

TP ELEC 4 : Echantillonnage d'un signal et critère de Shannon

Objectifs :

- Voir l'effet d'un CAN sur un signal analogique
- Mettre en évidence le phénomène de repliement.
- Réaliser à l'aide d'une carte d'acquisition ou d'un oscilloscope une acquisition respectant le critère de Nyquist-Shannon.
- Observer et optimiser la résolution spectrale.
- Observer les caractéristiques de la quantification du signal analogique

Compétences et capacités au programme :

Notions et contenus	Capacités exigibles
Analyse spectrale	<ul style="list-style-type: none"> ✍ Mettre en évidence le phénomène de repliement du spectre provoqué par l'échantillonnage avec un oscilloscope numérique ou une carte d'acquisition. ✍ Choisir les paramètres d'une acquisition numérique destinée à une analyse spectrale afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon, tout en optimisant la résolution spectrale.

I. Acquisition d'un signal à l'aide d'une carte d'acquisition : Conversion Analogique Numérique (CAN) ; Numérisation d'un signal sinusoïdal

La carte Sysam est constituée de quatre CAN de calibre 5V et de fréquence d'échantillonnage réglable (mais toujours inférieure à 10 MHz. Elle comporte aussi un CNA échantillonnant à 5 MHz. Les signaux numérisés seront visualisés sur l'ordinateur grâce au logiciel LatisPro, qui permet également de piloter la carte d'acquisition. Il est possible de régler séparément le nombre d'échantillons, la période d'échantillonnage et la durée d'acquisition.

Le signal numérique est envoyé de la carte à l'ordinateur via le câble USB. L'ensemble des propriétés de la carte sont données sur le document fourni en annexe.

Le logiciel Latis-pro est un logiciel qui permet de **paramétrer** et **piloter** la carte Sysam

SP5 utilisée pour la CAN mais également de **traiter** les signaux obtenus.

▪ Branchement

Attention : la carte d'acquisition Sysam SP5 ne supporte pas les tensions d'amplitudes supérieures à 10 V. Vérifier toujours à l'oscilloscope que les tensions à acquérir respectent bien cette condition.

Le boîtier d'interface permet d'acquérir jusqu'à 8 tensions analogiques (entre les entrées EA0 à EA7 et la masse notée GND , cette carte peut être vue comme un oscilloscope numérique à 8 voies d'entrée, cf. annexe).

✍ Générer à l'aide du GBF un signal sinusoïdal $e(t)$ de fréquence $f = 1$ kHz et d'amplitude 2 V. Le visualiser sur l'oscilloscope. Envoyer en parallèle ce signal $e(t)$ sur l'entrée EA0 de la carte SYSAM (attention à bien brancher la masse du GBF sur la carte SYSAM !) (remarque importante : on conservera toujours en parallèle, autant que possible, la visualisation du signal à l'oscilloscope).

▪ Affectation d'une voie d'acquisition et paramétrage de l'acquisition

✍ Ouvrir le logiciel Latis-pro. Activer les voies que vous souhaitez observer, ici EA0.

✍ Régler dans l'onglet de paramétrage de l'acquisition les paramètres d'acquisition : période d'échantillonnage $T_e = 5 \mu\text{s}$ et nombre total de points $N = 1024$ points. Cela impose une valeur de la durée totale d'acquisition T_a .




Q1) Vérifier la relation qui relie T_e , T_a et N

✍ Appuyer sur la touche d'acquisition (la flèche bleue ► du menu ou la touche de

✍ raccourci clavier F10). Remarque : si l'acquisition tourne en boucle, la touche `ESC` du clavier permet d'en sortir.


✍ Un clic droit sur la figure permet d'accéder à différents outils d'affichage (calibrage, échelle, pointeur, réticule...). Zoomer si besoin pour une observation optimale d'une dizaine de périodes


 Un clic droit sur le nom de la courbe permet d'accéder aux propriétés de la courbe (couleur, symboles des points...). Choisir la croix comme symbole afin de visualiser l'échantillonnage effectué.


