

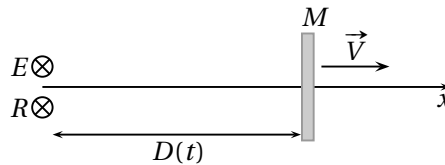
TP n° 7

Mesure de vitesse par effet Doppler

1 — L'effet Doppler : principe du radar

On dispose d'un émetteur E et d'un récepteur R d'ondes ultrasonores.

Les ondes émises par E se réfléchissent sur un obstacle mobile M animé d'un mouvement rectiligne à la vitesse $\vec{v} = V\vec{e}_x$, où V est algébrique.



L'onde émise en E est sinusoïdale, de fréquence f , soit $u(t) = U_0 \cos(\omega t)$.

La fréquence de l'onde reçue par le récepteur vaut, lorsque l'obstacle est mobile

$$f_r = f \left(1 - \frac{2V}{c} \right)$$

où c est la célérité des ondes sonores dans l'air.

Dans le cas où $V \ll c$, la fréquence f_r du signal reçu est très proche de la fréquence f du signal émis.

On cherche à mesurer l'écart de fréquence $\delta f = f - f_r$ afin de déterminer la vitesse V de la cible mobile.

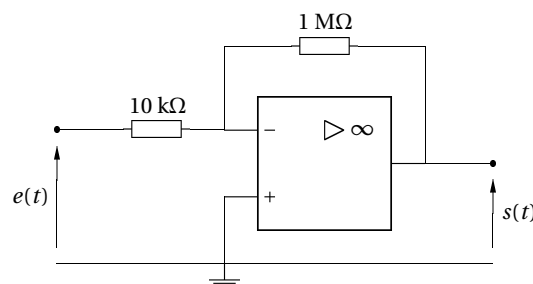
La vitesse du son dans l'air est $c = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

2 — Mise en œuvre expérimentale

2.1 Amplification du signal réfléchi

Les ondes ultrasonores étant peu directives, l'amplitude du signal reçu est très sensiblement inférieure à celle du signal émis. Afin de comparer deux signaux d'amplitudes voisines, il convient d'amplifier le signal délivré par le récepteur.

On considère le montage suivant :



1. En supposant un fonctionnement linéaire de l'ALI, quelle est la relation entre $e(t)$ et $s(t)$?
2. En considérant $e(t) = E \cos(2\pi f t)$, à quelle condition l'ALI fonctionne en régime linéaire ?
- Réaliser le montage en utilisant le module C.V.I. de la plaquette.
3. Vérifier la relation entre $e(t)$ et $s(t)$, ainsi que la limite de fonctionnement linéaire de l'ALI.

2.2 Détection synchrone

2.2.1 Réglages préliminaires

On dispose d'émetteurs et de récepteurs ultrasonores, fonctionnant à la fréquence d'environ 40 kHz.

L'émetteur est alimenté par un GBF, le récepteur est relié à l'instrument de mesure (oscilloscope, multimètre, platine d'acquisition).

L'émetteur et le récepteur sont conçus pour fonctionner à une fréquence voisine de 40 kHz, cependant ils sont très sélectifs. Il convient donc de régler au mieux la fréquence de l'émetteur.



4. L'émetteur est alimenté par le GBF qui délivre un signal sinusoïdal, réglé sur son amplitude maximale. On prendra $f \approx 40$ kHz.

Le récepteur, relié à l'oscilloscope, est placé contre l'émetteur.

Régler la fréquence f de façon à ce que l'amplitude du signal délivré par le récepteur soit maximale. Noter la valeur de f , que l'on ne modifiera plus par la suite.

2.2.2 Nécessité d'une détection synchrone

L'obstacle sera un écran mobile que vous déplacez à la main devant l'émetteur.

5. On prendra $f = 40$ kHz. Estimer l'ordre de grandeur de la vitesse V de l'écran, et en déduire la valeur de la fréquence f du signal reçu après réflexion.

