

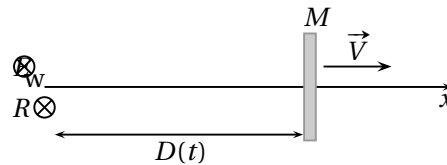
TP de physique n° 8

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.

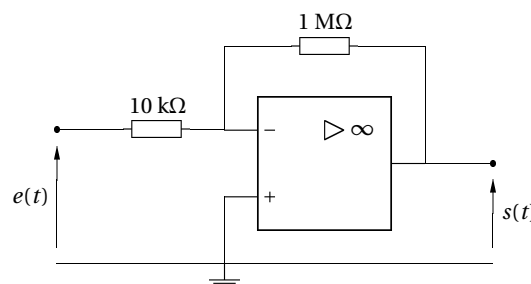
La vitesse du son dans l'air est $c = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

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 ?

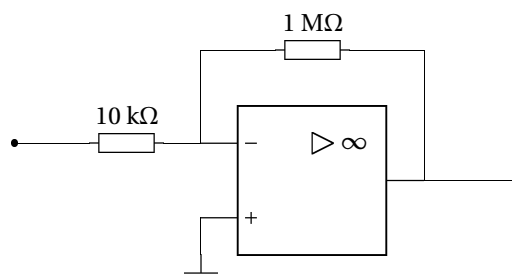
Nous allons utiliser le principe de la détection synchrone :

- 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 :

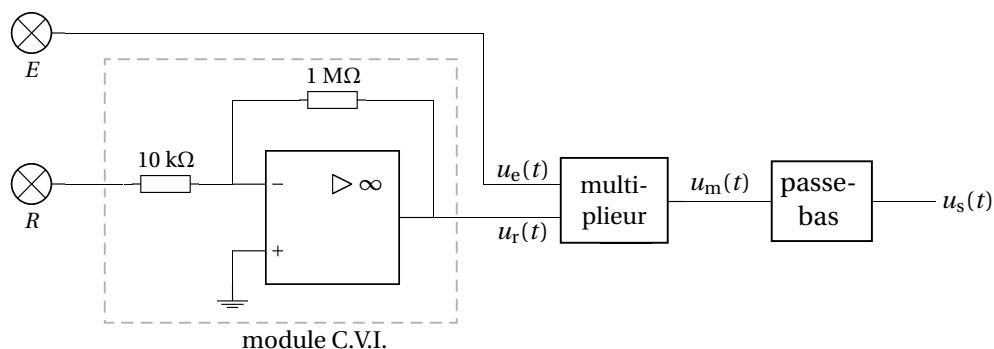


❑ 8 Montrer que le montage précédent réalise cette amplification, et déterminer son gain.

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.