

Objectifs : L'objectif de ce TP est de mettre en œuvre des solutions de filtrage d'ordre supérieur à 2 et découvrir les performances des différentes fonctions d'approximations utilisées. A cette occasion nous allons utiliser un outil de conception de filtre.

Contexte

Pour cette partie, nous vous proposons l'étude et la mise en œuvre d'un décrypteur audio. L'objectif final est de décrypter les fichiers audio mp3 « mystères » que vous trouverez en téléchargement sur le site <http://poujouly.net>.

Vous connecterez la sortie casque d'un lecteur MP3 (PC par exemple) sur l'entrée du montage proposé afin d'écouter le résultat sur une enceinte amplifiée.

Cette partie de TP « ludique » est l'occasion de retrouver un thème important de l'électronique concernant l'analyse fréquentielle et permet de mettre en œuvre une solution de filtrage complète.

1) Principe de fonctionnement

Pour transmettre une information audio avec un minimum de confidentialité il est possible d'utiliser une technique de cryptage entièrement analogique par une inversion de spectre autour d'une fréquence pilote. Ce procédé est utilisé dans de nombreux systèmes de téléphonie privés et pour la transmission du son d'une chaîne de télévision payante. La figure 1 ci-dessous illustre l'opération de cryptage que nous n'étudierons pas dans le cadre de ce TP. Bien évidemment nous disposons de quelques signaux audios cryptés qui nous permettront de mener à bien nos tests de fonctionnements.

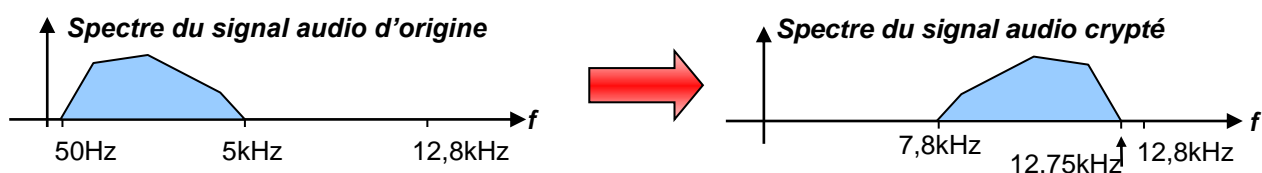


Figure 1: Principe du cryptage audio

La fréquence pilote permettant l'inversion de spectre est fixée à 12,8kHz ($3,2768\text{MHz}/256$). Le schéma synoptique du montage d'étude permettant le décryptage du signal audio est représenté sur la figure 2 ci-dessous. L'opération fondamentale consiste à multiplier le signal crypté par un signal sinusoïdal dont la fréquence correspond à la fréquence pilote de 12,8kHz. Cette opération suivie d'un filtrage permet de retrouver dans la bande audio (50Hz-5kHz) le signal original.

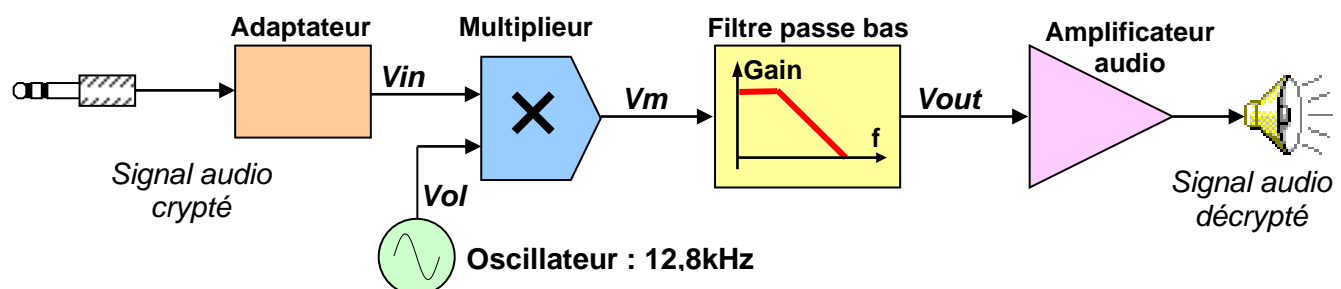


Figure 2 : Synoptique du décrypteur audio

L'analyse de ce montage en adoptant une étude d'un point de vue fréquentiel nous permet d'y voir beaucoup plus clair comme en attestent les représentations spectrales suivantes :

