Systèmes Linéaires et Signaux
Première année

Détection Synchrone

L'objectif de ce TPs est d'une part de vous initier à l'utilisation d'un amplificateur à détection synchrone, mais également de vous sensibiliser à ces performances tant en terme de pouvoir de séparation de signaux qu'en terme de sensibilité par rapport aux techniques simples que vous connaissez à base d'oscilloscope.

Matériel

- Un détecteur synchrone (lock-in amplifier)
- Un oscilloscope.
- Deux générateurs arbitraires Agilent 33120A
- 2 antennes spirales Basse-Fréquences (BF) avec leur support
- Un circuit sommateur à résistance
- Un réglet de 1m.

Table des matières

1 Introduction **2**

2 Manipulation préliminaire **2**

3 Principe de la détection synchrone **2**

4 Manipulation **3**
4.1 Vérification de la chaîne de détection synchrone . . . 3
4.2 Caractérisation du filtre passe-bande d'entrée. . . . 3
4.3 Étude du détecteur complet . . . 3
4.3.1 Sensibilité . . . 3
4.3.2 Pouvoir de séparation . . . 4

5 Annexe A **5**

1 Introduction

La détection synchrone (ou "Lock-in detection" en anglais) est une méthode de mesure très classique en physique. Ce TP a pour but de vous faire appréhender l'amélioration en détection et en mesure apportée par l'utilisation d'une détection synchrone.

Pour bien saisir l'enjeu du choix de la méthode de détection sur un récepteur, un petit calcul avec la puissance d'un signal GSM est intéressant. Le niveau de puissance typique reçu par un téléphone mobile est de l'ordre de $P_{\text{reçue}} = -90dBm$. En prenant $Z = 50\Omega$ comme impédance d'entrée de l'antenne d'un récepteur GSM, et en appliquant la relation $P_{\text{reçue}} = \frac{V^2}{Z}$ calculer la différence de potentiel V induite. Par comparaison, un oscilloscope standard présente un plancher de bruit de l'ordre du millivolt. Une simple acquisition avec un oscilloscope avec un filtrage n'est ainsi pas suffisante.

2 Manipulation préliminaire

Vous disposez de deux antennes boucles et de leurs supports. En utilisant l'antenne de type 1 (plusieurs boucles) comme émetteur, et celle de type 2 comme récepteur :

1. Mettez en place l'émission/réception d'une sinusoïde à 30 kHz et $V_{pp} = 10\,Volts$, à l'aide d'un générateur et de l'oscilloscope. Attention sans détection synchrone, le signal est très faible aussi commencez avec les antennes presque collées.
2. Avec la tension maximale du générateur, quelle est la portée du système ainsi réalisé, c'est à dire la distance maximale de réception pour laquelle le signal sinusoïdale reste identifiable ?
3. En faisant varier la distance de pratiquement zéro à cette valeur maximale, estimez la loi de variation du signal avec la distance.

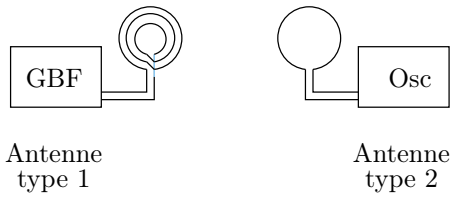


FIGURE 1 – Mise en place de l'émission/réception

3 Principe de la détection synchrone

La détection synchrone permet la mesure de très petits signaux continus noyés dans du bruit. Elle consiste à mélanger le signal à mesurer avec un signal de référence sinusoïdal de même fréquence.

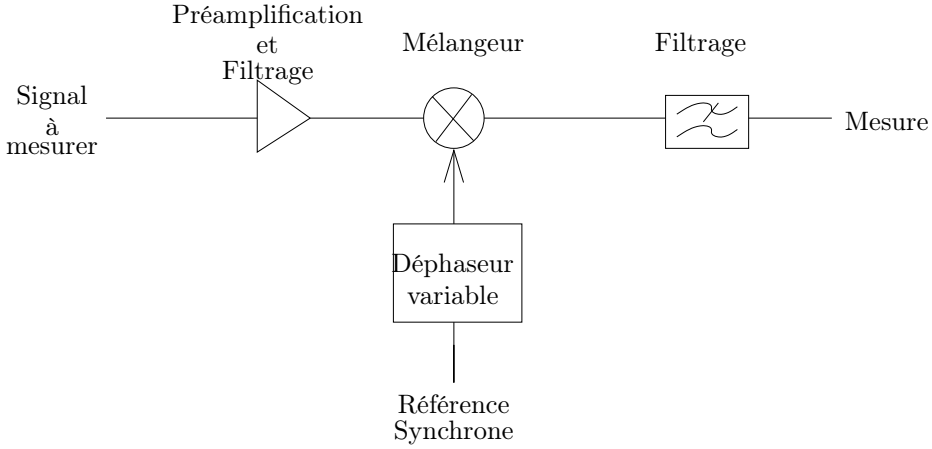
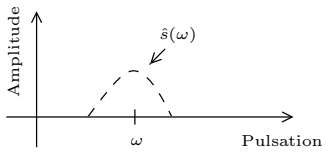


