

Numérisation d'une tension

Capacités exigibles

- Maîtriser, connaître et la condition de Shannon.
- Savoir interpréter/exploiter le spectre d'un signal échantillonné.
- Connaître l'utilité du filtre anti-repliement et savoir déterminer sa fréquence de coupure.
- Connaître et savoir utiliser la relation entre la résolution (nombre de bits) et le quantum d'un convertisseur analogique numérique (CAN).
- Savoir choisir un convertisseur analogique numérique (CAN) (résolution, pleine échelle, temps de conversion).
- Connaître la définition de la profondeur mémoire d'un système de numérisation..

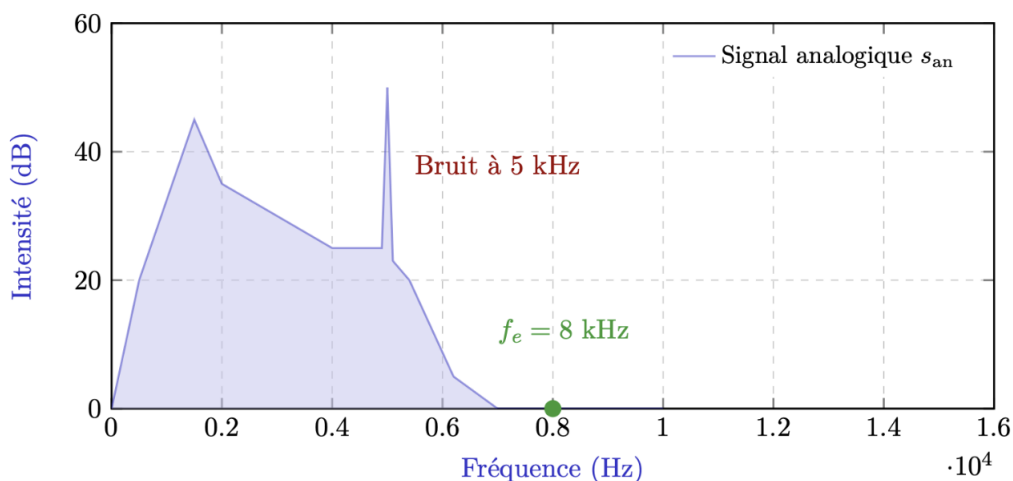
Niveaux

- ♥ À savoir refaire!
- ★ Niveau de base
- ★★ Niveau intermédiaire
- ★★★ Niveau avancé
- 📺 Correction sur Youtube

Exercice 1 Repliement... Ou pas!



On donne le spectre d'un signal analogique susceptible de transiter par téléphone. Ce signal a été parasité par un bruit haute fréquence à 5kHz . Le signal audio est échantillonné à la fréquence $f_e = 8,0\text{kHz}$.



Q1 Tracer le spectre du signal échantillonné sur le même graphique. Commenter le résultat obtenu.

Q2 Comment pourrait-on se débarrasser du pic parasite qui apparaît dans le signal échantillonné et rendre le spectre du signal échantillonné plus proche de celui du signal analogique.

Exercice 2 Echantillonnage simple



On échantillonne le signal analogique $s(t)$ avec une période d'échantillonnage de $T_E = 0,2 \mu s$:

Q1 Tracer en vert, sur la représentation temporelle, les valeurs échantillonnées du signal (la première valeur échantillonnée est à $t = 0 s$).