6. Que peut-on dire de $\Delta f = |f - f_r|$ devant f ? Peut-on espérer déterminer V par une mesure de f ?

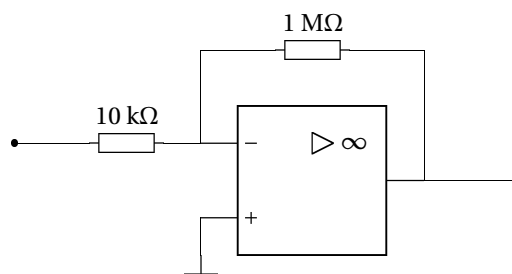
Nous allons utiliser le principe de la détection synchrone :

- l'émetteur ultrasonore délivre un signal $u_e(t) = U_e \cos(2\pi f t)$ de même fréquence f que les ultrasons émis;
- le récepteur délivre un signal $u_r(t)$ de fréquence f_r ;
- on effectue la multiplication des deux tensions : $u_m(t) = k u_e(t) \times u_r(t)$.

7. À partir du spectre de $u_m(t)$, on expliquera comment on peut déterminer l'écart de fréquence $\delta f = |f - f_r|$, sachant que $\delta f \ll |f|$.

2.2.3 Montage

L'amplitude du signal $u_e(t)$ délivré par le récepteur étant faible devant celle du signal $u_r(t)$ délivré par le GBF, nous allons amplifier $u_r(t)$, en utilisant le module C.V.I. de la platine radar :

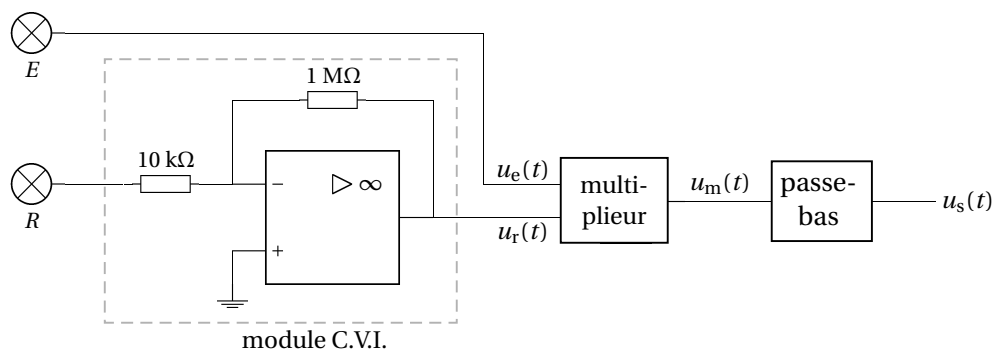


8. Montrer que le montage précédent réalise cette amplification, et déterminer son gain.

Nous allons réaliser le montage.

L'obstacle mobile est un petit écran pour banc d'optique, que l'on déplace à la main devant l'ensemble émetteur-récepteur.

- L'émetteur d'ultrasons est alimenté sous une tension continue 15 V.
- Ne pas oublier d'alimenter la plaquette à l'aide de l'alimentation symétrique +15 V / -15 V.



À l'aide de l'interface Sysam, en utilisant Latis-Pro, faire l'acquisition de $u_s(t)$: on se synchronisera avec son binôme qui déplacera l'écran en maintenant une vitesse constante autant que possible pendant la durée de l'acquisition : à vous de choisir les bons paramètres !

9. Mesurer la fréquence du signal $u_s(t)$ à l'aide de Latis-Pro : on pourra utiliser l'outil de mesure sur l'acquisition temporelle, ou faire une analyse spectrale (en réfléchissant au choix des paramètres d'acquisition...).

10. En déduire la vitesse du mobile. Est-ce compatible avec une estimation grossière de la vitesse de déplacement de l'écran ?

11. Peut-on savoir si l'obstacle s'éloigne ou se rapproche de l'émetteur ?

2.3 Complément : expression du décalage de fréquence

L'onde ultrasonore émise est de la forme $u_e(t) = U_e \cos(2\pi f t)$.

12. L'onde se réfléchissant sur un obstacle à la distance D de l'émetteur, avec quel retard temporel est-elle perçue par le récepteur ? En déduire l'expression du signal u_s arrivant sur le récepteur.

13. Dans le cas où l'obstacle se meut avec une vitesse $\vec{V} = V \vec{e}_x$ comme indiqué sur la figure en début d'énoncé, en déduire l'expression de la fréquence f_r du signal reçu.