

TP 12 : Oscillateur LC

1. Introduction

Un oscillateur sinusoïdal est un système qui génère une oscillation sinusoïdale (ou quasi sinusoïdale) à une fréquence stable. Il est constitué d'un circuit résonant et d'un amplificateur. Dans ces TP, on étudie un oscillateur reposant sur un circuit LC comme circuit résonant.

Matériel :

- ▷ Générateur de fonctions SIGLENT SDG1025.
- ▷ Plaque d'essai avec borniers et fils.
- ▷ Bobine avec noyau.
- ▷ Amplificateur linéaire intégré TL081.
- ▷ Résistances $1,0\text{ k}\Omega$ et $10\text{ k}\Omega$.
- ▷ 2 Condensateurs $1,0\text{ }\mu\text{F}$.
- ▷ Potentiomètre multitours $10\text{ k}\Omega$ ou $22\text{ k}\Omega$.
- ▷ Multiplieur AD633 (circuit intégré seul).
- ▷ 2 diodes de signal.

2. Oscillateur LC

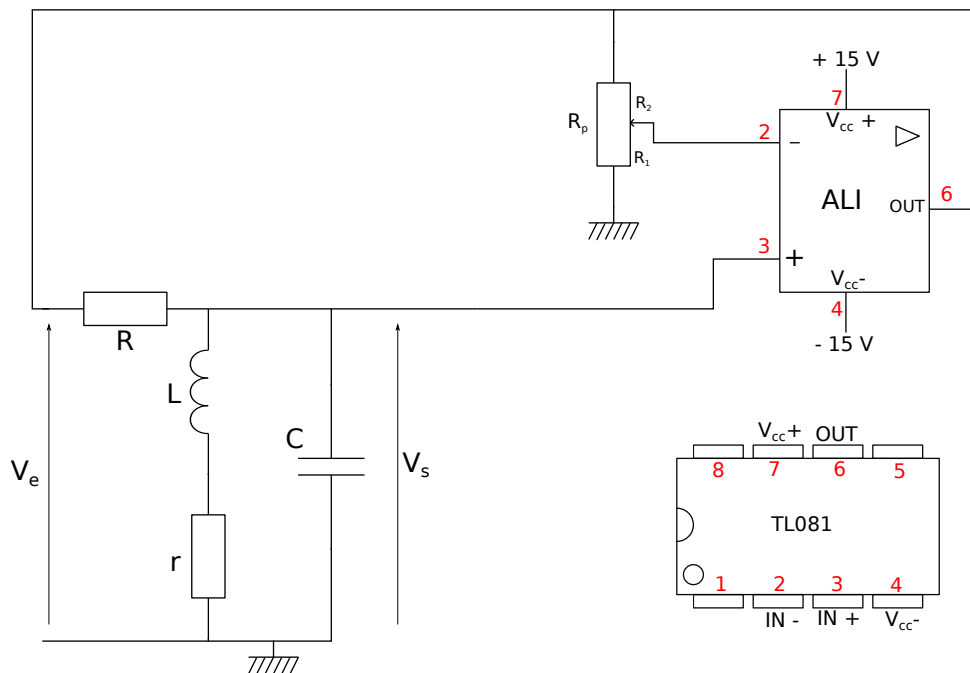
2.a. Fonctionnement

Le circuit résonant est constitué d'une bobine d'auto-inductance L et de résistance interne r , d'un condensateur de capacité C branché en parallèle avec la bobine et d'une résistance R . On note V_e la tension d'entrée de ce circuit et V_s sa tension de sortie. Soit $G(f)$ le gain de ce circuit en fonction de la fréquence. La fréquence de résonance f_r réalise le maximum de ce gain.

L'amplificateur est réalisé avec un amplificateur linéaire intégré (ALI) et un potentiomètre R_p . Celui-ci permet d'avoir une résistance R_1 entre l'entrée - de l'ALI et la masse et une résistance R_2 entre la sortie de l'ALI (OUT) et son entrée -. La relation entre la sortie (OUT) et l'entrée + est : $V_{\text{OUT}} = G'V_+$ où G' est le gain, qui est défini par les deux résistances :

$$G' = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (1)$$

On a $R_1 + R_2 = R_p$. En tournant la vis du potentiomètre, on fait varier ces deux résistances donc on fait varier le gain de l'amplificateur.



[1] Dans l'hypothèse où $r = 0$, établir la relation entre les amplitudes complexes de V_s et V_e en régime sinusoïdal permanent. En déduire l'expression de la fréquence de résonance f_r en fonction de L et C .