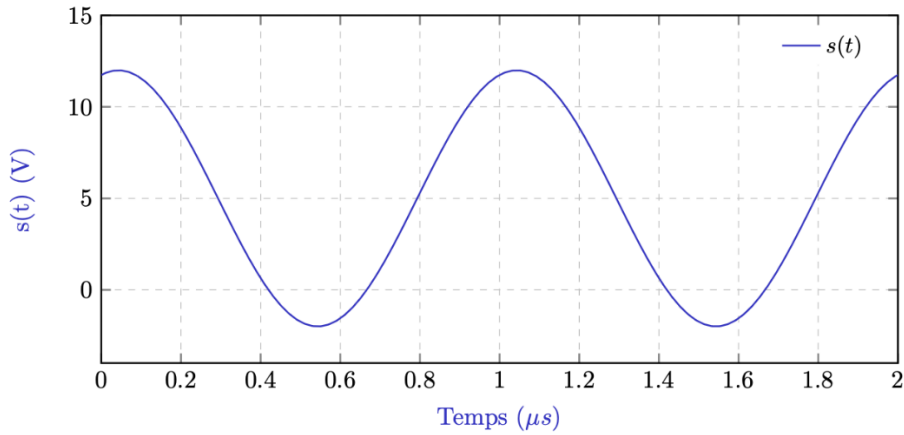


Figure 1 – Sinusoïde analogique $s(t)$

- Q2** Déterminer la valeur de la fréquence du signal f en Hertz.
- Q3** Déterminer la valeur de la fréquence d'échantillonnage f_E , dans la même unité.
- Q4** La condition de Shannon est-elle respectée ici ? Justifier.
- Q5** Sur le graphe ci-après, tracer en bleu le spectre du signal analogique $s(t)$.
- Q6** Sur le même graphe, tracer en rouge le spectre du signal échantillonné $s_e(t)$.



Figure 2 – Spectre du signal

- Q7** Déterminer la valeur de la profondeur de mémoire de ce système, notée N_{tot} .
A partir du signal échantillonné, on souhaite restituer le signal analogique :
- Q8** Quel type de filtre doit-on utiliser ? Proposer une valeur pour sa fréquence de coupure.

Exercice 3 Le filtre anti-repliement



On souhaite échantillonner le signal analogique nommé $s(t)$ dont le spectre est représenté ci-dessous :

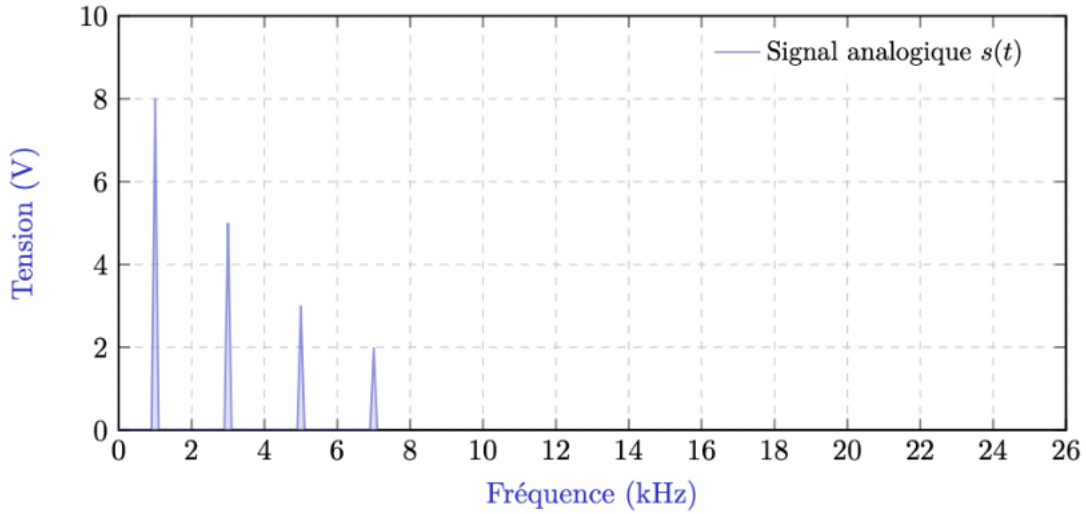


Figure 1 – Spectre du signal analogique sans filtre

On réalise un échantillonnage simple à la fréquence $f_E = 13 \text{ kHz}$.

Q1 La condition de Shannon est-elle respectée ici ? Justifier.

Q2 Sur le papier millimétré ci-dessus, tracer le spectre du signal échantillonné.

Q3 Quel(s) harmonique(s) du signal analogique doit-on éliminer ? Avec quel type de filtre peut-on l'éliminer ? Quelle doit-être sa fréquence de coupure ?

Avant l'échantillonneur, on place un filtre anti-repliement dont la fréquence de coupure est $f_c = 5,9 \text{ kHz}$.

