TP 1 : Filtre intégrateur

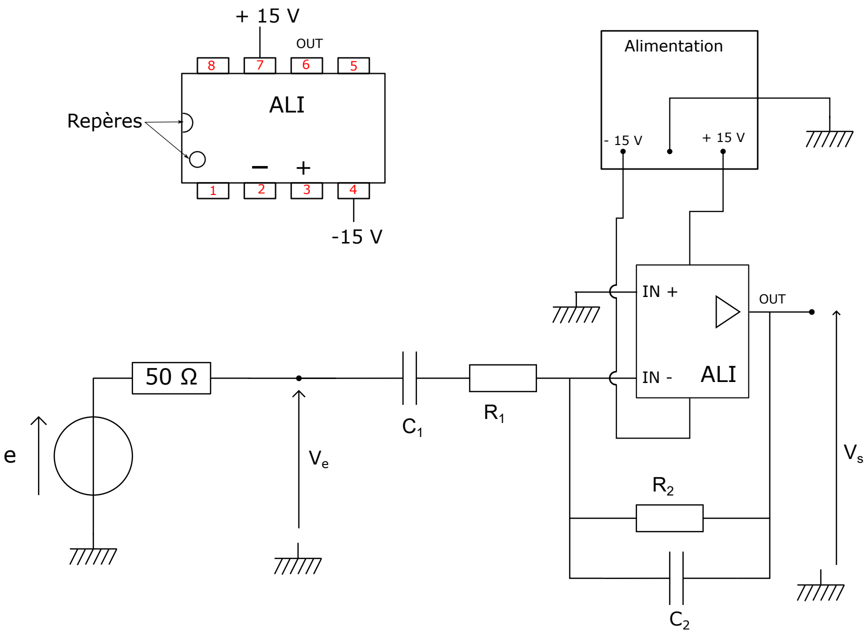
1. Introduction

L'objectif est de réaliser un filtre intégrateur analogique permettant d'intégrer des signaux périodiques dont la fréquence est supérieure à 100 Hz. La composante de fréquence nulle du signal ne devra pas être intégrée.
Matériel :

- ▷ Plaque d'essai.
- ▷ Fils de connexion avec fiche banane.
- ▷ Petits fils dénudés aux extrémités.
- ▷ Générateur de signaux.
- ▷ Oscilloscope.
- ▷ Deux ALI TL081.
- ▷ Condensateurs $1\,\mu\mathrm{F}$ et $10\,\mathrm{nF}$ en deux exemplaires.
- ▷ Résistances $100\,\mathrm{k}\Omega$ et $1\,\mathrm{M}\Omega$ en deux exemplaires.

2. Schéma et étude théorique

Le circuit comporte un amplificateur linéaire intégré (ALI), alimenté avec une alimentation double -15/0/+15 V.



Les valeurs nominales utilisées sont : $R_1 = 100\,\mathrm{k}\Omega$, $C_1 = 1\,\mu\mathrm{F}$, $R_2 = 1\,\mathrm{M}\Omega$, $C_2 = 10\,\mathrm{nF}$.
L'ALI est supposé idéal et de gain infini :

- ▷ Les courants entrant par IN+ et IN- sont nuls.
- ▷ Les entrées IN+ et IN- sont au même potentiel : $V_+ = V_-$.

Pour l'étude du circuit, on définit $\underline{Z_1}$, l'impédance complexe de R_1 et C_1 en série, et $\underline{Z_2}$, l'impédance complexe de R_2 et C_2 en parallèle.

[1] Démontrer que la fonction de transfert s'écrit :

$$\underline{H} = -\frac{\underline{Z_2}}{\underline{Z_1}} \tag{1}$$

[2] Au moyen d'un script Python, tracer le diagramme de Bode, c'est-à-dire le gain en décibel et le déphasage en fonction de la fréquence en échelle logarithmique.

[3] Identifier le domaine de fréquence où le filtre est intégrateur. Donner les expressions approchées de $\underline{Z_1}$, de $\underline{Z_2}$ puis de $\underline{H}$ dans le domaine intégrateur.

[4] Dans le cas où le signal périodique appliqué en entrée comporte un décalage (offset), expliquer pourquoi ce filtre intègre seulement la partie variable. Y-a-t-il un décalage en sortie ?

3. Réalisation et test

[5] Réaliser le circuit. Visualiser la tension V_e sur la voie 1 de l'oscilloscope et la tension V_s sur la voie 2.

[6] On se place en régime sinusoïdal. Donner une procédure permettant de vérifier le comportement intégrateur et la mettre en œuve. En déduire le domaine de fréquence où le filtre réalise l'intégration de V_e.

[7] Ajouter un décalage à V_e. Que constate-t-on ?

[8] Déterminer la fréquence à laquelle le gain vaut 0 dB et comparer à la valeur théorique calculée avec les valeurs nominales.

4. Application

On se propose d'utiliser plusieurs filtres intégrateur identiques en série pour transformer un signal carré en signal quasi sinusoïdal.
On utilise tout d'abord le filtre intégrateur pour traiter un signal carré ayant les caractéristiques suivantes :

- ▷ Fréquence fondamentale dans le domaine intégrateur, telle que l'amplitude en sortie soit du même ordre de grandeur que l'amplitude en entrée.
- ▷ Amplitude de crête à crête de 5 V et décalage de 2,5 V (signal prenant les valeurs 0 et 5 V).

On rappelle que les harmoniques d'un signal carré ont une amplitude proportionnelle à l'inverse du rang n de l'harmonique.

[9] Appliquer ce signal à l'entrée du filtre. Quelle est la forme du signal en sortie ? Expliquer.

[10] Au moyen de la fonction FFT de l'oscillosscope, effectuer l'analyse spectrale de $V_e(t)$. Relever les amplitudes en décibel des harmoniques par rapport au fondamental, jusqu'au rang 9. Reporter les résultats dans un tableau. Vérifier la décroissance en $1/n$.

[11] Effectuer l'analyse spectrale de $V_s(t)$. Relever les amplitudes en décibel des harmoniques par rapport au fondamental, jusqu'au rang 9. Reporter les résultats dans un tableau. Comment en théorie les amplitudes des harmoniques dépendent-elles de n ? Les valeurs expérimentales confirment-elles cette dépendance ?

Le signal $V_s(t)$ est traité par un filtre intégrateur identique au précédent, dans le but d'obtenir un signal quasi sinusoïdal. Pour l'étude expérimentale, on utilisera un signal triangulaire fourni par le générateur de signaux.

[12] Appliquer à l'entrée du filtre un signal triangulaire dont la fréquence fondamentale est dans le domaine intégrateur et observer la sortie (son amplitude doit être du même ordre de grandeur que celle de l'entrée).

[13] Observer le signal $V_s(t)$ puis faire son analyse spectrale comme précédemment.

L'écart entre le signal obtenu et un signal parfaitement sinusoïdal peut être caractérisé par le *taux de distorsion harmonique totale*, défini par :

$$\mathrm{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} v_n^2}}{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} v_n^2}} \tag{2}$$

où v_n est l'amplitude de l'harmonique de rang n.

[14] En se limitant aux harmoniques de rang inférieur ou égal à 9, calculer le THD. Conclure. Comment peut-on encore réduire le THD ?

[15] Ajouter un second filtre intégrateur de manière à obtenir un signal quasi sinusoïdal. Observer la sortie et faire son analyse spectrale.