

Échantillonnage / Étude d'un régime libre

Objectifs :

- Mettre en œuvre de façon simplifiée le principe de l'échantillonnage puis de la reconstitution du signal analogique, à l'aide d'une simple multiplication de signaux et d'un filtrage, dans le but d'étudier les effets en terme de spectre.
- Étudier les régimes transitoires du circuit RLC série en régime libre.

Compétences expérimentales exigibles :

- Expliquer l'influence de la fréquence d'échantillonnage.
- Utiliser la condition de Nyquist-Shannon. Mettre en évidence le phénomène de repliement de spectre au moyen d'un oscilloscope numérique ou d'une acquisition numérique.

I. Échantillonnage

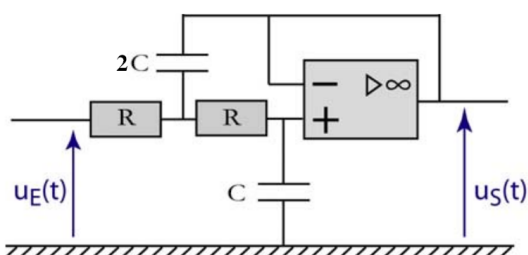
I.1. Présentation

On désire échantillonner puis restituer un signal $s(t)$, qui, sauf mention explicite du contraire sera un signal sinusoïdal de fréquence 1 kHz. On n'étudiera pas ici la numérisation du signal mais seulement les conséquences spectrales de son échantillonnage, puis sa restitution. Pour ce faire on réalise en fait un **modèle analogique de signal échantillonné en multipliant un signal par un signal d'impulsions**.

Le signal d'échantillonnage $u_e(t)$ d'impulsions (*pulses*) périodiques est fourni par un deuxième générateur. On réglera la largeur τ des impulsions à 20% de la période : on prendra pour cela un rapport cyclique (duty cycle) de 20%. Il est en effet essentiel que la valeur moyenne a_0 de $u_e(t)$ ne soit pas nulle ou trop faible. On choisira différentes fréquences d'échantillonnage f_e au cours de l'étude. On utilisera l'offset de sorte que $u_e(t)$ soit un signal positif.

Le filtre passe-bas utilisé pour la restitution du signal est du deuxième ordre, actif et de structure Sallen & Key. Il est réalisé avec un AO (ou ALI...), il faut donc l'alimenter en +15V, 0, -15V (le 0V étant assuré par la connexion de la Terre sur l'alimentation à partir du GBF ou de l'oscilloscope). Il faudra aussi alimenter le multiplieur sous peine de le dégrader. C'est un circuit coûteux.

I.2. Manipulations



On donne pour ce filtre d'ordre 2 les expressions théoriques suivantes ^a :

- la pulsation propre : $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{2}RC}$;
- le facteur de qualité : $Q = \frac{1}{\sqrt{2}}$;
- la valeur de la fonction de transfert à basse fréquence : $H_0 = 1$.

Valeurs possibles : $C = 4,7 \text{ nF}$ et $R = 10 \text{ k}\Omega$.

^a. à retrouver en exercice.

• MANIP 1 : Etude préliminaire du filtre en sortie ouverte

— Réaliser le montage ci-dessus.

Que vaut ici la pulsation de coupure ω_c ? Pourquoi doit-on choisir approximativement $RC \sim 5 \times 10^{-5} \text{ s}$?

— Par un balayage en fréquences, vérifier que le filtre se comporte bien comme un passe-bas, et localiser approximativement la fréquence de coupure. Vérifier aussi qu'il ne sature pas à basse fréquence (pas d'écèlement), sinon baisser l'amplitude d'entrée. Y a-t-il une résonance?

— Mesurer le gain statique et la fréquence de coupure f_c du filtre, et évaluer l'incertitude sur la mesure. Les valeurs correspondent-elles à celles prévues par la théorie (mesurer les composants de type R et C ...)? Que vaut alors le déphasage?

Le multiplieur est un circuit intégré schématisé ci-contre. La tension de sortie $s(t)$ s'exprime en fonction des deux tensions d'entrée $e_1(t)$ et $e_2(t)$:

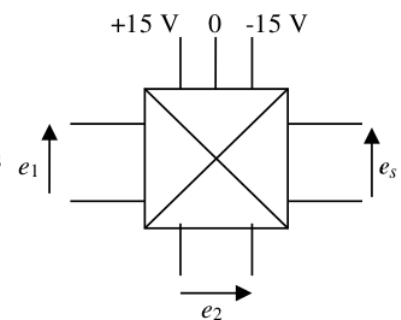
$$e_s(t) = k \cdot e_1(t) \cdot e_2(t)$$

Pour les multiplieurs utilisés, le facteur dimensionné k vaut aux alentours de $k = 0,1 \text{ V}^{-1}$.