Remarque : les performances limitées d'une carte d'acquisition imposent toujours une valeur minimale à T_e (100 ns pour la carte Sysam), correspondant à une fréquence d'échantillonnage $f_e = 1/T_e$ maximale (10 MHz pour la carte Sysam si on n'utilise pas plus de 4 voies simultanément, sinon 500 kHz).

■ Influence du nombre de points sur l'allure du signal numérisé

Q2) Quelle doit être la valeur maximale du temps d'échantillonnage T_e pour que le critère de Shannon-Nyquist soit vérifié ?

 Observer le signal sinusoïdal précédent (garder la croix comme symbole afin de visualiser l'échantillonnage effectué) en choisissant la durée totale d'acquisition T_a de manière à observer 10 périodes, durée que vous veillerez à maintenir constante, puis choisir successivement les nombres de points suivants : $N = 2\ 000; 200$ et 15 points.


 Le critère de Shannon – Nyquist est-il resté vérifié ? commenter.


 L'acquisition avec 15 points correspondait à $T_e = 375\ \mu\text{s}$; la reprendre en conservant $T_e = 375\ \mu\text{s}$ mais en prenant 1 000 points. Effectuer un zoom pour observer 10 périodes et comparer l'allure de ces deux derniers signaux.

II. Spectre d'un signal


1) Obtention du spectre du signal sur Latispro

Une fois l'acquisition réalisée, le spectre du signal numérisé s'obtient par le menu Traitements → Calculs spécifiques → Analyse de Fourier (raccourci F6). La fenêtre qui s'ouvre propose d'ouvrir un menu d'options avancées, dans lesquelles on choisira d'afficher le résultat sur l'intervalle $[0; f_e]$ afin d'observer un potentiel repliement spectral

 Toujours pour le même signal sinusoïdal, régler dans l'onglet de paramétrage de l'acquisition les paramètres d'acquisition $T_e = 5\ \mu\text{s}$ et $N = 1024$ points. Faire glisser la courbe associée à EAO dans la fenêtre associée puis tracer le spectre du signal.


 Observez et décrivez ce spectre ; son allure correspond-elle à celle attendue en théorie ? Vérifier notamment l'amplitude du pic obtenu (en zoomant si besoin : un double clic sur l'axe vertical permet un ajustement de l'échelle).


Remarque : Latispro sélectionne de manière automatique une plage du signal correspondant a priori à un nombre entier de périodes.


 Dans la fenêtre Analyse de Fourier, il est possible d'effectuer une sélection manuelle de la plage de signal exploitée pour le calcul du spectre. Sélectionner 8,5 périodes puis 13,5 périodes en calculant à chaque fois le spectre du signal sinusoïdal. Commenter (fuites spectrales).


2) Influence des paramètres d'acquisition sur le spectre d'un signal sinusoïdal


■ Influence de la durée totale d'acquisition sur la résolution spectrale

 Toujours avec le signal sinusoïdal de fréquence $f = 1\ \text{kHz}$ et d'amplitude 2 V, régler les paramètres d'acquisition à $N = 200$ points et $T_e = 200\ \mu\text{s}$ et réaliser l'analyse spectrale du signal.

 Observer et décrire la forme de ce spectre, les valeurs sont-elles cohérentes ? Déterminer la résolution spectrale théorique et la comparer à celle affichée.

 Tracer à nouveau le spectre pour $N = 256$ points en conservant une période d'échantillonnage à $T_e = 200\ \mu\text{s}$, puis pour $N = 1024$ points

 Que devient la résolution spectrale ? Commenter à nouveau l'allure des spectres obtenus.

 On fixe à présent les paramètres d'acquisition à $T_e = 100\ \mu\text{s}$ et $N = 1024$ points.

