TP 8 : Échantillonnage et critère de Shannon (thème électrocinétique)

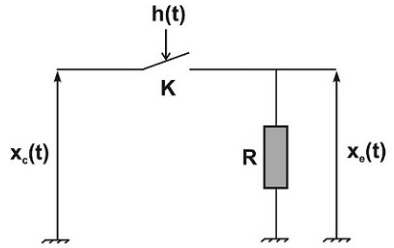
Nature et méthodes	Capacités exigibles
Électronique numérique	Réaliser l'échantillonnage d'un signal. Choisir la fréquence d'échantillonnage afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon. Commenter la structure du spectre du signal obtenu après échantillonnage. Mettre en évidence le phénomène de repliement de spectre au moyen d'un oscilloscope numérique ou d'un logiciel de calcul numérique.

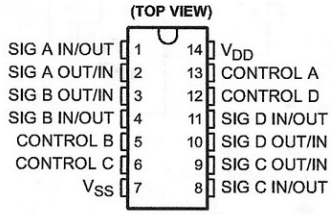
Vous enregistrez les oscillogrammes demandés en reliant l'oscilloscope à l'ordinateur et en utilisant le logiciel *OpenChoiceDesktop*. Vous pouvez éventuellement faire un compte-rendu numérique.

L'échantillonnage d'un signal analogique constitue bien souvent la première étape d'une chaîne de traitement numérique de l'information. Le but de ce TP est d'illustrer expérimentalement les principales particularités de ce processus au niveau temporel ainsi qu'au niveau fréquentiel.

1 Réalisation d'un échantillonneur et étude des signaux échantillonnés

On réalise un échantillonneur à l'aide d'un interrupteur K et d'une résistance R : K est fermé lors des instants d'échantillonnage et ouvert le reste du temps.





Dans ce TP, on utilisera un des quatre interrupteurs disponibles sur le circuit intégré CD4066B. Le brochage de celui-ci est donné sur la figure ci-dessus à droite :

- l'alimentation positive V_{DD} se situe en broche 14, elle sera fixée à 10 V ;
- l'alimentation négative V_{SS} se situe en broche 7, elle sera fixée à -10 V ;
- si on utilise l'interrupteur A, alors celui-ci se trouve entre les broches 1 et 2 ;
- son état (fermé ou ouvert) est contrôlé via la broche 13.

Dans tout le TP, le signal continu (ou analogique) $x_c(t)$ sera échantillonné avec une fréquence d'échantillonnage $F_e = 10$ kHz correspondant à la période d'échantillonnage $T_e = 1/F_e = 100$ µs. Pour cela l'état de l'interrupteur K sera contrôlé à partir du signal de commande $h(t)$ correspondant à un signal créneau :

- de valeur basse 0 V ;
- de valeur haute 10 V ;
- de fréquence 10 kHz ;
- et dont le rapport cyclique ("Dty Cyc" sur le GBF) est fixé 15% de sa période.

1.1 Réglage des signaux

- Réglez le premier GBF à disposition pour qu'il délivre le signal $h(t)$ et visualisez celui-ci à l'oscilloscope. On rappelle qu'il faut choisir un signal de type impulsion et non créneau pour avoir un rapport cyclique de 15%. Enregistrer l'oscillogramme.
- Réglez le deuxième GBF pour qu'il délivre un signal sinusoïdal de 5 V d'amplitude **crête-à-crête** et d'environ 450 Hz. Enregistrer l'oscillogramme.

1.2 Utilisation de l'échantillonneur-bloqueur

Le composant CD4066B étant fragile, le circuit sera préparé mais non alimenté, puis vérifié par l'enseignant.

- Mettre hors tension les deux GBF en dé-sélectionnant *OUTPUT*. Positionner le circuit CD4066B à cheval sur la rainure centrale de la plaque d'essai en plaçant à gauche l'encoche présente sur le dessus de la puce. Effectuer le câblage de l'échantillonneur avec l'interrupteur A du circuit CD4066B et $R = 10$ kΩ. Préparer l'oscilloscope de manière à visualiser $x_c(t)$ (issu du GBF délivrant une tension sinusoïdale) sur la voie 1 et $x_e(t)$, le signal échantillonné (broche 13) sur la voie 2.

  Câbler l'alimentation +10 V/-10 V en respectant le code couleur, mais sans la mettre en marche.

  Faire contrôler votre montage par l'encadrant qui le mettra sous tension.

- Observer les signaux $x_c(t)$ et $x_e(t)$. Enregistrer l'oscillogramme et commenter.
- Observer et enregistrer l'oscillogramme pour un signal continu $x_c(t)$ de forme triangulaire, puis rectangulaire. Commenter.

1.3 Analyse de Fourier

On souhaite dans la suite faire l'étude spectrale du signal échantillonné. De par son affichage logarithmique des spectres, l'oscilloscope n'est pas parfaitement adapté à cette étude : les raies de faible amplitude y apparaissent de manière trop significative. Les calculs de transformée de Fourier seront faits à l'aide de commandes Python via le JupyterNotebook.

