

# Electronique analogique

## TPE EA3

### Filtre AOP-R-C

#### 1.0 Une petite introduction au traitement du signal...

Dans les systèmes électronique actuels, le signal est numérisé dès que possible afin de tirer parti des possibilités des processeurs numériques de traitement du signal (DSP). Cette numérisation implique la prise d'échantillons discrets suivie d'une conversion analogique vers numérique du signal. Il y a donc échantillonnage du signal à une fréquence  $F_s$ , ce qui se traduit dans le domaine fréquentiel par une répétition du spectre du signal ( $0..f_{max}$ ) autour de raies à la fréquence  $n \times F_s$  ( $n \geq 1$ ), ainsi qu'illustré par la figure 1a.

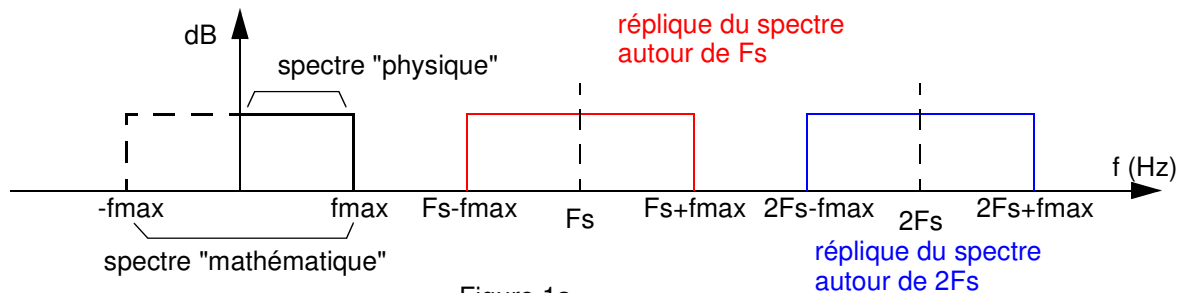


Figure 1a

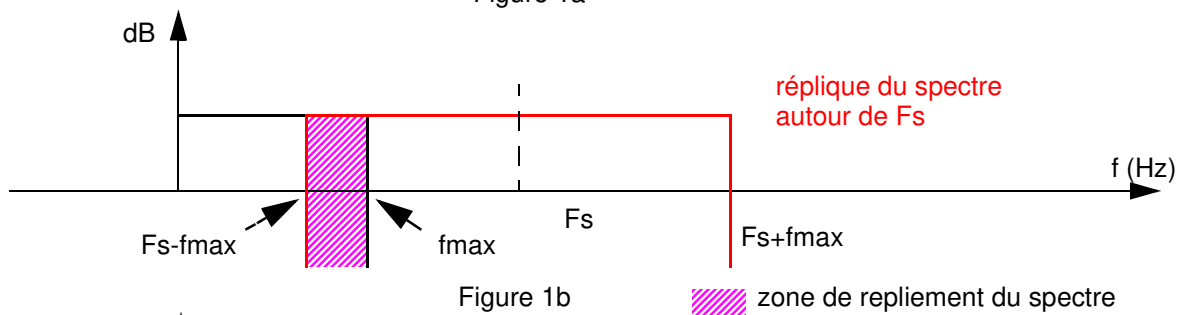


Figure 1b

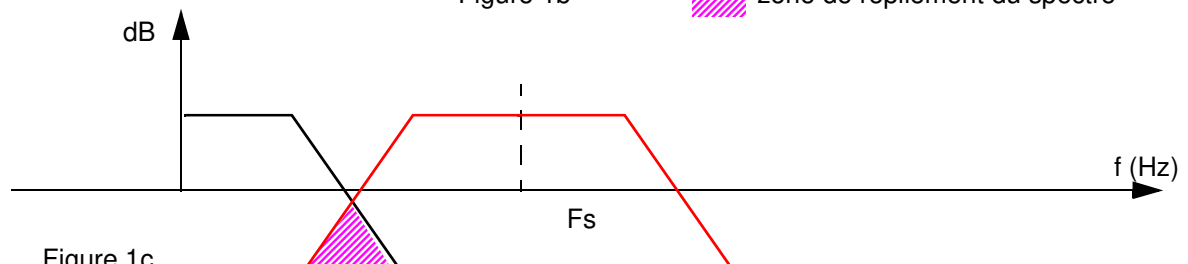


Figure 1c

Tant que  $F_s \geq 2 f_{\max}$ , il n'y a pas d'interpénétration entre le spectre répliqué autour de  $F_s$  et le spectre d'origine du signal: le théorème de Shannon est respecté. Dans le cas contraire (figure 1b), une partie du spectre répliqué autour de  $F_s$  se retrouve dans la bande de fréquence  $0 \dots f_{\max}$  qui est celle du signal original: c'est le phénomène de repliement de spectre. Il y a dans ce cas modification du spectre et donc modification du signal dans le domaine temporel (distorsion) et de son contenu en termes d'informations transportées. Cette situation n'est pas acceptable et nécessite la mise en place d'un filtre passe-bas anti-repliement avant échantillonnage, filtre dont le rôle est de laisser passer le signal "utile" et d'atténuer "suffisamment" toute composante spectrale susceptible de se replier dans la bande  $0 \dots f_{\max}$ , comme illustré figure 1c (remarque: le filtre anti-repliement **n'empêche pas** le repliement mais en **atténue les effets**).

