

TD n°2 - Électronique numérique

1 Traitement d'un signal numérique

On s'intéresse aux propriétés d'un signal numérique généré avec une carte d'acquisition SYSAM SP5 (12 bits).

1. Calculer le pas de quantification q de la carte sur le calibre $-10V/+10V$.
2. Tracer le plus précisément possible l'allure du signal $e(t) = 2,0 \cdot 10^{-2} \cdot \sin(1000\pi t)$ acquis par la carte avec $N = 10000$ points sur une durée $\Delta T_{tot} = 2,5s$. On ne représentera qu'une seule période.
3. Déterminer la fréquence d'échantillonnage f_e et la résolution spectrale Δf_{min} . Le critère de Shannon est-il respecté? Décrire l'allure du spectre obtenu par FFT à l'aide de la carte d'acquisition.
4. On souhaite maintenant prévoir numériquement l'action d'un filtre passe-haut d'ordre 1 de fréquence de coupure $f_c = 300 Hz$ sur le signal précédent. Démontrer la relation de récurrence à appliquer pour calculer le signal filtré $s(t)$.

2 Numérisation d'un signal analogique

On désire numériser le signal analogique suivant :

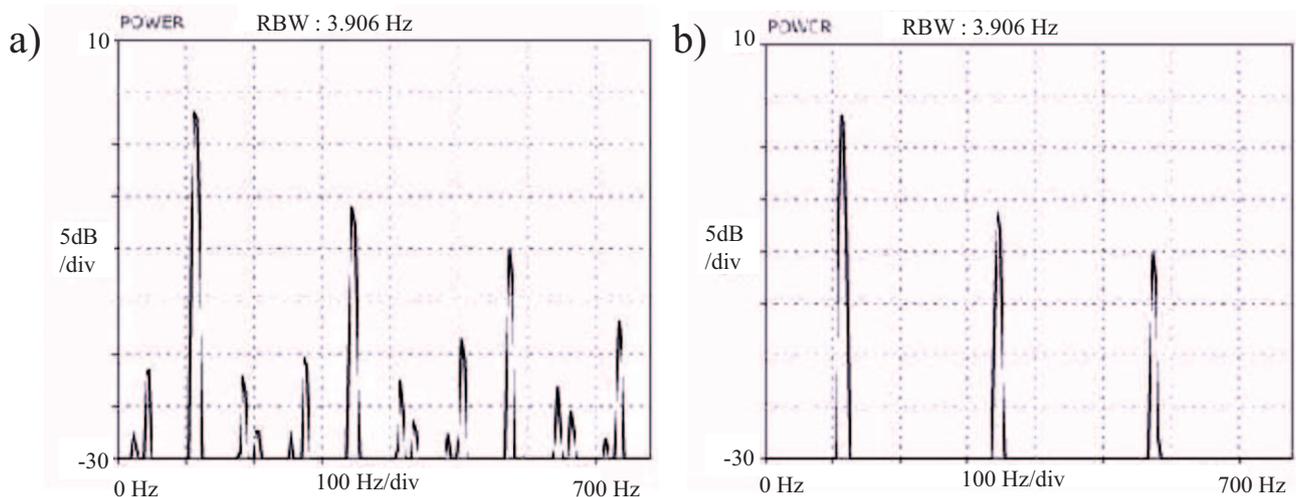
$$s(t) = s_0 \left[\cos(10\pi t) + \frac{1}{3}\cos(15\pi t) - \frac{1}{5}\sin(25\pi t) \right],$$

où t s'exprime en secondes.

1. Quelle doit être la valeur minimale $F_{e,min}$ de la fréquence d'échantillonnage pour que le signal soit correctement restitué?
2. On échantillonne le signal par niveaux de $0,5 V$. Combien de bits sont nécessaires pour coder chaque valeur numérique si $-5 V \leq s(t) \leq 5 V$?
3. Quelle doit être la taille minimale de la mémoire nécessaire à l'enregistrement de deux minutes du signal?
4. On souhaite récupérer la composante $\frac{s_0}{3}\cos(15\pi t)$. Proposer un filtre numérique qui pourrait convenir. On précisera la relation de récurrence utilisée, ainsi que les valeurs des paramètres.

3 Filtre anti-repliement (*)

1. Le signal de la figure (a) ci-dessous a été obtenu à partir d'un signal "créneaux" en entrée, à la sortie d'un analyseur de spectre fonctionnant avec une fréquence d'échantillonnage $f_e = 1600 \text{ Hz}$. Quel est la fréquence f_0 du signal créneau analysé? Quel phénomène se produit ici? A quoi est-il dû? A quoi correspond RBW? Combien de points ont été utilisés pour l'échantillonnage du signal?
2. Afin d'obtenir la figure (b), la fonction "filtre anti-repliement" ("anti-aliasing" en anglais) de l'analyseur a été utilisée. Comment peut-on réaliser cette opération en pratique?



4 CD et repliement de spectre (*)

Le but est de graver sur un CD une chanson issue d'un microphone dans un studio amateur d'enregistrement. Cependant, sur ce signal musical se superpose un bruit électronique parasite sinusoïdal à la fréquence $f_b = 42,1 \text{ kHz}$ sans que personne ne le remarque lors de l'enregistrement.

Donnée : Les spécifications de l'industrie du CD imposent une opération d'échantillonnage du signal à la fréquence $f_e = 44,1 \text{ kHz}$.

1. Pourquoi personne n'a-t-il remarqué ce bruit parasite lors de l'enregistrement?
2. Pourquoi l'industrie du CD a-t-elle choisi cette fréquence d'échantillonnage?
3. Sachant que l'échantillonnage se fait avec une résolution de 16 bits avec deux voies (gauche et droite) séparées en stéréo, calculer la taille minimale en mégaoctets (un octet correspond à 8 bits) du fichier musical, de durée $\Delta t = 74$ minutes à graver sur le CD. En réalité, les fichiers sont un peu plus lourds, pourquoi?
4. La condition de Nyquist-Shannon est-elle vérifiée sans le bruit parasite? Avec le bruit parasite?
5. Montrer que dans le spectre échantillonné au studio apparaît une fréquence audible. Est-elle gênante à l'oreille? Est-ce toujours le cas?
6. Afin de s'affranchir de ce problème, il faut soumettre le signal à échantillonner, juste avant cette opération, à un filtrage. Quel type de filtrage doit-on employer (passe-haut, passe-bas, passe bande...)? Comment a-t-on intérêt à choisir la fréquence de coupure? Comment s'appelle le filtre?
7. À partir de quelle valeur de la fréquence le filtre devrait-il entièrement bloquer le spectre? Jusqu'à quelle fréquence devrait-il le laisser passer sans aucune atténuation? Est-ce facilement compatible? Pourquoi les défauts qui apparaissent inmanquablement sont-ils néanmoins supportables?
8. Quelle amélioration pourrait-on imposer pour s'affranchir des difficultés mises en évidence dans cet exercice?
9. Par ailleurs, il est possible de compresser le signal pour l'enregistrer au format MP3. La fréquence d'échantillonnage et la quantification sont inchangées, mais un traitement numérique du signal repère

les redondances pour ne les écrire qu'une seule fois, et enlève les signaux peu audibles. Le taux de compression peut aller de 4 à 20. Quelle durée de musique peut-on alors enregistrer sur 700 Mo ?