▪ Critère de Shannon, réplication et repliement du spectre

- ✍ Déterminer la fréquence maximale du signal sinusoïdal pouvant être correctement observé à l'aide de ces paramètres.
 - 🔧 En conservant ces paramètres d'acquisition, faire varier la fréquence du signal sinusoïdal observé en observant et en commentant l'allure du spectre obtenu. On prendra les valeurs suivantes : $f = 100 \text{ Hz}$; 500 Hz ; 800 Hz ; 1 kHz ; $1,2 \text{ kHz}$; 4 kHz et 6 kHz . Pour ce dernier signal, reprendre l'acquisition avec $T_e = 10 \mu\text{s}$ et $N = 1000$.
 - 🔧 Dans le menu traitements de Latispro, choisir calculs spécifiques puis Analyse de Fourier (raccourci F6), et sélectionner le mode permanent, qui permet d'effectuer l'acquisition au fur et à mesure des variations du signal.
- Toujours avec $T_e = 100 \mu\text{s}$ et $N = 1000$, faire varier la fréquence du signal de 1 à 10 kHz et observer le spectre obtenu.

3) Analyse spectrale d'un signal périodique

La décomposition en série de Fourier d'un signal créneau symétrique s'écrit :

$$V(t) = \frac{4E}{\pi} \left[\sin(\omega t) + \frac{\sin(3\omega t)}{3} + \frac{\sin(5\omega t)}{5} + \dots \right]$$

- 🔧 Visualiser le spectre d'un signal carré de fréquence $f = 100 \text{ Hz}$ et d'amplitude $E = 2V$. On veillera à bien choisir la fréquence d'échantillonnage et le nombre de points N pour que les raies soient correctement représentées.
- ✍ Observer et représenter le spectre obtenu. Mesurer précisément les positions et les amplitudes des raies. Conclure.
- 🔧 Rajouter un offset de 2V au signal. Comment varie le spectre ?
- 🔧 Pour $T_e = 100 \mu\text{s}$ et $N = 1000$ points, afficher le spectre sur la plage $[0; f_e]$, analysez les positions des raies à haute fréquence. Recommencer avec $T_e = 500 \mu\text{s}$. Afficher le spectre en zoomant sur les 4 premiers pics afin de les analyser plus précisément.

III. Niveaux de quantification de la carte d'acquisition

Rappel de vocabulaire :

- Le pas ou quantum de quantification q est l'écart (en volt) entre deux valeurs binaires successives.
- Le calibre C donne la gamme de valeurs $\pm C$ que le signal numérisé est susceptible de prendre. La valeur $2C$, c'est-à-dire la largeur de l'intervalle de valeurs permises, est la tension de pleine échelle du CAN.
- La résolution N indique le nombre de bits sur lequel le signal numérisé est codé : $2N$ valeurs sont possibles dans l'intervalle $[-C, +C]$, ou autrement dit cet intervalle est divisé en $2N - 1$ intervalles de largeur identique.
- ✍ Exprimer le pas de quantification q en fonction du calibre et de la résolution exprimée en bits.
- 🔧 Générer à l'oscilloscope un signal triangle de basse fréquence (100 Hz par exemple) et de basse amplitude (0,200 V par exemple).
- 🔧 Choisir des paramètres d'acquisition adaptés et zoomer de manière à pouvoir observer les groupements par palier des points échantillonnés.
- 🔧 Proposer et mettre en œuvre un protocole permettant de retrouver le nombre de bits de la carte Sysam.

📞 Appel professeur pour valider les réglages et le protocole.

IV. Et si vous avez le temps...

1) Action d'un filtre sur le spectre d'un signal carré

- 🔧 Réaliser un filtre passe-bas RC du premier ordre en fixant $C = 100 \text{ nF}$ et en utilisant une résistance variable pour R . Appliquer à nouveau un signal créneau d'amplitude 2 V et de fréquence $f = 100 \text{ Hz}$.
- Q3) Déterminer les valeurs de R et C pour avoir une fréquence de coupure à $f_c = 50 \text{ Hz}$. Quelle est l'influence du filtre sur le signal ?

- 🔧 Mettre en œuvre ce filtre et faire l'acquisition sur la carte SYSAM du signal d'entrée sur la voie EA0 et du signal de sortie sur la voie EA1. Mesurer l'amplitude de la première raie du spectre ; comparer la valeur mesurée à la valeur théorique.
 - 🔧 Faire varier R et observer les conséquences sur le spectre du signal. Choisir la valeur la plus appropriée afin de générer un signal sinusoïdal de fréquence $f = 100$ Hz en sortie de filtre.
- Q4)** On ajoute un offset de 2 V en entrée. Comment choisir R pour réaliser un filtre moyennneur ?
- 🔧 Observer le signal en sortie de filtre ainsi que son spectre.

