

TD E2

Numérisation

A. Vrai ou faux

1. Pour enregistrer un concert sur un CD, un équipement numérique permet de s'affranchir totalement des signaux analogiques.
2. Nous passons aujourd'hui au tout numérique car le signal numérique est parfait.
3. Une caméra (25 images par seconde) filme une voiture qui démarre, accélère, puis roule à vitesse constante. La roue semble d'abord tourner à l'endroit, puis finalement à l'envers à 2 tours par seconde. J'en déduis que la vitesse de rotation de la roue est de 23 tours par seconde.
4. Un signal sinusoïdal de 2 kHz est numérisé en vue d'une analyse spectrale. Une fréquence d'échantillonnage de 10 kHz convient.
5. Un signal créneau de 2 kHz est numérisé en vue d'une analyse spectrale. Une fréquence d'échantillonnage de 10 kHz convient.
6. Un signal contenant les fréquences de 2,5 kHz et 5 kHz est échantillonné à 9 kHz. Dans la bande 0-10 kHz, le spectre est alors composé des fréquences 2,5 kHz ; 4 kHz ; 5 kHz et 6,5 kHz.
7. Une analyse spectrale d'un signal périodique contenant les fréquences 100 Hz et 100 kHz est effectuée. Un échantillonnage à 500 kHz avec une acquisition de 1000 points peut convenir.
8. Un son musical correspondant à la note La3 (440 Hz) est échantillonné à 2 kHz. On gravit successivement les octaves (fréquence multipliée par 2 à chaque fois). On finira par entendre un son qui semble, après restitution, plus grave qu'à l'octave précédent.
9. Un filtre numérique pourra être modifié ultérieurement sans changer le moindre composant électronique.
10. La tension d'un signal s'étend de 0 à 5,12 V. Dans un CAN qui quantifie avec 8 bits, le pas de quantification (ou quantum) est de 0,64 V.

B. Téléphone

L'oreille humaine est capable d'entendre des sons dont les fréquences sont comprises entre 20 Hz et 20 kHz, mais, pour le téléphone, on limite le spectre du signal transmis à l'intervalle [20 Hz ; 3400 Hz] grâce à un filtre. Puis le signal est échantillonné avec une fréquence $f_e = 8$ kHz.

1. Pourquoi supprime-t-on les fréquences supérieures à 3400 Hz ?
2. Quelle doit-être la fréquence d'échantillonnage minimale pour transmettre une information correcte ? La fréquence d'échantillonnage choisie est-elle compatible ?
3. Quelles seront les fréquences présentes dans le spectre du signal échantillonné et audibles par les humains ?
4. Que faut-il ajouter au système pour transmettre uniquement les fréquences présentes dans le signal initial ?

C. Musique numérique

Nous cherchons à enregistrer un concert sur un CD audio, en format non compressé (WAV par exemple) afin de ne pas perdre en qualité. Le son est capté par un microphone (signal analogique), puis filtré par un passe-bas, et enfin échantillonné avec une fréquence f_e . La fréquence d'échantillonnage d'un CD audio est de $f_e = 44100$ Hz, et la quantification est faite sur 16 bits (chaque mesure est codée sur 16 bits).

1. Quelle est la gamme de fréquence audible? Quelle doit-être alors la fréquence d'échantillonnage minimale pour enregistrer tout le spectre audible? La fréquence $f_e = 44100$ Hz est-elle compatible?

On choisit tout d'abord de ne pas mettre le filtre passe-bas en amont du CAN. Un son est émis lors du concert : sa fréquence vaut $f = 43000$ Hz

2. Ce son est-il audible lors du concert? Que deviendra-t-il après échantillonnage? En quoi cela pose problème?
3. Expliquer en quoi l'ajout du filtre passe-bas en amont de l'échantillonneur peut résoudre ce problème. Estimer sa fréquence de coupure.

On cherche maintenant à calculer la durée d'enregistrement que peut contenir un CD audio enregistrable du commerce, soit 700 Mo.

4. Sachant que l'enregistrement s'effectue à $f_e = 44100$ Hz sur 16 bits d'échantillonnage, et que l'on enregistre en stéréo, donc 2 sons (2 signaux), de combien de bits a-t-on besoin pour enregistrer 1 seconde de concert?
5. Quelle durée de concert peut-on enregistrer sur le CD de 700 Mo? On rappelle que 1 octet vaut 8 bits.
6. 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 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?

D. Conversion numérique-analogique (CNA) • ○ ○

Afin d'écouter la musique d'un CD audio, on envoie la sortie numérique donnée par le lecteur CD (ou l'ordinateur) à l'entrée d'un haut-parleur. Le haut-parleur fonctionnant avec un signal analogique, un CNA 4 bits à résistances pondérées représenté ci-après (Figure 1) est utilisé. Il est constitué d'une tension E constante de référence, de 4 résistances notées R_n ($0 \leq n \leq 3$) de valeur $R_n = R/2^n$ et de 4 interrupteurs K_n .