[2] Montrer que ces deux tensions sont reliées par l'équation différentielle suivante :

$$RC \frac{d^2 V_s}{dt^2} + \frac{R}{L} V_s + \frac{dV_s}{dt} = \frac{dV_e}{dt} \quad (2)$$

L'amplificateur réalise une rétroaction entre la sortie du circuit résonant (tension V_s) et son entrée (tension V_e). On a donc :

$$V_e = G' V_s \quad (3)$$

Le système se met automatiquement à osciller de manière quasi sinusoïdale à la fréquence de résonance f_r , à condition que le gain de l'amplificateur compense exactement le gain du circuit résonant à la résonance, c'est-à-dire :

$$G' = \frac{1}{G(f_r)} \quad (4)$$

[3] Que vaut G' dans l'hypothèse où $r = 0$? Montrer que $V_s(t)$ obéit alors à l'équation différentielle de l'oscillateur harmonique. Préciser la pulsation d'oscillation. Quelle est la forme de $V_s(t)$ si $G' < G$? Même question pour $G' > G$?

Lorsque $G' < G$, le système n'oscille pas et la tension V_e reste nulle. Lorsque $G' > G$, le système oscille mais la sortie de l'ALI présente une saturation, qui fait que l'oscillation n'est pas sinusoïdale.

2.b. Réalisation

Le circuit résonant est réalisé avec une résistance de valeur nominale $R = 1,0 \text{ k}\Omega$, une bobine avec un noyau de fer ajustable (on commence avec le noyau sorti) et un condensateur de capacité nominale $C = 1,0 \mu\text{F}$. L'ALI est un TL081, un circuit intégré à 8 bornes, dont le brochage est précisé sur la figure ci-dessus. L'ALI est alimenté par une alimentation double $+15/-15 \text{ V}$, dont la masse doit être reliée à la masse du circuit. Le potentiomètre a une résistance totale $R_p = 10 \text{ k}\Omega$ ou $R_p = 22 \text{ k}\Omega$. Il s'agit d'un boîtier bleu à trois broches dont la broche centrale constitue le curseur et doit donc être reliée à la broche 2 de l'ALI. Les deux autres broches sont reliées respectivement à la masse et à la broche 6 de l'ALI.

Tous ces composants, à l'exception de la bobine, seront directement branchés sur la plaque d'essai. La bobine, le générateur et l'oscilloscope sont branchés sur cette plaque au moyen des bornes situées sur le côté (fiches bananes femelles).

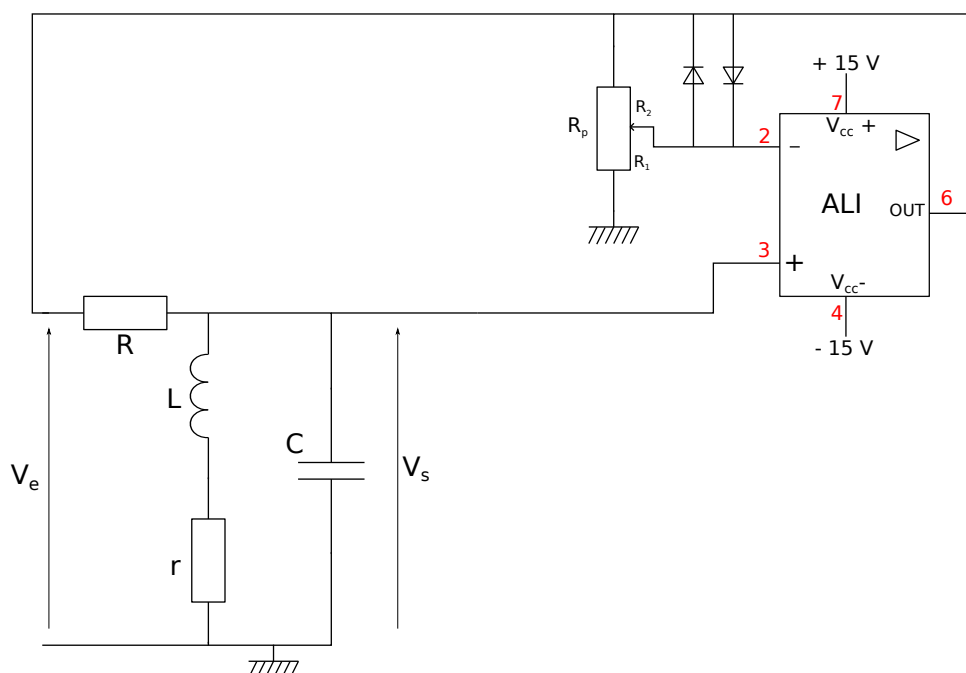
[4] Réaliser le circuit résonant seul. Brancher une sortie du générateur de signaux sur l'entrée V_e . Repérer la fréquence de résonance. Relever cette fréquence et le gain G à cette fréquence. Quel est le déphasage à la résonance ?