Q4 Quel(s) harmonique(s) du signal analogique a-t-on éliminé ?

Q5 Le critère de Nyquist-Shannon est-il respecté ici ? Justifier.

Q6 Sur le papier millimétré ci-après, tracer le spectre du signal échantillonné.

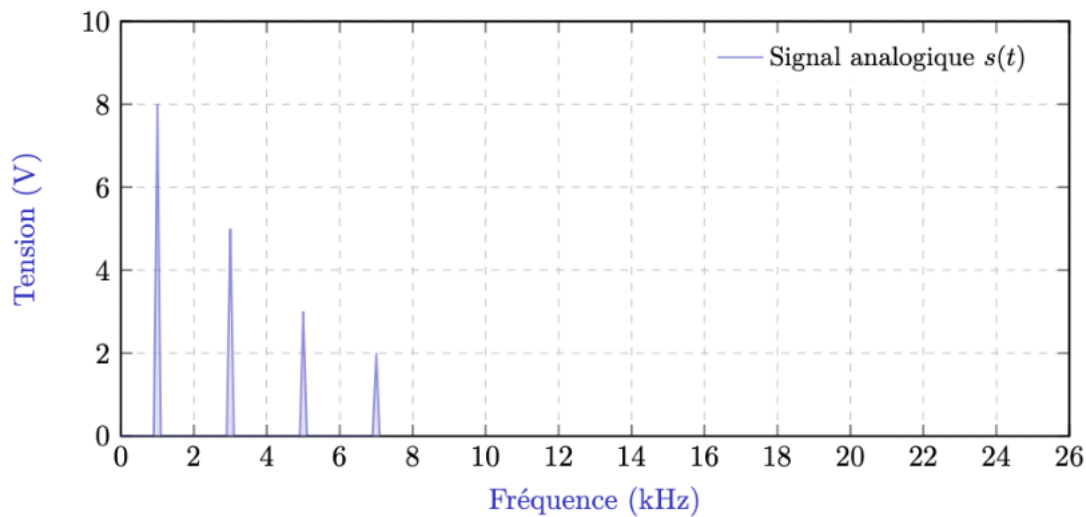


Figure 2 – Spectre du signal analogique avec filtre

Q7 Observons nous a présent le repliement du spectre ?

Exercice 4 Extrait brut : SNIR 2016



L'expression temporelle du signal analogique $v_f(t)$ est :

$$v_f(t) = 1,60 + 0,020 \times \cos(100\pi t)$$

L'échantillonneur prélève un échantillon toutes les $10,0\text{ms}$. L'échantillon est ensuite converti par un convertisseur analogique numérique sur 3 bits, avant d'être traité numériquement (figure 1).

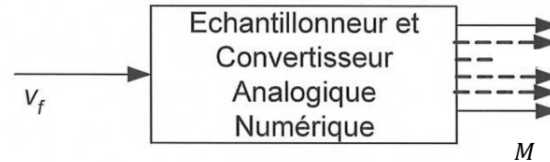


Figure 1

1. Calculer la fréquence d'échantillonnage en hertz, notée f_e .
2. Le signal $v_f(t)$ est-il échantillonné correctement ? Justifier en citant la condition utilisée.

La tension pleine échelle du CAN, notée V_{PE} , vaut $5,00\text{ V}$.

3. Déterminer la valeur du quantum q du CAN.
4. Déterminer la valeur décimale M lorsque $v_f = 3,40\text{ V}$.
5. En déduire le code binaire associé à cette valeur échantillonnée

Ce code est ensuite envoyé à l'entrée d'un CNA possédant les mêmes grandeurs caractéristiques que le CAN, en quantifiant par valeur inférieure.