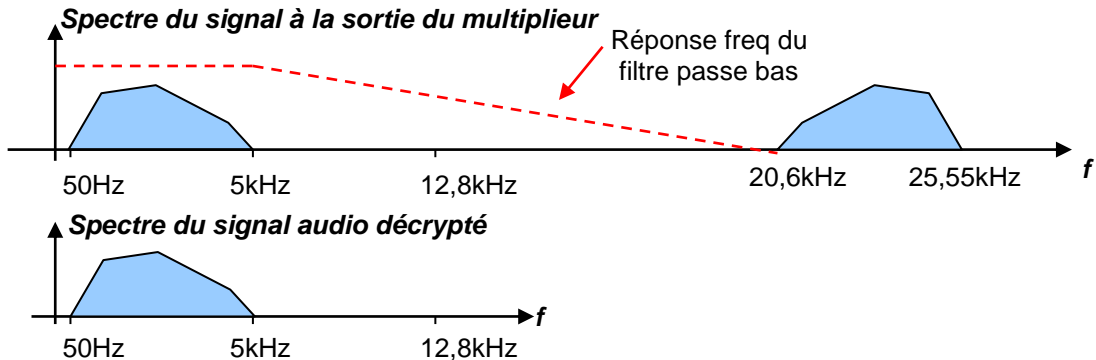
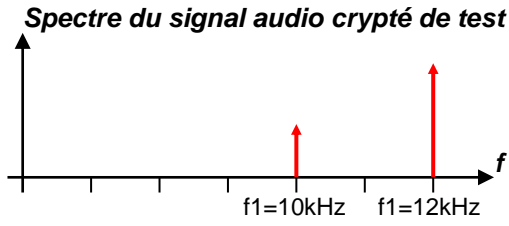


Figure 3 : Analyse fréquentielle de l'opération de décryptage

☐ Justifier le spectre du signal à la sortie du multiplieur et en s'inspirant de l'analyse fréquentielle précédente, tracer les spectres à la sortie du multiplieur et à la sortie du montage précédent lorsque le signal de test à l'entrée du décrypteur possède le contenu fréquentiel représenté sur le graphique suivant :



2) Conception du filtre passe bas

Le filtre passe bas se trouvant à la sortie du multiplieur doit laisser passer les composantes inférieures à 5kHz et atténuer suffisamment les composantes supérieures à 20,6kHz. On choisit de fixer l'atténuation à 40dB.

☐ Représenter le gabarit de ce filtre passe bas.

Pour la réalisation de ce filtre passe bas on vous laisse le choix de la fonction d'approximation (Butterworth ou Chebyshev) mais vous choisirez la solution « la plus confortable » à réaliser.

Pour déterminer l'ordre et effectuer le choix de la fonction d'approximation vous utiliserez le logiciel ou l'application en ligne proposé par votre enseignant. (Analog Filter Wizard, FilterCAD, ...)

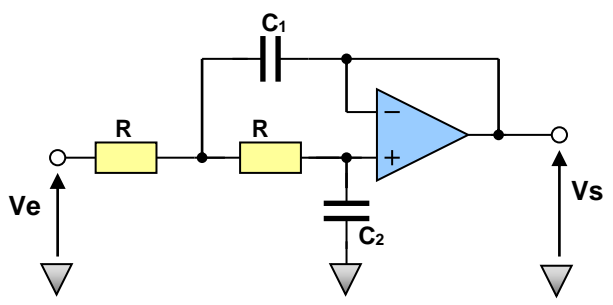
☐ Compléter alors les indications afin de répondre au cahier de charges fixées.

☐ La détermination de l'ordre correspond-elle aux abaques fournis pour les approximations de Butterworth et de Chebyshev ?

☐ Entre les 2 fonctions d'approximations précédentes, on choisit celle qui requiert l'ordre le moins élevé ou qui présente le moins de contrainte sur les valeurs des facteurs de qualité. Retrouvez les valeurs de Fo et Q pour les différentes cellules composant le filtre à réaliser.

Nous vous proposons donc d'implanter la réalisation de ce filtre en utilisant des cellules passe bas du 2nd ordre de type Sallen&Key ou de Rauch dont les schémas ainsi que les fonctions de transfert sont rappelés ci-dessous.

Le choix de la cellule dépend des modules mis à votre disposition sur votre table de manip.

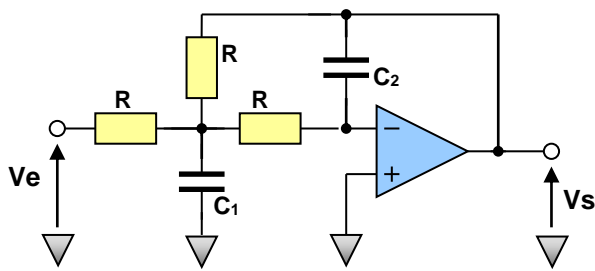


Fonction de transfert :

$$\frac{Vs(j\omega)}{Ve(j\omega)} = \frac{1}{1 + 2jRC_2\omega + (j\omega)^2 R^2 C_1 C_2}$$

Pulsation propre : $\omega_0 = \frac{1}{R \cdot \sqrt{C_1 C_2}}$

Coefficient d'amortissement : $m = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$



Fonction de transfert :

$$\frac{Vs(j\omega)}{Ve(j\omega)} = \frac{-1}{1 + 3RC_2(j\omega) + R^2C_1C_2(j\omega)^2}$$

$$\text{Pulsation propre : } \omega_0 = \frac{1}{R \cdot \sqrt{C_1C_2}}$$

$$\text{Coefficient d'amortissement : } m = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$$

❑ Proposer des valeurs de composants dans les séries normalisées (E12 pour les condensateurs et E24 pour les résistances) afin d'obtenir la solution de filtrage.