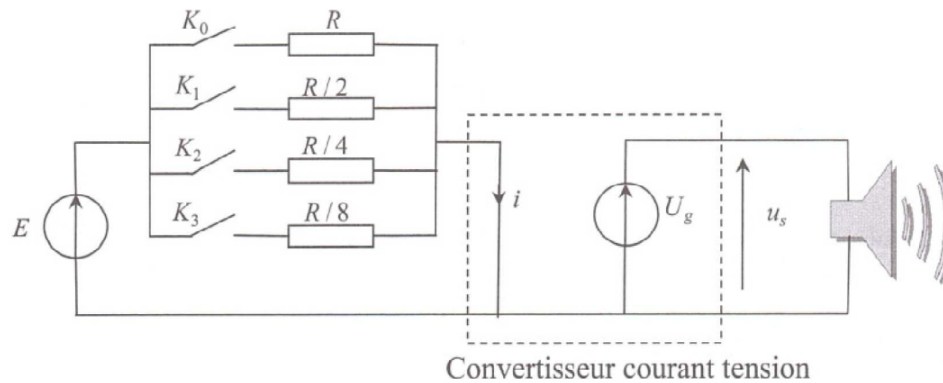


FIGURE 1 – Montage CNA

Un interrupteur ouvert est l'état 0 et un interrupteur fermé est l'état 1. Par exemple, 1011 signifie que :

$$K_0 = 1, K_1 = 1, K_2 = 0, K_3 = 1.$$

Un convertisseur courant-tension (bloc en pointillés) donne une tension U_g . On donne la caractéristique entrée-sortie du convertisseur (voir Figure 2) : il se comporte en sortie comme un générateur de tension parfait de f.e.m $U_g = R' \cdot i$ tant que la tension de saturation $V_{sat} = 15$ V n'est pas atteinte. Il sature à $V_{sat} = 15$ V si on lui demande une tension supérieure.

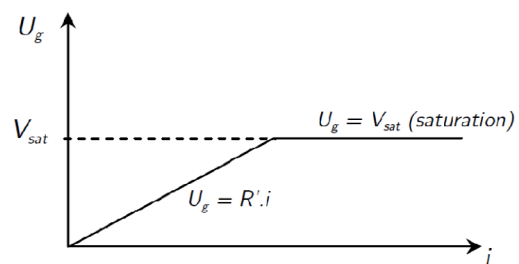


FIGURE 2 – Caractéristique $u_g(i)$

1. Déterminer l'intensité du courant circulant dans la résistance R_n en fonction de K_n , R et E . En déduire u_s en fonction des K_n , de R , R' et de E . Commenter le résultat obtenu.
2. Application numérique. On choisit dans un premier temps $R = R'$ et $E = 1V$. Calculer la valeur de la tension correspondant à 0000, 0001, 0010, 0011, 0100. Calculer également la tension de sortie maximale, correspondant à 1111. Commentaire ?
3. En réalité, le signal audio est enregistré sur un CD avec 16 bits. On place donc en parallèle 16 résistances de valeur $R_n = R/2^n$ ($0 \leq n \leq 15$). Calculer la valeur maximale correspondante (convertie en décimal), et en déduire la tension maximale demandée en sortie du montage. Quel problème cela pose-t-il ?
4. Pour remédier à ce problème, on décide de changer les valeurs de R , R' et E . Quelle condition doivent vérifier les composants pour que le convertisseur courant-tension ne soit jamais saturé ?

E. Paramétrages d'une acquisition numérique ••○

On souhaite réaliser l'échantillonnage d'un signal $s(t)$. Les paramètres de l'échantillonnage sont :

- N nombre de points,
 - f_e fréquence d'échantillonnage.
1. Que vaut la période d'échantillonnage et l'intervalle minimum entre deux raies pour $N = 1000$ et $f_e = 20$ kHz ? Comment s'applique le théorème de SHANNON dans ces conditions ? Comment diminuer l'intervalle minimum entre deux raies ? Comment échantillonner un signal de fréquence plus élevée ?
 2. On souhaite visualiser le spectre de Fourier d'un signal créneau d'amplitude 5 V et de fréquence 100 Hz. Proposer une valeur de N et de la fréquence d'échantillonnage.
 3. Sur la figure 3, on observe le spectre de Fourier d'un signal créneau avec $f_e = 900$ Hz. Interpréter. On rappelle que le signal rectangulaire ne possède que des harmoniques de rang impair dont l'amplitude décroît en $\frac{1}{n}$.

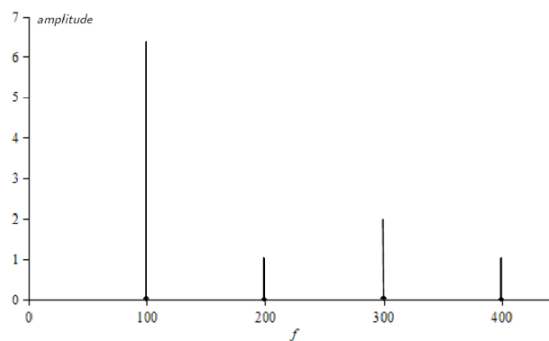


FIGURE 3 – Spectre d'un signal créneau numérisé

F. Filtrage numérique ••○

1. Rappeler la fonction de transfert d'un filtre passe-bas du premier ordre, en faisant apparaître la fréquence de coupure. En déduire l'équation différentielle reliant $s(t)$ et $e(t)$.
2. Dans le fichier .py fourni, implémenter la méthode d'Euler afin de déterminer la tension s , les valeurs de e étant déjà stockées dans une liste.
3. Tester le filtre avec différents signaux d'entrée et différentes fréquences de coupure.
4. Effectuer un travail similaire avec un filtre passe-haut.