

LP 21 - Acquisition et traitement de données

Lise Boutenègre, Raphael Rullan

| Élément imposé – Manipulation : illustration du repliement spectral

Introduction Pédagogique

| Niveau : L2

Pré-requis

- Notions sur les signaux **Terminale**
- Notions d'électronique **Terminale**
- Compréhension d'un système électrique - notion de filtre **L2**
- Notion mathématiques : séries de Fourier, trigonométrie. **L2**
- Utilisation de l'oscilloscope et de logiciels de mesures : Regressi, Latis Pro. **Terminale**

Difficultés

- Faire le lien entre l'aspect théorique d'un signal et sa signification physique.
- Utilisation des outils à la fois mathématiques et électriques pour reproduire les résultats.

Applications

- **TP** : Mesure de la période d'un pendule simple.
- **TD** : Activité documentaire sur le son.

Source – *J'intègre*, Physique tout-en-un MP/MP* ; *Bréal*, agrégation de sciences physiques : expériences d'électronique ; capes de sciences physiques : expériences de physique, E-learning Physique. Techniques de l'ingénieur R400 V1 Capteurs, Définitions principes de détection

Introduction pédagogique

Cette leçon intitulée acquisition et traitement de données ayant comme élément imposé une manipulation permettant l'illustration du repliement spectral. Elle se place en fin de cycle de L2 et est reliée ici à différents TP. Nous faisons le choix ici de nous intéresser particulièrement à la partie traitement de données, la partie acquisition ayant été déjà largement abordée/ ou qui sera largement abordé durant le TP sur le pendule simple.

J'ai également choisi de construire ce cours autour de la manipulation afin de reconstruire avec les élèves le trajet de l'information depuis une source jusqu'à l'utilisation des données. Cette façon de construire le cours permettra je pense de pallier à certaines difficultés que j'ai pu repérer sur cette notion. La première difficulté est de se figurer le lien entre l'aspect théorique et l'aspect physique d'un signal, où même la réalité de ce signal dans le réseau.

L'aspect théorique sera ici principalement abordé qualitativement et l'aspect théorique sera traité plus en détail sur des cas plus simples, notamment dans l'activité documentaire prévue sur le son. Les notions mathématiques peuvent également poser problèmes.

Ainsi, les pré requis nécessaires pour cette leçon vont être des notions sur les signaux en général, abordés généralement dès la terminale, ainsi que les notions d'électroniques vues. Nous ferons également appel à des connaissances plus récentes, celles sur les différents filtres et leur utilisation dans les circuits. Finalement, il sera aussi nécessaire d'avoir vu les transformées de Fourier pour pouvoir comprendre les différents traitements mathématiques.

Introduction

Bonjour à tous et à toutes. Si je devais vous poser la question de comment est-ce que vous ressentez la pression, la température, les images en général? Vous me répondriez probablement que tout cela est perçu de manière continue. Nous pouvons en première approximation dire que nous vivons dans un monde analogique. A l'inverse, les ordinateurs sont considérés comme étant un monde numérique.

Définition – Analogique : Qualifie un signal ou une grandeur pouvant prendre n'importe quelle valeur dans un intervalle de façon continue.

Définition – Numérique : Qualifie un signal ou une grandeur ne pouvant prendre que des valeurs discrètes

Ces deux définitions seront particulièrement importantes pour la suite. Maintenant qu'on a défini ça je voudrais attirer votre oeil sur un problème : (montrer vidéo de roue de voiture).

On voit qu'on a un problème pour faire le lien entre les deux types de grandeur et ce problème pose la question de l'échantillonnage. Ce problème constituera le coeur de ce cours.

Pour étudier cela nous allons construire pas à pas un circuit nous permettant de voir ces problèmes. Néanmoins, tout d'abord il est nécessaire d'acquérir un signal.

1 Acquisition d'un signal

Il existe un grand nombre de différents types de signaux et différentes façon de les acquérir. Ici, dans le cadre de ce montage on va s'intéresser à un signal sonore. Nous allons utiliser un diapason qui va émettre une onde sonore. (On tape sur le diapason). Pour récupérer ce son, on va avoir besoin d'un capteur.

Définition – Capteur : Dispositif qui, en extrayant une petite partie de l'énergie associée à une grandeur physique et en la convertissant sous une autre forme, fournit un signal qui véhicule une information sur la grandeur tout en la perturbant le moins possible. Les capteurs sont la base des instruments de mesure, le signal est interprété quantitativement pour estimer la grandeur initiale. On préfère parfois conserver le terme capteur pour des dispositifs fournissant le signal sous forme électrique.

Définition – Récepteur : Dispositif permettant de convertir une partie de l'énergie d'une onde incidente sous la forme d'un signal électrique. Couplé à un émetteur effectuant l'inverse, ce dispositif permet d'utiliser cette onde pour transmettre de l'information.