Dans le cours, nous avons montré que lorsqu'un signal sinusoïdal de fréquence f est échantillonné avec une fréquence d'échantillonnage F_e alors le spectre du signal échantillonné est constitué de raies aux fréquences : f, $F_e \pm f$, $2F_e \pm f$, etc.

- On reprend un signal continu $x_c(t)$ de forme sinusoïdale et de fréquence 450 Hz. Affichez une vingtaine de périodes sur l'écran de votre oscilloscope et importez sur votre PC le signal échantillonné en suivant le protocole suivant :
  - dans le logiciel *OpenChoiceDesktop*, afficher les données après avoir sélectionné **uniquement** la voie correspondant à $x_e(t)$;
  - enregistrer les données dans un fichier texte (.txt) en cliquant sur "enregistrer sous" dans le même répertoire où se trouve le JupyterNotebook ;
  - ouvrir le fichier texte correspondant ;
  - repérer la période d'échantillonnage de l'oscilloscope ("Sample Interval") et la noter ;

    Dans toute la suite du TP, on gardera cette même période d'échantillonnage, i.e. la même base de temps sur l'oscilloscope, lorsqu'on souhaitera enregistrer les données à traiter numériquement.
  - supprimer l'entête et remplacer les virgules par des points ;
  - fermer le fichier en enregistrant les modifications.
- Compléter le JupyterNotebook afin de tracer le spectre du signal échantillonné. Commenter.
- Reprendre la procédure pour des signaux $x_c(t)$ sinusoïdaux de différentes fréquences. On prendra notamment les cas $f \approx F_e/2$ et $f > F_e/2$. Commenter les spectres obtenus. Retrouver, pour les signaux sinusoïdaux, la condition de Nyquist-Shannon énoncée dans le cours.
- Faire, dans les mêmes conditions que précédemment (même base de temps sur l'oscilloscope notamment), les acquisitions des signaux échantillonnés correspondant à des signaux créneau et triangulaire de fréquence 450 Hz. Commenter. Rappeler, pour des signaux quelconques, la condition de Nyquist-Shannon.

2 Réalisation d'un échantillonneur-bloqueur et étude des signaux échantillonnés-bloqués

On obtient un échantillonneur-bloqueur en remplaçant la résistance R par un condensateur C. On notera dans la suite $x_{eb}(t)$ le signal échantillonné-bloqué correspondant au signal continu $x_c(t)$.

- Réaliser un échantillonneur-bloqueur en utilisant le condensateur à disposition de capacité $C = 4{,}7\,\text{nF}$. Enregistrer l'oscillogramme dans le cas où x_c est un signal sinusoïdal, triangulaire ou rectangulaire, en observant 2 périodes environ. On utilisera le bouton "Run/Stop" pour figer les courbes. Quel est l'intérêt du blocage sachant que, dans une chaîne de traitement numérique de l'information, l'échantillonneur est suivi par un convertisseur analogique numérique.
- Les signaux échantillonnés-bloqués présentent un certain retard par rapport au signal continu initial $x_c(t)$ dont il faut tenir compte dans certaines applications (correction numérique des systèmes avec une faible fréquence d'échantillonnage). Sans faire de mesure particulière, donner la valeur de ce retard.
- On reprend ici un signal continu à échantillonner $x_c(t)$ un signal sinusoïdal d'amplitude environ 5 V et de fréquence environ 450 Hz. Affichez une vingtaine de périodes sur l'écran de votre oscilloscope (reprendre la même base de temps que précédemment) et importez sur votre PC le signal échantillonné-bloqué. En reprenant les codes précédents, tracer le chronogramme et le spectre du signal échantillonné-bloqué. Comparer les spectres de $x_{eb}(t)$ et de $x_b(t)$. Conclure sur l'effet/le rôle du bloqueur.
- Régler le rapport cyclique du signal $h(t)$ délivré par le GBF à 5%. Visualiser les signaux $x_c(t)$ et $x_{eb}(t)$ en synchronisant l'oscilloscope sur le signal échantillonné-bloqué. Augmenter la fréquence du signal $x_c(t)$ à environ 10,5 kHz. Enregistrer l'oscillogramme. Expliquer l'allure du signal échantillonné-bloqué.

3 Application à l'échantillonnage des signaux vocaux et audios

Remplacer le GBF analogique par la sortie du lecteur MP3 à disposition. Câbler un montage suiveur (dont vous vérifierez au préalable le bon fonctionnement) que vous intercalerez entre votre échantillonneur-bloqueur et le haut-parleur à disposition. Visualiser à l'oscilloscope les signaux $x_c(t)$ et $x_{eb}(t)$ et écouter le son correspondant à $x_{eb}(t)$ pour trois fréquences d'échantillonnage : 2 kHz, 8 kHz et 16 kHz. Commenter.

Dans le cadre de la téléphonie mobile, la fréquence d'échantillonnage est fixée à 8 kHz. Commenter.