

TP ÉcA. Étude d'un filtre passif pour haut-parleur

Objectifs

- Détermination expérimentale des propriétés d'un filtre analogique
- Optimisation du filtrage par variation de l'impédance de charge
- Utilisation d'un logiciel pour le tracé de diagramme de Bode

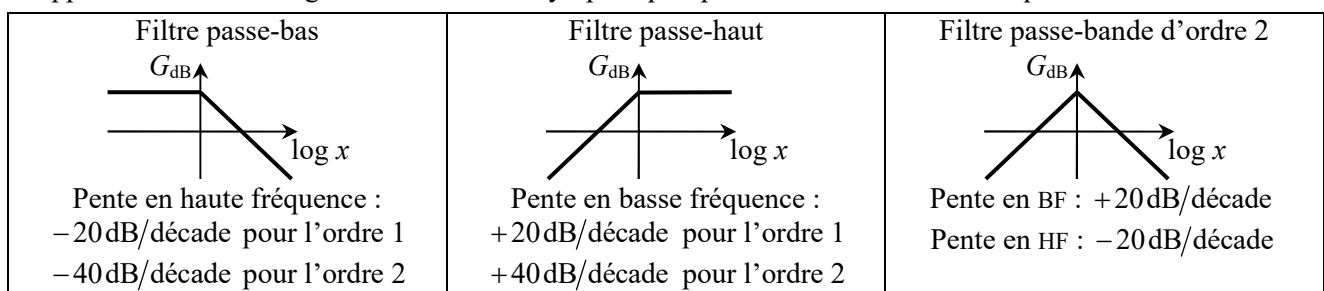
1. Filtrage pour haut-parleur

a) Généralités

• Les enceintes acoustiques de bonne qualité comportent généralement plusieurs haut-parleurs, chacun étant optimisé pour un domaine particulier de fréquences : au minimum un haut-parleur pour les hautes fréquences (haut-parleur d'aigus ou *tweeter*) et un pour les basses fréquences (haut-parleur de graves ou *woofer*), qui peuvent être complétés par un haut-parleur de fréquences moyennes (médiums), voire un autre pour les fréquences très basses (*subwoofer*). Chacun de ces haut-parleurs est précédé d'un filtre, actif ou passif, qui sélectionne dans le signal sonore les fréquences adaptées. La fréquence de séparation entre aigus et graves est typiquement de l'ordre de quelques kilohertz.

• Rappels sur les filtres linéaires

On rappelle l'allure des diagrammes de Bode asymptotiques pour les trois filtres canoniques d'ordre 1 ou 2.



À l'ordre 1, le gain est toujours de – 3 dB à la fréquence de coupure f_0 , et la courbe est sous les asymptotes.

À l'ordre 2, pour le passe-bas et le passe-haut, le gain présente un pic de résonance si $Q > 1/\sqrt{2}$; le cas idéal est $Q = 1/\sqrt{2}$, pour lequel la courbe est bien collée aux asymptotes, avec un gain de – 3 dB à la fréquence de coupure f_0 .

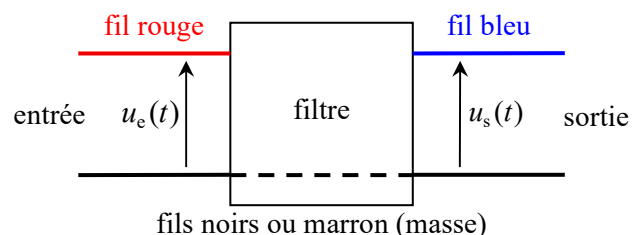
➤ Question

Pourquoi ce cas est-il idéal ?

b) Présentation du filtre à étudier

Le filtre que nous allons étudier est passif (comportant uniquement des résistances, capacités et inductances). Il est monté sur une petite plaque d'essais, munie de deux paires de fils pour les bornes d'entrée et de sortie. Ces fils pourront être connectés aux appareils avec des pinces crocodiles.

On cherche à déterminer ses caractéristiques : nature passe-bas, passe-bande ou passe-haut ; fréquence de coupure f_0 , gain de référence H_0 et facteur de qualité Q ; valeur optimale de l'impédance de charge.



2. Tracé de diagrammes de Bode et exploitation

a) Diagramme de Bode pour le filtre en sortie ouverte

➤ Protocole 1

– Relier l'entrée du filtre au générateur de tension basse fréquence (GBF), puis l'entrée et la sortie aux deux voies de l'oscilloscope. Balayer rapidement l'ensemble des fréquences et observer le signal de sortie : s'agit-il d'un filtre passe-haut, passe-bas ou passe-bande, et pour quel type de haut-parleur est-il adapté ?