[5] En déduire la valeur de G' et le rapport R_2/R_1 permettant de l'obtenir.

[6] Débrancher le générateur puis ajouter l'amplificateur avec la rétroaction. Observer à l'oscilloscope les tensions V_e et V_s .

[7] En tournant la vis du potentiomètre, constater que le système oscille si G' est supérieur à un certain seuil. Essayer de parvenir à une oscillation quasi sinusoïdale en ajustant G' . Est-il possible d'obtenir une oscillation quasi sinusoïdale stable de cette manière ?

Pour obtenir une oscillation quasi sinusoïdale permanente, il faut ajouter une non-linéarité à l'amplificateur, de manière à réduire son gain lorsque l'amplitude dépasse une certaine valeur, ce qui permettra de stabiliser l'amplitude des oscillations à cette valeur. Une manière simple d'obtenir cet effet est de placer deux diodes entre l'entrée - de l'ALI et sa sortie, comme indiqué sur la figure suivante :



Lorsque la tension en sortie de l'ALI dépasse une certaine valeur, la tension aux bornes de ces diodes dépasse la tension de seuil d'une diode (environ 0,7 V), ce qui rend passante l'une de ces diodes (en fonction du signe de la tension) et diminue ainsi la valeur du gain.

[8] Placer les deux diodes dans le montage et constater que si $G' > G$ alors on observe des oscillations quasi sinusoïdales.

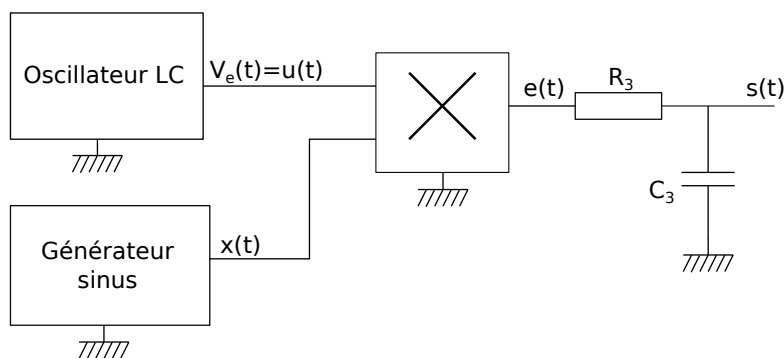
[9] Faire une analyse spectrale de ces oscillations au moyen de la fonction FFT de l'oscilloscope. Quelle est l'amplitude du premier harmonique non nul après le fondamental (en décibel et relativement au fondamental) ?

[10] Observer la variation de la fréquence d'oscillation lorsque le noyau de fer est enfoncé dans la bobine. Expliquer.

3. Détection synchrone - détecteur de métaux

3.a. Principe

La détection synchrone permet de mesurer des faibles variations de fréquence de l'oscillateur lorsqu'un objet métallique est introduit dans la bobine. Elle consiste à utiliser un signal de référence sinusoïdal dont la fréquence est au plus proche de la fréquence de l'oscillateur (sans noyau ni objet métallique dans la bobine). La phase du signal délivré par l'oscillateur et de ce signal de référence sont comparées au moyen d'un comparateur de phase, constitué d'un multiplieur et d'un filtre passe-bas.



La tension $u(t)$ est délivrée par l'oscillateur LC (sortie de l'ALI). La tension $x(t)$ est délivrée par le générateur de signaux ; elle est sinusoïdale et de fréquence f . On a donc :

$$u(t) = U \cos(2\pi f_r t)$$

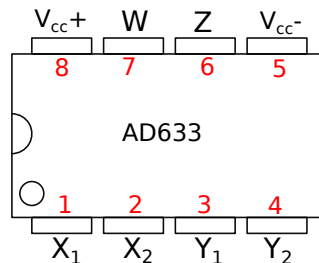
$$x(t) = X \cos(2\pi f t + \varphi)$$

Le filtre passe-bas a une fréquence de coupure petite devant f_r et f . La fréquence f est très proche de f_r (au plus une dizaine de hertz de différence).

