

Détection synchrone

Mesure d'une vitesse par effet Doppler

Objectif  : On se propose de mesurer la vitesse d'un jouet mobile à l'aide un radar à ultrasons utilisant l'effet Doppler.

Prérequis :

- Annexe sur l'effet Doppler (page 2).

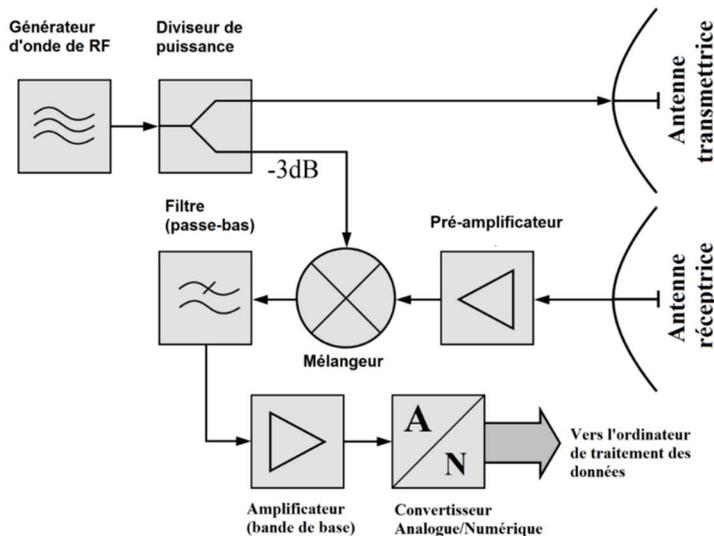
Analyse préliminaire

1. Estimer la vitesse du jouet à l'aide du matériel disponible.
2. En déduire l'ordre de grandeur de la valeur absolue de la variation relative de fréquence $|\delta f / f_E|$ lors d'une mesure à l'aide d'un radar l'effet Doppler.
3. Sachant que les émetteurs ultrasons émettent un signal de fréquence proche de 40 kHz, en déduire l'ordre de grandeur de $|\delta f|$.
4. La mesure de $|\delta f|$ paraît-elle aisée ? Réalisable par une analyse spectrale ?

Principe du radar à effet Doppler – Détection synchrone

Le schéma de principe du radar à ondes continues (disponible sur Wikipédia : https://fr.wikipedia.org/wiki/Radar_%C3%A0_ondes_entretenues) est donné ci-dessous.

Ce radar permet de déterminer l'écart de fréquences $|\delta f|$ grâce à un montage appelé **détection synchrone**.



http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bsp2_CW-Radar.fr.png

Le « **mélangeur** », élément fondamental de ce montage, effectue le **produit** de l'onde émise par l'onde réfléchie : $\cos(2\pi f t) \times \cos(2\pi(f + \delta f)t + \varphi)$.

Ce produit peut s'exprimer sous forme d'une somme de deux fonctions sinusoïdales :

$$\frac{1}{2} \cos(2\pi(2f + \delta f)t + \varphi) + \frac{1}{2} \cos(2\pi \delta f t + \varphi)$$

5. Déduire de cette expression et des ordres de grandeurs déterminés précédemment, le second élément fondamental du montage de détection synchrone (qui permet d'accéder à $|\delta f|$ via une mesure simple).

Construction et test du radar

Schéma radar simplifié

1. Proposer un schéma de radar simplifié à l'aide du matériel suivant : GBF, émetteur et récepteur U.S., multiplieur, alimentation +15/-15 V, R (boîte à décade), C (boîte à décade), boîtier d'acquisition Sysam, logiciel Latispro, oscilloscope.

Montage pratique

2. Estimer les valeurs des composants à l'aide des ordres de grandeurs précédents.

Protocole de test – Les 2 voies du GBF simulent (donc **remplacent**) émetteur et récepteur

3. Réaliser le montage de détection synchrone, l'émetteur étant simulé par la voie 1 du GBF, le signal reçu étant simulé par la voie 2 du GBF. (Bas de temps oscilloscope ≈ 10 ms/div).
4. Régler les fréquences des deux voies du GBF à 40 kHz et 40 kHz + δf .
5. **Valider la méthode** en effectuant la mesure *précise* de l'écart de fréquence entre les voies. Ajuster les valeurs des composants si nécessaire, noter leurs valeurs finales. Débrancher la voie 2 du GBF du montage et désactiver cette voie sur le GBF.
6. Commenter : sensibilité, précision de la méthode ?