– Pour différentes valeurs de la fréquence, déterminer le gain $H = \frac{U_{s,m}}{U_{e,m}}$; faire un tableau de toutes les valeurs

mesurées et calculées. Pour obtenir des points régulièrement répartis sur l'échelle logarithmique des fréquences, il faut choisir celles-ci en séquence 1-2-5, c'est-à-dire 100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 5000 Hz, etc. jusqu'à 1 MHz, soit en tout quatre décades. Pour les mesures, il est conseillé d'utiliser les fonctions de

l'oscilloscope, notamment la mesure *Amplitude* pour chaque voie, qui est accessible avec le menu de la touche *Measure*.

△ Les mesures doivent être précises, avec toujours au moins deux chiffres significatifs. Lorsqu'un signal est faible, il faut donc changer d'échelle pour observer toujours une courbe remplissant une grande partie de l'écran. Si le signal comporte un bruit important, il est possible d'améliorer l'observation en faisant une moyenne sur plusieurs acquisitions : dans le menu *Acquire* de l'oscilloscope, choisir *Moyennage* (le bruit disparaît alors car il a une moyenne nulle).

– Tracer le diagramme de Bode en gain sur une feuille de papier log-log (échelles logarithmiques en abscisse et en ordonnée). Cela permet de ne pas avoir à calculer soi-même les logarithmes, car les quadrillages sont déjà proportionnels aux logarithmes des abscisses et des ordonnées ; il suffit donc de reporter directement les valeurs de f et de H , après avoir gradué judicieusement les axes. Attention, par rapport au diagramme classique où on porte en ordonnée $G_{dB} = 20 \log H$, ici il n'y aura pas le facteur 20.

– Tracer sur ce diagramme les asymptotes haute fréquence et basse fréquence. En déduire la fréquence de coupure f_0 (à l'intersection des asymptotes), le gain de référence H_0 (sur l'asymptote horizontale), et le facteur de qualité Q (donné par $H = H_0 Q$ à la fréquence f_0). D'après la pente de l'asymptote, déterminer l'ordre 1 ou 2 du filtre. Que pensez-vous de la qualité de ce filtre ?

b) Étude de l'influence de l'impédance de charge

En réalité, ce filtre n'est pas prévu pour fonctionner en sortie ouverte. Il a été optimisé pour une impédance de charge qui est l'impédance d'entrée moyenne du haut-parleur ; on pourra considérer qu'il s'agit d'une résistance R_{ch} . Or la valeur de R_{ch} agit principalement sur le facteur de qualité du filtre : on se propose de trouver l'ordre de grandeur de R_{ch} convenant à ce filtre, en observant son influence sur la courbe de gain du diagramme de Bode.

☞ Protocole 2

Pour obtenir rapidement plusieurs diagrammes de Bode, on utilise maintenant le logiciel Oscillo5. Celui-ci permet d'utiliser la carte d'acquisition à la fois comme oscilloscope (entrées **EA0** et **EA1**) et comme GBF (sortie **SA1**).

– Brancher la boîte à décades de résistances ($\times 1 \Omega$ à $\times 1000 \Omega$) en sortie du filtre : elle joue le rôle de R_{ch} . Prendre d'abord une grande valeur, pour être proche de la situation où la sortie était ouverte.

– Faire les connexions suivantes :

- bornes d'entrée du filtre sur la sortie **SA1** (SORTIES ANALOGIQUES) et la masse de la carte d'acquisition ;
- bornes de sortie du filtre sur l'entrée **EA1** (CANAL 1) et la masse de la carte d'acquisition ;
- sortie **SA1** sur l'entrée **EA0** (CANAL 0).

– Ouvrir le logiciel Oscillo5. Dans la partie en haut à droite, sélectionner **Bode** ; les options utiles sont normalement déjà sélectionnées (gain en dB, phase en radians, échelle logarithmique de fréquences...). Choisir l'intervalle de fréquences adéquat pour tracer le diagramme de Bode. Cliquer sur **Déclencher** pour lancer le tracé.

– Pour tracer une nouvelle courbe en effaçant la précédente, cliquer sur **La dernière** dans le menu **EFFACEMENT ACQUISITIONS PRÉCÉDENTES**. Si on clique sur **Toutes**, la nouvelle courbe efface toutes les précédentes. Si on ne choisit aucune des deux options, toutes les courbes sont conservées.

– En utilisant des curseurs (clic droit sur la courbe, ou bien bouton **Curseurs** en bas de l'écran), vous pouvez vérifier vos mesures du protocole 1.

– Faire varier la résistance en recherchant la courbe optimale, et noter alors la valeur de R_{ch} . Ce filtre est-il plutôt adapté pour un haut-parleur électrodynamique (R_{ch} de l'ordre de 4 à 8 Ω) ou pour un haut-parleur piézoélectrique (R_{ch} de l'ordre de 500 à 1000 Ω) ?