[11] Exprimer la tension $e(t)$ puis $s(t)$. Montrer que la mesure de la fréquence de $s(t)$ permet d'obtenir $f - f_r$ avec une très bonne précision.

3.b. Réalisation

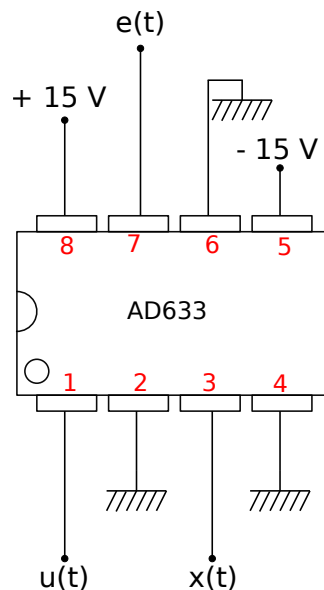
Le multiplieur est un circuit intégré à 8 broches (AD633) dont le brochage est donné ci-dessous.



La sortie délivre la tension :


$$W = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10} + Z \quad (5)$$

On réalise donc le câblage ci-dessous :



Le filtre passe-bas est réalisé avec $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ et $C_3 = 1,0 \mu\text{F}$.

[12] Ajouter le comparateur de phase au montage. Faire attention au bon branchement de l'alimentation. Une erreur de polarité détruirait l'AD633, qui est un composant coûteux.

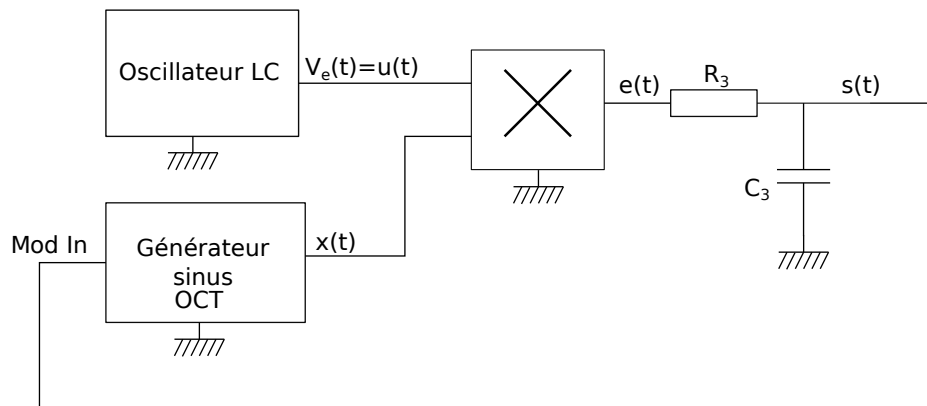
[13]  Observer à l'oscilloscope les tensions $u(t)$ et $x(t)$. Mesurer la fréquence f_r de l'oscillateur (noyau sorti). Régler la fréquence de $x(t)$ pour avoir $f = f_r$ avec une précision inférieure au hertz.

[14] Observer la tension $s(t)$ en sortie du filtre. Entrer légèrement le noyau pour modifier la fréquence de l'oscillateur, ou bien introduire un tournevis en fer dans la bobine.

La fréquence du signal $s(t)$ peut être mesurée avec l'oscilloscope ou avec un fréquencemètre. Dans les deux cas, la mesure repose sur le comptage des cycles pendant une durée connue. Plus la différence $f - f_r$ est faible, plus cette durée doit être grande.


[15]  Mesurer $f - f_r$ lorsque cette différence est de l'ordre du hertz.

Une autre méthode de mesure consiste à utiliser une boucle à verrouillage de phase. Pour cela, il suffit d'utiliser le signal $s(t)$ comme signal de commande de la fréquence du générateur (entrée Modulation In) et d'activer la modulation de fréquence sur celui-ci.



Si la boucle reste verrouillée, le signal $x(t)$ est synchrone avec $u(t)$, c'est-à-dire de même fréquence avec un déphasage fixe.

[16] Réaliser la boucle à verrouillage de phase. Observer les tensions $x(t)$ et $u(t)$. Vérifier que la boucle reste verrouillée lorsqu'un objet métallique est introduit dans la bobine. Observer la tension $s(t)$. Si la boucle est verrouillée, cette tension est constante (pour une fréquence donnée).

[17]  Observer les variations de $s(t)$ lorsqu'un objet métallique est introduit dans la bobine. Quels sont les avantages et les inconvénients de cette méthode de mesure comparée à la méthode précédente (mesure de fréquence) ?