :

Un émetteur HF est présent dans la salle. Il génère un signal de fréquence environ égale à 40 MHz .

Un fil de longueur au moins égale à 50 cm , faisant office d'antenne, permet de recevoir ce signal et de l'observer à l'oscilloscope. On constate qu'il est fortement parasité par un terme de tension de fréquence égale à 50 Hz , correspondant au champ électromagnétique rayonné par les appareils (transformateurs...) présents dans la salle.

Construire un filtre passe haut, en associant un résistor et un condensateur de valeurs adaptées, afin d'obtenir le signal haute fréquence attendu. Expliquer vos choix.