❑ Effectuer une vérification de vos choix en effectuant une simulation sous LTSpice et en utilisant les fichiers de simulation **verif_pbas_sallenkey.asc** ou **verif_pbas_rauch.asc**

3) Caractérisation du filtre passe bas

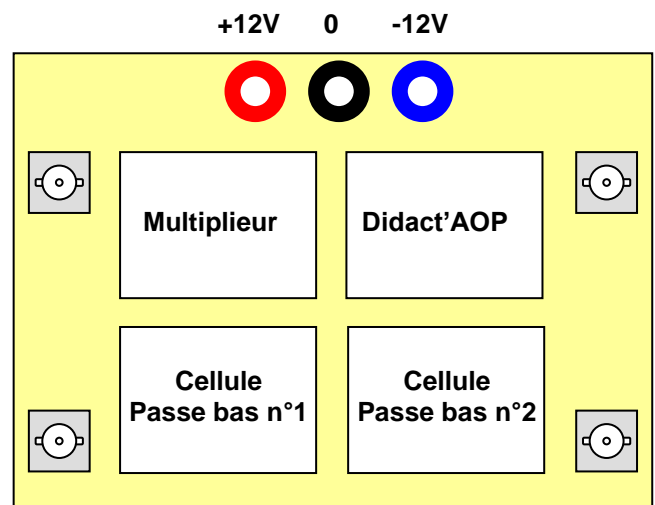
❑ Placer sur les modules dédiés, les résistances et condensateurs retenus dans la partie précédente.

Avant de caractériser le filtre dans sa version complète il est indispensable de vérifier le bon réglage de chaque cellule élémentaire.

❑ Proposer une méthode de mesure rapide permettant de caractériser chaque cellule passe bas du 2nd ordre (ou 1^{er} ordre) et mesurer ainsi les valeurs de f_0 et m (ou f_c).

❑ Sur un papier semi-log, dessiner le gabarit du filtre attendu et relever le diagramme de Bode uniquement en gain.

Votre relevé pratique s'inscrit-il dans le gabarit ?



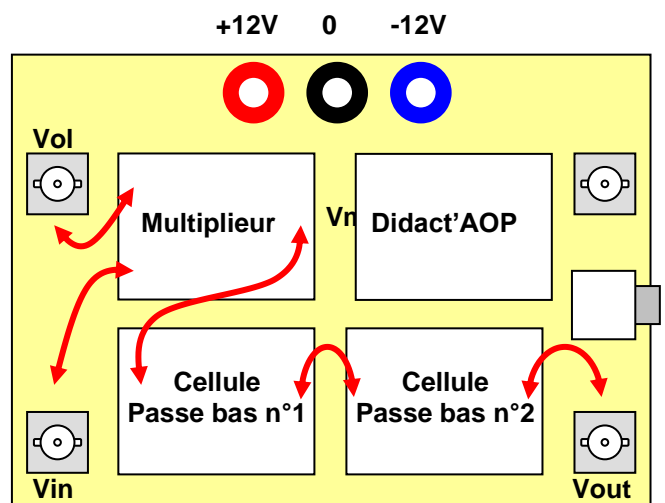
4) Mise en œuvre du décrypteur audio

Afin de valider le principe de fonctionnement du décrypteur audio, on vous propose dans cette partie d'effectuer la caractérisation du montage en effectuant l'analyse fréquentielle des signaux caractéristiques.

❑ Effectuer les liaisons nécessaires entre chaque module comme l'indique la figure représentée ci-contre

❑ On applique sur V_{in} un signal de test sinusoïdal de fréquence 10kHz et d'amplitude 2V. On applique sur V_{ol} un signal sinusoïdal de fréquence 12,8kHz et d'amplitude 8V.

❑ Relever et analyser la FFT du signal V_m et celle du signal V_{out} . Justifier alors les résultats obtenus.



❑ Afin d'adapter le niveau du signal en sortie de votre baladeur MP3 et afin de disposer d'une voie monophonique résultant de la somme voie gauche + voie droite, vous disposez d'un montage adaptateur à connecter sur l'entrée V_{in} . Pour écouter le résultat, connecter une enceinte amplifiée à la sortie de votre montage.

Il ne vous reste donc plus qu'à percer les mystères des fichiers audios !!!