

TP6a - Mesure de vitesse par effet Doppler

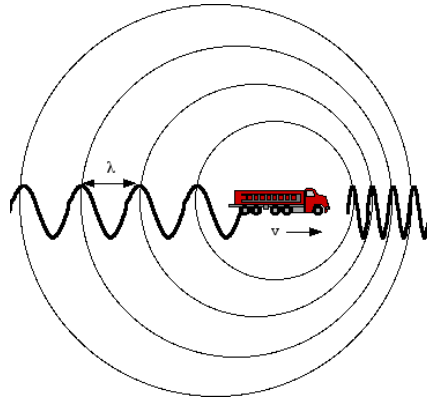
Objectifs : Mettre en œuvre une mesure de vitesse par effet Doppler acoustique.

Matériel : GBF, oscilloscope, émetteur/récepteur d'ultrasons, cible mobile, plaquette de traitement du signal.

Considérons un émetteur d'ondes (par exemple un haut-parleur en acoustique, ou une étoile en optique), et un récepteur à une certaine distance. Si la distance entre émetteur et récepteur est fixe, alors le signal reçu a la même fréquence que le signal émis. En revanche, la fréquence mesurée par le récepteur varie si l'un des deux se déplace ! C'est l'effet Doppler.

Une observation courante de cet effet est le fait que le son émis par la sirène d'une ambulance ou un moteur de Formule 1 semble plus aigu quand l'émetteur se rapproche que quand il s'éloigne. La mesure de la variation de fréquence due au mouvement donne une mesure de la vitesse de la cible. Les radars Doppler sont utilisés pour la défense aérienne, pour le contrôle du trafic aérien, pour la surveillance des satellites, pour les contrôles de vitesse sur route, en radiologie et dans les réseaux d'assainissement.

1 Présentation de l'effet Doppler



Considérons une sirène de camion de fréquence f dans son référentiel. Pour un observateur fixe devant le camion, la fréquence mesurée est $f' > f$ (longueur d'onde plus courte). Pour un observateur fixe derrière le camion, la fréquence mesurée est $f' < f$ (longueur d'onde plus grande).

prop : Considérons la propagation d'onde acoustique de célérité c dans le référentiel du fluide. Notons f la fréquence d'émission, et f' la fréquence mesurée. La vitesse relative v entre récepteur et émetteur est notée v telle que $v > 0$ s'ils se rapprochent, et $v < 0$ sinon. Alors :

$$f' = f \cdot \frac{1 + v/c}{1 - v/c} \underset{v \ll c}{\approx} f \cdot \left(1 + 2\frac{v}{c}\right) \quad (1)$$

Ainsi, la différence de fréquence vaut $\Delta f = f' - f = 2f \frac{v}{c}$ pour $v \ll c$.

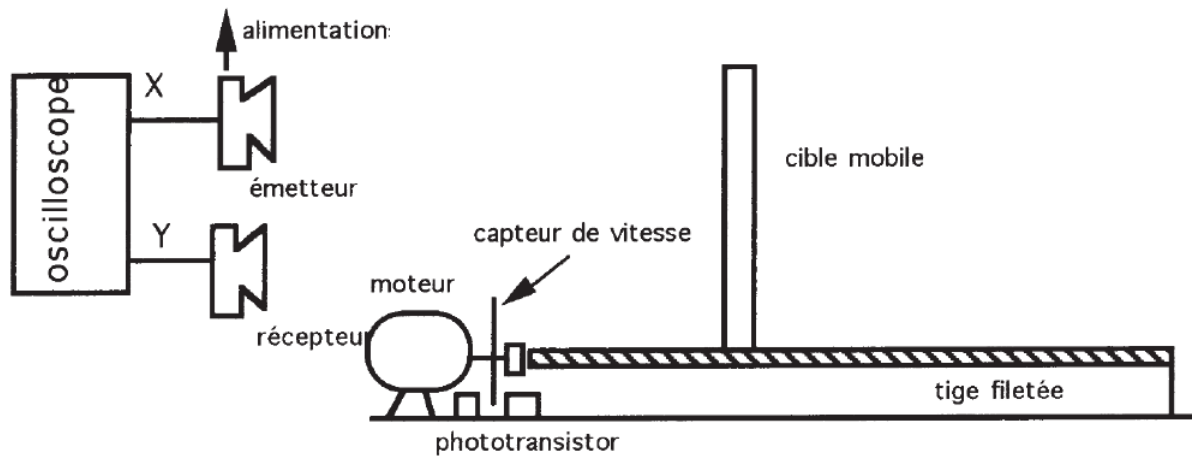
prop : Dans le cas des ondes électromagnétiques de célérité c , la prise en compte des effets relativistes donne :

$$f' = f \cdot \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}} \quad (2)$$