2) FFT à l'oscilloscope

- 🔧 Activer le menu `Math` et choisir l'opération `FFT`.
- 🔧 Régler la base de temps de l'oscilloscope de manière à avoir une fréquence d'échantillonnage $f_e = 1$ MHz (elle s'affiche en haut à droite de l'écran, en `Sa/s`, c'est-à-dire *samples per second*, en français *échantillons par seconde*).

Remarques sur les paramètres de réglage de la fenêtre FFT :

- L'échelle de l'axe horizontal n'est plus graduée en temps, mais en fréquence (Hertz), et celle de l'axe vertical n'est plus graduée en volts, mais en décibels (dB).
- À l'aide des curseurs, on peut mesurer la fréquence et l'amplitude de n'importe quelle composante spectrale.
- Les échelles sont en Hz pour l'axe horizontal et par défaut en dBV pour l'échelle verticale de l'amplitude des composantes spectrales $C_n(dBV) = 20\log(C_n/\sqrt{2})$ où $C_n/\sqrt{2}$ est l'amplitude efficace (en V) de la composante spectrale sauf pour la composante continue pour laquelle $C_0(dBV) = 20\log(C_0)$ car il s'agit d'un signal constant.

Annexe n°1 : caractéristiques générales de carte Sysam SP5



Entrées analogiques

L'étage d'entrée de **SYSAM-SP5** propose 4 convertisseurs analogique-numérique (CAN) différentiels 10MHz. Chaque convertisseur peut travailler en mode 1 voie différentielle, ou en mode 2 voies simples. 1 à 4 voies différentielles et 1 à 8 voies simples sont ainsi proposées. Ces entrées peuvent fonctionner en mode mixte, et **SYSAM-SP5** peut alors proposer simultanément des voies simples et des voies différentielles.

Entrées analogiques	4 entrées différentielles totalement indépendantes / 1 CAN pour 1 entrée 8 entrées simples réparties sur 4 convertisseurs / 1 CAN pour 2 entrées
Fréquence d'échantillonnage (Fe)	4 x 10 MHz : 4 entrées disposant chacune d'une Fe de 10 MHz (CAN synchronisés) 8 entrées disposant chacune d'une Fe de 500kHz
Résolution / Précision	12 bits / 1 LSB
Calibres d'entrée	4 calibres indépendants : ± 10V, ± 5V, ± 1V, ± 0.2V (1 MΩ)
Connexions	Accès direct aux entrées analogiques par des douilles bananes (⊙ 4 mm). Accès des capteurs Eurosmart par 4 connecteurs spécialisés présents sur l'interface
Protection en surtension	Mode courant 250 VAC / 400VDC Mode impulsionnel selon norme IEC61000-4-5 (impulsion foudre) (forme d'onde en tension 1,2/50 μs, en courant 8/20 μs - courant maxi. supporté 50 A)

Sorties analogiques

L'étage de sortie de **SYSAM-SP5** dispose de 2 sorties analogiques indépendantes ±10V, 50mA. Ces sorties peuvent fonctionner comme des générateurs de fonctions indépendants. Elles sont ainsi pilotées séparément des entrées analogiques, et disposent chacune de leur propre base de temps*. Les sorties de **SYSAM-SP5**, peuvent émettre en permanence à l'image d'un générateur de fonctions, et les caractéristiques des signaux émis peuvent être modifiées en temps réel au cours de l'émission (amplitude, type d'onde, fréquence...).

* Fonctionnement défini et proposé par le logiciel **LATIS-Pro**.

Sorties analogiques	2 sorties analogiques indépendantes - 1 CNA pour 1 sortie
Fréquence de conversion	2 x 5 MHz
Résolution	12 bits
Calibre de sortie	± 10V (50mA)
Impédance de sortie	50 Ω

Matériel utilisé par paillasse (10 paillasses)

- GBF (deux voies) + Oscillo
- Carte d'acquisition Sysam SP5
- 1 multiplieur (en boîtier)
- 1 PC avec Latispro