Mesure de la vitesse du jouet à l'aide du radar

Réglages

7. Relier l'émetteur au GBF (voie 1) et ajuster la fréquence en observant à l'oscilloscope le signal émis et le signal reçu aux bornes du récepteur : rechercher la résonance. Pour raison est-il pertinent de régler l'amplitude du GBF au maximum (20 V_{PP}) ?
8. Réglages acquisition : sensibilité ± 1 V, durée ≈ 800 ms, $\approx 20\,000$ points. Justifier ces choix.

Mesure

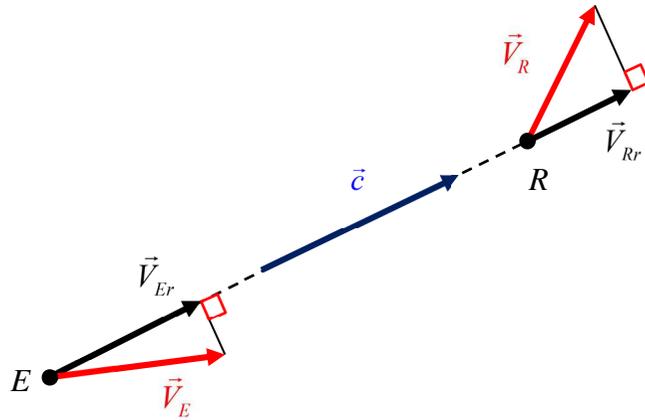
9. Relier le récepteur au multiplieur et déterminer la valeur de la vitesse du jouet (réaliser plusieurs mesures, jouet se rapprochant ou s'éloignant du radar).
10. Proposer un ou plusieurs calculs d'incertitude. On pourra tenir compte de la température de la salle de TP...

Annexe – Effet Doppler

Animations sur : https://en.wikipedia.org/wiki/Doppler_effect

Effet Doppler en physique classique (non relativiste)

Formule algébrique valable dans tous les cas de figure (référentiel terrestre) :



E = émetteur et R = Récepteur.

La fréquence émise par l'émetteur et la fréquence perçue par le récepteur sont liées aux vitesses radiales (projections algébriques des vitesses sur la droite (E,R)) par :

$$f_R = \frac{c - V_{Rr}}{c - V_{Er}} f_E \quad (\text{cas non relativiste})$$

Bien noter que V_{Rr} et V_{Er} sont **algébriques** (i.e. positifs ou négatifs).

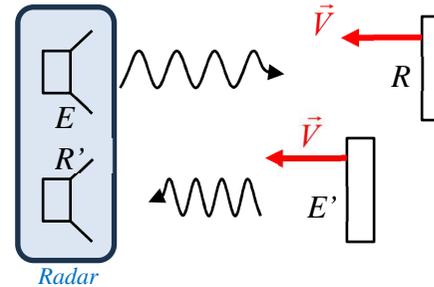
Cas particuliers :

- ✓ Émetteur fixe ($V_{Er} = 0$) / récepteur mobile : $f_R = \frac{c - V_{Rr}}{c} f_E$
- ✓ Émetteur mobile / récepteur fixe ($V_{Rr} = 0$) : $f_R = \frac{c}{c - V_{Er}} f_E$

Principe du radar à effet Doppler

Cas du radar : **émetteur fixe** et **onde réfléchie par un objet mobile**.

Exemple 1 : véhicule se rapprochant du radar



L'onde reçue par le véhicule (« récepteur » R) a pour fréquence :

$$f_R = \frac{c + V_{Rr}}{c} f_E \quad \text{car } V_{Rr} = -V$$

Cette onde est réfléchie sans changement de fréquence : le véhicule se comporte comme un « émetteur » E' de fréquence :

$$f_{E'} = f_R = \frac{c + V_{Rr}}{c} f_E$$

L'onde reçue par le récepteur du radar R' est donc : $f_{R'} = \frac{c}{c - V_{Er}} f_{E'} = \frac{c + V}{c - V} f_E$ (1)

Dans le cas fréquent d'un mobile tel que $V \ll c$, l'expression (1) se simplifie (en effectuant un développement limité à l'ordre 1 en V/c) :

$$f_{R'} = \left(1 + 2 \frac{V}{c} \right) f_E$$

On en déduit que la variation relative de fréquence est :

$$\frac{\delta f}{f_E} = \frac{f_{R'} - f_E}{f_E} \approx 2 \frac{V}{c}$$

Exemple 2 : véhicule s'éloignant du radar (laissé à l'initiative du lecteur).