6. En déduire la valeur quantifiée attribué à cet échantillon, sortant du CNA.
7. En déduire la valeur de l'erreur e due à la quantification.
8. Déterminer la valeur du rapport signal sur bruit en dB pour ce CAN, sachant que $SNR_{dB} \approx 1,8 + 6n$

Exercice 5 Choix d'un CAN



On souhaite numériser une tension variant de 0 V à $5,0\text{ V}$, qui a été échantillonnée à la fréquence $f_e = 50\text{ kHz}$. Pour cela, on dispose des convertisseurs analogique-numériques suivants :

| Référence | Résolution (bits) | T_c (μs) | Linéarité |
|------------|-------------------|-------------------------|------------|
| ADC08832IM | 8 | 4 | $\pm 0,2q$ |
| AD5240 | 12 | 5 | $\pm 0,5q$ |
| ADC0809 | 8 | 100 | $\pm 0,5q$ |

Q1 Quelle doit être la valeur maximale du temps de conversion T_{conv} ? Quels sont les CAN respectant cette condition ?

Q2 Calculer le pas de quantification des CAN choisis à la question 1.

Q3 Sachant que l'on souhaite la plus faible erreur de linéarité, en déduire le CAN à utiliser.

Q4 Déterminer la valeur décimale en sortie de ce CAN lorsque la tension d'entrée est de $1,9600\text{ V}$.

Exercice 6 Numérisation du signal de l'exercice 2


On numérise le signal analogique $s(t)$ avec une période d'échantillonnage de $T_E = 200 \text{ ns}$ et un CAN de 3 bits dont le calibre est de -5 V à 15 V .

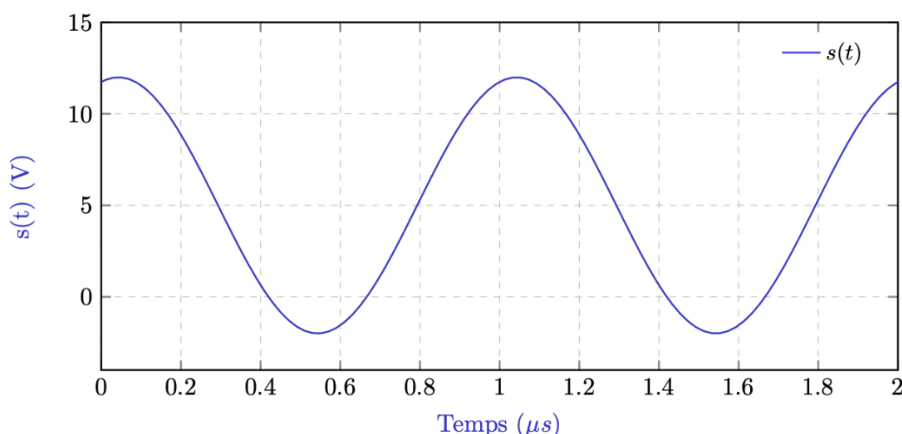


Figure 1 – Sinusoïde analogique $s(t)$

- Q1** Le choix du CAN est-il pertinent afin de numériser ce signal analogique ? Justifier votre réponse.
- Q2** Déterminer le code binaire sortant du CAN, pour un motif du signal analogique.

Exercice 7 Choix d'un CAN et d'un CNA


Sur un smartphone, le CAN d'entrée d'une carte son (partie acquisition) possède les caractéristiques suivantes : « gamme de 0 V à $5,12 \text{ V}$, 4 bits ». Pour restituer le signal aux enceintes, le CNA intégré au smartphone quantifie par valeur centrale. Pour simplifier notre raisonnement, on suppose que le signal d'entrée est triangulaire et alternatif.

- Q1** Quel sera le nombre binaire en sortie, correspondant à la valeur maximale de tension $5,12 \text{ V}$ en entrée de ce CAN ?
- Q2** Que vaut la tension pleine échelle $\Delta V_{\text{full scale}}$?
- Q3** Déterminer la valeur du pas de quantification, noté Δ , dont l'unité est le volt. Si la tension échantillonnée en entrée est de $4,00 \text{ V}$:
- Q4** Quel sera le nombre décimal en sortie du CAN ?
- Q5** Quel sera le nombre binaire correspondant ?
- Q6** À quelle valeur de tension quantifiée (en sortie du CNA), cela correspond-il ? Si la tension échantillonnée en entrée est de $2,50 \text{ V}$:
- Q7** Quel sera le nombre décimal en sortie du CAN ?
- Q8** Quel sera le nombre binaire correspondant ?
- Q9** À quelle valeur de tension quantifiée (en sortie du CNA), cela correspond-il ?