Il existe en fait des défauts par rapport à ce schéma idéalisé, notamment des tensions de décalage d_1 , d_2 et d_3 , de quelques millivolts, telles que :

$$e_s = k \cdot (e_1 + d_1) \cdot (e_2 + d_2) + d_3$$

REMARQUE : Si l'une des tensions d'entrée est continue, on obtient un amplificateur à gain variable.



• MANIP 2 : Obtention du signal échantillonné

— Réaliser le montage avec le multiplieur permettant d'obtenir le signal échantillonné à partir de $s(t)$ et $u_e(t)$ pour $f_e = 10 \text{ kHz}$.

Le critère de Shannon est-il respecté?

— Visualiser sur l'oscilloscope le signal $s_e(t)$ en sortie du multiplieur.

— Déterminer son spectre avec la carte d'acquisition Foxy, en prenant soin d'ajuster la fréquence d'échantillonnage de la carte correctement^a. Commenter.

^a. On s'appuiera sur les constatations et conseils vus en cours pour obtenir des spectres fiables.

• MANIP 3 : Restitution du signal

— Filtrer $s_e(t)$ avec le filtre passe-bas étudié précédemment.

— Visualiser le signal restitué. Déterminer son spectre ainsi que celui du signal obtenu en sortie du multiplieur que l'on reproduira en indiquant les fréquences f_0 , $kf_e - f_0$ et $kf_e + f_0$. Commenter.

• MANIP 4 : Repliement spectral

Reprendre les deux manipulations précédentes successivement avec les fréquences d'échantillonnage $f_e = 5 \text{ kHz}$, puis $f_e = 1,9 \text{ kHz}$ et $1,1 \text{ kHz}$.

On prendra le temps de bien déterminer les spectres et de comprendre quantitativement... On déterminera et on visualisera en particulier les fréquences de repliement s'il y a lieu.

• MANIP 5 : Cas d'un signal créneau à échantillonner

— Prendre pour $s(t)$ un signal créneau de fréquence 1 kHz .

— Analyser les conditions d'échantillonnage et de restitution qui permettent d'obtenir un signal restitué proche de $s(t)$.

II. Étude du régime libre d'un circuit du 2nd ordre

• MANIP 6 : Étude du régime libre du circuit RLC série

- Réaliser le circuit avec une résistance R et une capacité C variables, et la bobine noire ($L = 0,1\text{ H}$, on pourra mesurer sa résistance interne r), de sorte à observer la tension u_C aux bornes du condensateur.
- Choisir la période T du signal crête-à-crête pour observer le régime transitoire des charges et décharges du condensateur correspondant à la réponse à un échelon de tension et au régime libre.
À quelle valeur faut-il comparer T pour faire ce choix ?
- Déterminer expérimentalement la valeur de la résistance critique R_c . Déterminer l'incertitude de sensibilité sur R_c . Valider (ou non) cette mesure par rapport à la valeur théorique ^a
- Modifier le montage pour observer u_R . Quelle(s) différence(s) notable(s) y a-t-il avec u_C ?

a. Une « valeur théorique » doit être évaluée à partir des valeurs mesurées des composants (si la mesure directe au multimètre est possible), et non des valeurs supposées au regard des étiquettes ou de l'énoncé écrit par le professeur... Elle comporte donc elle aussi une incertitude.

• MANIP 7 : Visualisation des portraits de phase des régimes libres

Modifier le montage à l'aide d'un *transformateur d'isolement* ^a pour observer simultanément u_R et u_C . Passer en mode XY, puis observer les portraits de phase des différents régimes en forme de spirales. On veillera à appliquer le traitement adéquat sur l'oscilloscope pour que ce portrait de phase tourne dans le bon sens.
Pourquoi utilise-t-on ce transformateur ? On parle d'isolation galvanique, que cela signifie-t-il ?

a. Un transformateur d'isolement ne permet pas de traiter de façon égale toutes les fréquences. Son comportement est non-linéaire en raison du noyau ferromagnétique, et même dans son approximation linéaire sa réponse en fréquence n'est pas de gain constant. Ainsi on le réserve préférentiellement à utilisation avec des signaux sinusoïdaux, de fréquence inférieure à quelques kHz.