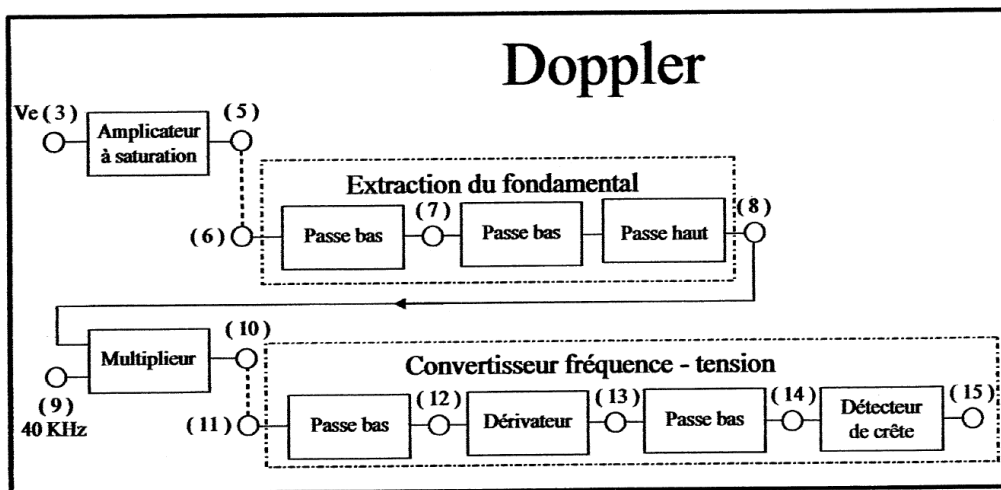
2 Mise en place de l'expérience

2.1 Présentation du montage

Voici une présentation simplifiée du montage.



En pratique, l'atténuation importante du signal lors de la propagation nécessite la mise en œuvre d'une chaîne de traitement de signal réalisée sur la plaquette fournie :



2.2 Réglage de l'émission

1. À l'aide du GBF, de l'oscilloscope, et des émetteur/récepteur à ultrasons, mesurer la fréquence f de résonance du système émission/réception de signaux (proche de 40 kHz). Dans toute la suite, on alimentera l'émetteur par un signal sinusoïdal à cette fréquence f et de tension crête-crête de 10 V.

2.3 Branchements de la plaquette Doppler

- Relier le signal émis par le GBF à l'entrée 9 de la plaquette (entrée du multiplieur).
- Relier le signal fourni par le récepteur à l'entrée 3 de la plaquette (entrée de l'amplificateur à saturation).
- Relier la sortie 5 de l'amplificateur à l'entrée 6 de la plaquette (entrée de l'extraction du fondamental).
- Relier la sortie 10 du multiplieur à l'entrée 11 de la plaquette (entrée du premier filtre passe-bas du convertisseur fréquence-tension).

3 Manipulations

3.1 Observation du traitement du signal

Sans déplacer le mobile :

2. Comparer l'allure des signaux aux bornes 3 et 5 de la plaquette. Commenter l'intérêt de l'amplificateur à saturation.
3. Comparer l'allure des signaux aux bornes 5 et 8 de la plaquette. Commenter le rôle des différentes sous-parties.

3.2 Mesure de vitesse

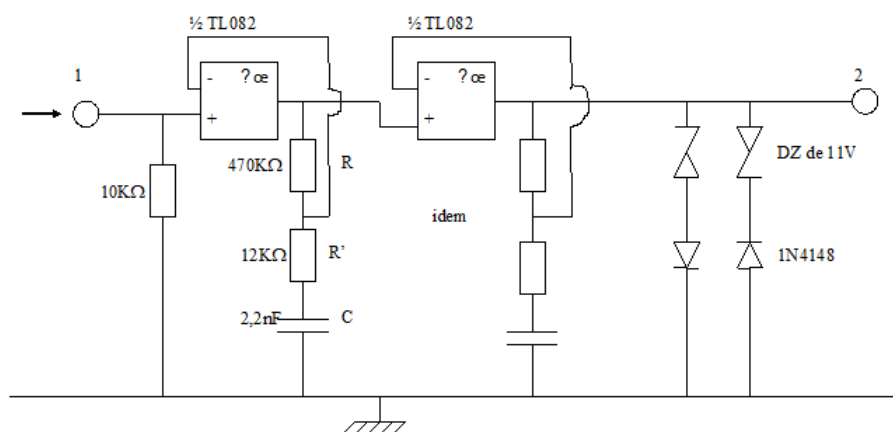
Pour lancer l'acquisition : déclenchement sur le signal de la photodiode (ajuster le niveau entre les deux valeurs), Enclencher **Autonorm**, puis **Single**.

4. Observer le signal aux bornes 10 ou 11. Que devient-il si le mobile se déplace ?
5. En effectuant une mesure sur la borne 12, effectuer une mesure de vitesse par effet Doppler.
6. Effectuer une autre mesure de la vitesse en utilisant le signal de la photodiode. Comparer.