En pratique, la bande passante du signal "utile" est généralement connue et l'on pourrait penser qu'il est aisé de respecter le théorème de Shannon et par là même de se passer du filtre anti-repliement. Cependant, il n'y a que peu de chances pour que le spectre du signal soit limité de façon abrupte comme représenté à la figure 1a. En effet, au signal se superposent divers parasites ainsi que des bruits générés par les circuits électroniques placés avant la numérisation, la bande passante du signal réellement présent est donc généralement plus importante que celle du signal "utile". De plus, la fréquence d'échantillonnage  $F_s$  ne peut être indéfiniment augmentée pour des raisons de difficultés de réalisation de l'échantillonnage ou de standard à respecter.

## 2.0 Cas d'étude: spécification du filtre

Le schéma bloc de la figure 2a présente la solution retenue pour le système à réaliser. La tension  $V_e$  est amplifiée de 40dB (bloc A) avant de passer par un filtre passe-bas (LPF) de gain 0dB en bande passante pour enfin arriver au convertisseur analogique-numérique (CAN) qui échantillonne et convertit la tension  $V_2$  au rythme de  $100 \cdot 10^3$  échantillons par seconde. La tension appliquée en  $V_e$  contient d'une part le signal désiré, d'amplitude crête comprise entre 10 et 50mV dans la bande de fréquence  $0 \dots 20\text{kHz}$  et d'autre part un signal parasite d'amplitude crête maximale 10mV dans la bande de fréquence  $80\text{kHz} \dots 100\text{kHz}$  (figure 2b).

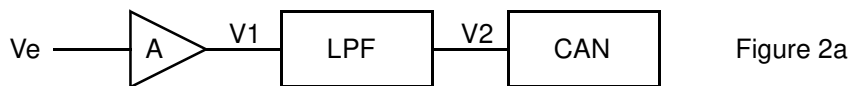


Figure 2a

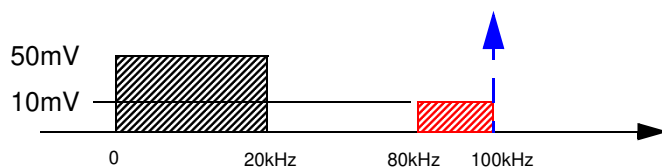


Figure 2b

a/ En supposant le filtre passe-bas absent, dessinez le spectre du signal après échantillonnage. Quel est le problème qui apparaît avec le signal parasite?

Détermination du gabarit du filtre:

b/ A quelle fréquence faut-il placer le début de la bande coupée? Quelle doit être l'atténuation à cette fréquence pour que l'amplitude du parasite après filtrage soit au plus de 4mV crête?

c/ A quelle fréquence faut-il placer la fin de la bande passante?

d/ A l'aide des résultats précédents, dessinez le gabarit du filtre sachant que l'atténuation du signal en bande passante doit être au plus de 1,5dB.

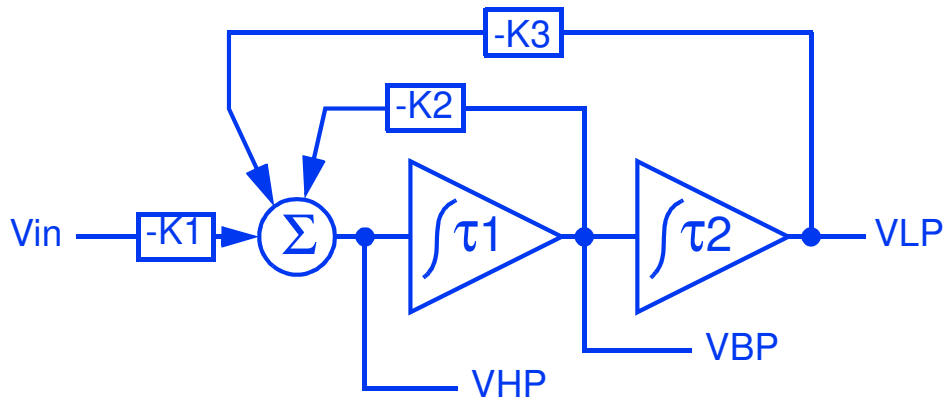
e/ Déterminez un polynôme répondant au gabarit précédemment défini.

---

### 3.0 Cas d'étude: réalisation du filtre

---

Le filtre va être réalisé à l'aide de cellules biquadratiques à variables d'état (c.f. le filtre "universel" du cours, chapitre EA5) dont le schéma de principe est rappelé ci-dessous:



Les équations des différentes fonctions de transfert sont détaillées dans le cours. On prendra comme hypothèse simplificatrice  $\tau_1 = \tau_2$  et  $K_3 = 1$ . Pour chacune des sections biquadratiques, déterminer:

- a/ La valeur de  $\omega_p$  et  $Q$ . En déduire les valeurs de  $\tau$ ,  $K_1$  et  $K_2$ .
- b/ La valeur réelle de  $\tau$  pour la valeur de  $f_c$  déterminée sur le gabarit.
- c/ Les valeurs des résistances et des capacités. On prendra les capacités dans la série E12 et les résistances dans la série E96 (table des valeurs disponible sur le campus numérique).