Dans notre cas, on utilise plus un récepteur aux sons. Le principe à l'intérieur est l'utilisation d'un cristal piézoélectrique. C'est un cristal dont la déformation est proportionnelle à la tension appliquée et inversement. C'est ce qui permet à partir d'un son incident de le transformer en une tension incidente. Ce phénomène est décrit dans techniques de l'ingénieur.

Définition – Piézoélectricité : L'effet piézoélectrique est la particularité que possèdent certains matériaux (quartz, céramique ou autre) de se polariser électriquement lorsqu'ils sont soumis à des contraintes mécaniques convenablement orientées par rapport aux axes cristallographiques.

La quantité d'électricité apparaissant en surface du cristal peut s'écrire :

$$q = KF \quad (1)$$

Avec F la contrainte mécanique et K le module piézoélectrique. On peut changer les modules des d'une céramique ou d'un quartz en changeant sa forme, composition, état. On utilise la résonance. Pour des infos sur les céramiques et le quartz on utilise les techniques de l'ingénieur.

2 Transformation d'un signal analogique en signal numérique

1 Échantillonnage

Définition – Échantillonnage : consiste à prélever les valeurs du signal $s(t)$ étudié à des instants régulièrement espacés, de la forme $t_k = kT_e$ où k appartient à l'intervalle $0, N-1$ où N est le nombre de point d'acquisition.

Le signal de départ est formé par un générateur basse fréquence qui produit un signal continu de fréquence et amplitude choisie. On choisit ici $f = \text{Hz}$ et $A = \text{V}$. La forme du signal généré peut être choisie également. Pour des raisons de praticité, on choisit un signal sinusoïdal.

Prenons l'exemple d'un cas simple. Soit un signal continu appelé $s(t)$. Celui-ci est sous la forme :

$$s(t) = A \cos(\omega t) \quad (2)$$

On applique pour cela, une fonction dite de peigne $p(t)$ de la forme :

$$p(t) = dk \cos(k\omega_e t + \Phi t) \quad (3)$$

Ainsi, la fonction correspondant à cette multiplication est une fonction $s_E(t)$ de la forme (mettre au tableau les spectres) :

$$s_E(t) = \frac{A \times dk}{2} (\cos((w + k\omega_e)t + \Phi k) + \cos((w - k\omega_e)t + \Phi k)) \quad (4)$$

On peut alors parler d'un signal échantillonné. Celui-ci est caractérisé par la **période d'échantillonnage** et qui est relié à la **fréquence d'échantillonnage** par la relation $f_e = \frac{1}{T_e}$ en Hz.

En passant ensuite à la transformée de Fourier que vous avez probablement déjà vu en mathématiques, on voit qu'on fait apparaître deux raies, à des fréquences $f_e - f$ et $f + f_e$.

On voit apparaître ici le noeud du problème. Si on passe à des cas plus compliqués ... (voir tableau). Observation sur l'oscillo. Avec les valeurs (en respectant le critère de Shannon). On note f et f_e .

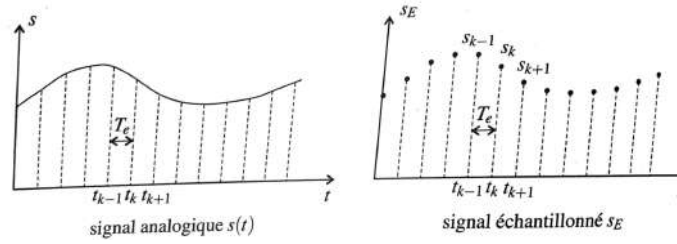


Figure 1 – Signal analogique (gauche) vs signal échantillonné s_E (droite).

2 Numérisation

Définition – Quantification du signal : discrétisation des valeurs prises.

Prenons un peu de temps ici pour discuter du passage d'un signal analogique à un signal numérique. On passe d'un codage en tension, à un codage en 0 et 1. Le codage dépend du nombre de bits utilisés. Ici on utilise une carte d'acquisition 16 bits qui peut donc prendre 4096 valeurs. (Petit schéma explicatif). Petit point dessus pour mettre les idées au clair. Lors de l'acquisition, toutes les valeurs ne peuvent pas être prises. l'écart entre deux valeurs, appelé pas de quantification dépendra en fait de l'amplitude du signal. On a :

$$p = \frac{Amp}{2^n} \quad (5)$$

Avec n le nombre de bits de la carte d'acquisition et Amp l'amplitude du signal.

3 Avantage d'un signal numérique

Utiliser un signal numérique est quelque chose qui peut être très utile. Un des énormes avantages va être le gain sur le bruit et les petites perturbations.

Définition – Bruit : On appelle bruit ou bruit de fond toute composante non désirée affectant le signal de sortie. Il peut être intrinsèque au circuit ou venir de perturbations extérieures.