4 Analyse des différentes étapes de traitement du signal

4.1 Amplificateur à saturation

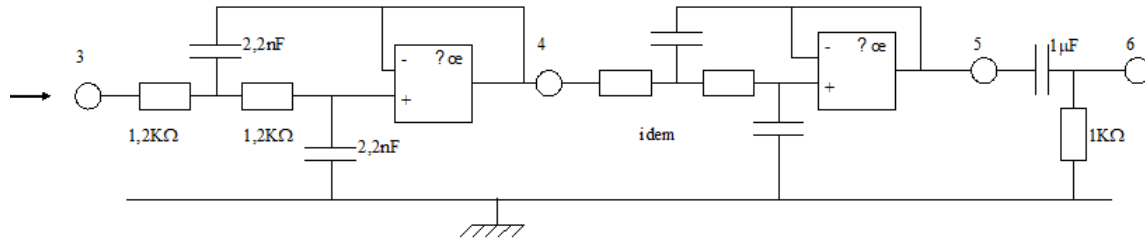
L'objectif est d'amplifier un signal d'amplitude faible en conservant sa fréquence. Le principe est d'utiliser une amplification de gain tellement grand que le dispositif en sortie donne une valeur $+V_{\max}$ dès que le signal d'entrée est positif, et $-V_{\max}$ dès qu'il est négatif. Même s'il n'est pas à comprendre, voici le schéma électrique :



7. Questions théoriques : Tracer qualitativement l'allure attendue des signaux d'entrée et de sortie de l'amplificateur. Comparer leurs spectres. L'amplificateur effectue-t-il une opération linéaire ?
8. Questions expérimentales : Vérifier le fonctionnement théorique en injectant directement en entrée un signal provenant du GBF, en particulier en observant la FFT des signaux. Observer l'influence d'une variation de fréquence ou d'amplitude du signal d'entrée.

4.2 Extraction du fondamental

L'objectif est, à partir d'un signal créneau, d'obtenir un signal quasi-sinusoidal de même fréquence. Voici le schéma électrique :



9. Questions théoriques : Comparer les spectres attendus des signaux d'entrée et de sortie. Vu l'objectif de ce dispositif, peut-on utiliser un filtrage linéaire ? Proposer un circuit électronique passif effectuant ce type de filtrage à l'ordre 1, et un autre à l'ordre 2. C'est ce qu'effectue le circuit actif entre les bornes 3 et 5. Mais à quoi sert donc alors le circuit entre 5 et 6 ?
10. Questions expérimentales : Vérifier le fonctionnement théorique en injectant directement en entrée un signal rectangulaire provenant du GBF, en particulier en observant la FFT des signaux. Observer l'influence d'une variation de fréquence du signal d'entrée.

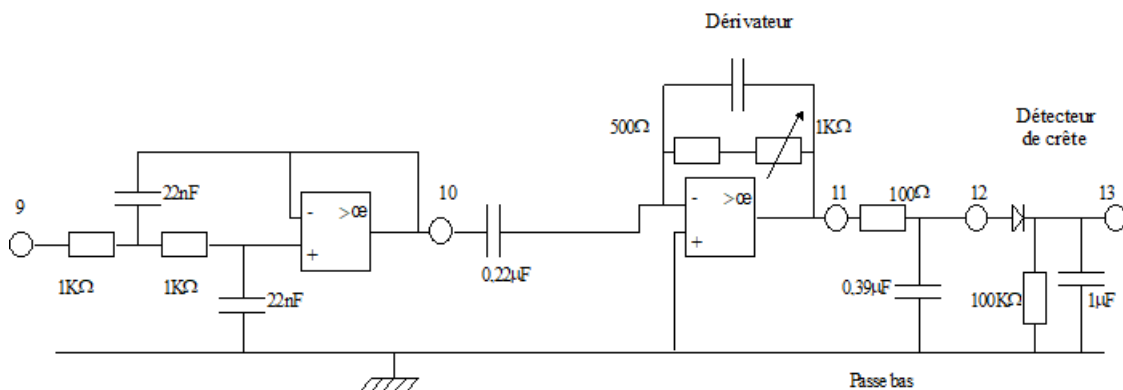
4.3 Détection synchrone

L'objectif est, à partir du signal d'émission à f et du signal reçu traité à f' , de produire un signal dont une composante est à fréquence $\Delta f = f' - f$.

11. Questions théoriques : Par le calcul, déterminer le spectre du signal de sortie du multiplieur.
12. Questions expérimentales : Vérifier le fonctionnement théorique en injectant directement en entrée deux signaux de fréquences proches.

4.4 Élimination des hautes fréquences

L'objectif est, à partir du signal contenant une composante à fréquence $\Delta f = f' - f$, d'éliminer les autres composantes de fréquences proches de f . Même s'il n'est pas à comprendre, voici le schéma électrique, la partie nous intéressant est entre les bornes 9 et 10 :



13. Questions théoriques : Proposer un circuit électrique effectuant cette procédure.
14. Questions expérimentales : Vérifier le fonctionnement théorique effectué entre les bornes 9 et 10.

4.5 Conversion fréquence-tension

L'objectif est, à partir du signal de fréquence Δf , d'obtenir une tension proportionnelle à Δf . C'est effectué à l'aide d'un dérivateur puis d'un détecteur de crête.

15. Questions théoriques : Justifier qu'un dérivateur permet d'obtenir un signal d'amplitude proportionnel à la fréquence du signal d'entrée.
16. Questions expérimentales : Vérifier le fonctionnement théorique effectué entre les bornes 10 et 13.