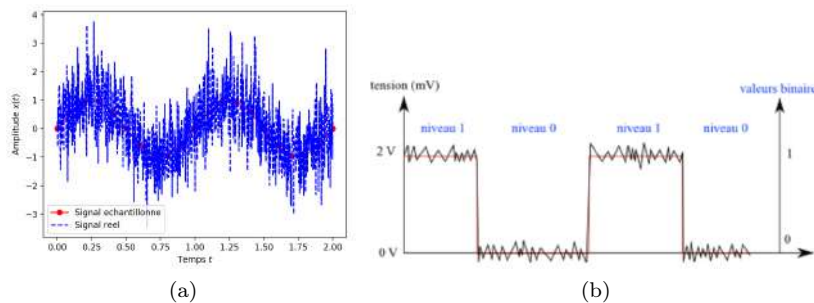


Figure 2 – bruit analogique vs bruit numérique

Un des gros avantages du passage au numérique est la faible importance des petites perturbations pour ce type de signal. Tant que la perturbation ne change pas le niveau : 0 ou 1 alors le signal numérique peut être transmis sans perte du signal, il ne va pas être dégradé au cours du temps. Ce type d'encodage le rend également plus flexible pour réaliser des applications mathématiques.

3 Influence de l'échantillonnage sur le spectre

1 Le critère de Nyquist-Shannon

A partir de là sur le montage. Expliquer le montage et le problème de la résistance. Détermination de la contrainte liée à la résistance du système. On se trouve coincé entre les deux. Après une étude de charge du condensateur, on a déterminé que la période max était de $10\mu s$ soit 100 kHz ce qui n'est pas problématique pour nous.

Ce dernier point abordé fait apparaître une condition sur l'échantillonnage. Cette condition s'appelle la condition de Nyquist-Shannon qui dit que :

Définition – Condition de Nyquist-Shannon : pour que l'échantillonnage d'un signal ne modifie pas son spectre, il faut que la fréquence d'échantillonnage soit supérieure au double de la plus grande fréquence f_{max} contenue dans ce spectre

$$f_e > 2 \times f_{max} \quad (6)$$

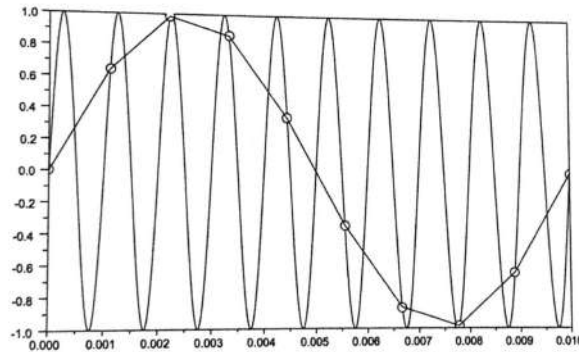


Figure 3 – Exemple de sous-échantillonnage

On peut le voir de deux façons différentes. Une approche disons avec les mains. Si on prend moins de deux points par période, il va être difficile de reconstituer la forme du signal (montrer le diapo). Un autre problème lié à ça va être directement lié à ce que nous avons vu. Si le critère n'est pas respecté alors on peut avoir une fréquence apparente qui apparaît avant le signal d'intérêt. C'est le repliement spectral.

2 Le repliement spectral

2.1 L'effet

Définition – Repliement du spectre : Dans le spectre du signal échantillonné s_E , il y a pour chaque fréquence f existant dans le spectre du signal réel s une raie supplémentaire de même amplitude à la fréquence $f_e - f$. Ce phénomène porte le nom de repliement du spectre

Reprendre le spectre au tableau et le montrer avec un papier.

On voit ici, qu'on peut avoir des fréquences négatives et on peut alors expliquer le phénomène observé dans la vidéo de départ et de pourquoi on voit parfois les roues des voitures rouler à l'envers sur l'autoroute.

2.2 L'effet de repliement dans la vie de tous les jours

Une répercussion de ce problème va être liée à l'industrie musicale et l'enregistrement. Fréquence sonore audible entre 2000 Hz et 20000kHz. Il faudrait alors échantillonner à 40000Hz mais c'est de la théorie. Pour limiter l'effet, utilisation d'un filtre passe bas avec une f_c de 20000 kHz, néanmoins avoir un filtre parfait n'est pas possible donc on pourrait avoir un peu de repliement, ce qui polluerait le spectre et la musique. Ainsi, on échantillonne à une plus grande fréquence 44,1 kHz.

2.3 Mise en place d'une stratégie pour limiter l'effet

Nous allons essayer de mettre en place cette solution avec un filtre simple RC. Elle fait appel à des notions que vous avez déjà vues et fait le lien entre le précédent cours et celui-ci. On prend une résistance à 10 k Ω et un condensateur à 10 nF. et on essaye d'observer Observation de la disparition des bandes.

Pour avoir un signal échantillonné de bonne qualité, il semble assez logique d'essayer de diminuer au maximum, la période d'échantillonnage donc avoir une fréquence assez importante. Attention, c'est souvent un compromis à faire. La qualité du signal s'oppose au temps d'acquisition et de traitement.

4 Conclusion

Schéma explicatif du circuit avec les différentes étapes. Reprise de la méthode si l y a le temps. Et ouverture sur les prochaines activités.