FIGURE 2 – Principe de la détection synchrone

1. Que mesure-t-on, si le signal $s(t)$ à mesurer est sinusoïdal $s(t) = A\cos(\omega t)$ et si la référence est de la forme $r(t) = \cos(\omega t + \phi)$?

2. Si on s'intéresse à l'amplitude du signal, quel est l'intérêt du déphasage contrôlable sur la référence.
3. Connaissant le spectre $\hat{s}(\omega)$ de $s(t)$, supposé borné en fréquence et centré sur ω :

   Quel est le spectre du signal mesuré $\hat{m}(\omega)$ si la fonction de transfert du filtre de sortie est un filtre passe-bas de bande passante plus large que l'occupation spectrale de $s(t)$.



4 Manipulation

1. Étudiez le schéma de principe du "lock in amplifier" SR510 (page de la documentation de l'appareil donnée en **annexe A**).

   Expliquez notamment le rôle de chacun des éléments de ce schéma vis à vis du principe présenté Figure 2.
2. Repérez, sur le panneaux de contrôle et à l'arrière du SR510, les différents éléments présentés dans la partie supérieure (étage analogique) du schéma de la l'annexe A, en particulier :

   (a) Les boutons permettant de mettre en service ou de court-circuiter les filtres en entrée du SR510.

   (b) Le connecteur permettant de visualiser le signal à la sortie de la chaîne de pré-amplification.

   (c) Le connecteur permettant de brancher le signal de référence.
3. Repérez de même :

   (a) Les boutons permettant de piloter le gain du "High gain AC_amplifier" (boutons de contrôle de la sensibilité)

   (b) Les voyants d'états (OVLD, ULINK, etc...) et leur signification.

4.1 Vérification de la chaîne de détection synchrone

1. Pour comprendre le fonctionnement de l'appareil et vous entraîner à sa manipulation, vérifiez en envoyant **la même sinusoïde de** $1k\,Hz$ **de** $500\,mV$ *crête à crête* **sur les 2 entrées** (INPUT de référence et A de signal), que l'on est capable de mesurer correctement l'amplitude du signal.
2. Vous déterminerez en particulier ce que mesure le SR510 : valeur crête à crête, valeur efficace, etc...

4.2 Caractérisation du filtre passe-bande d'entrée.

1. A l'aide des deux générateurs HP33120 A, caractérisez le filtre passe-bande d'entrée : "Auto-tracking bandpass filter". Attention comme son nom l'indique, ce filtre est centré sur la fréquence de référence. Le premier générateur sert ainsi de référence locale pour le SR510. Le second générateur permet d'avoir une fréquence pour le signal d'entrée variable autour de la fréquence de référence. Faites attention aux niveau de sortie des 2 générateurs pour qu'ils restent dans la plage de fonctionnement du détecteur synchrone.
2. Déterminez notamment le rapport $\frac{\Delta f}{f_c}$ à -3 dB, ainsi que l'atténuation à la fréquence centrale.
3. Commentez.

4.3 Étude du détecteur complet

4.3.1 Sensibilité

1. Avec le matériel dont vous disposez, vous pouvez mettre en œuvre quatre méthodes pour recevoir le signal sur l'antenne de réception :

   (a) Amplification simple.

   (b) Amplification + moyennage statistique (mode "average" de l'oscilloscope).

   (c) Filtrage + amplification en utilisant le filtre d'entrée du SR510,

   (d) Détection synchrone sans filtrage,

   (e) Filtrage + détection synchrone.

À quoi sert “l’Auto-tracking bandpass filter” dans la chaîne de mesure, et quel peut être son inconvénient ? Pensez notamment à un signal de bande passante utile élevée.

2. Avec le système d’émission/réception de la manipulation préliminaire et pour chacune des cinq méthodes précédentes :

(a) Déterminez le plus petit niveau de signal qu’il est possible de détecter

(b) Notez alors la portée du système.

(c) Précisez en particulier pour le moyennage statistique les restrictions d’utilisation. Expliquez pourquoi le moyennage statistique, s’apparente quelque peu à une détection synchrone.

4.3.2 Pouvoir de séparation

On travaille maintenant sans les antennes. Le signal à considérer est dorénavant la somme de deux sinusoïdes de fréquences proches et de même amplitude. Pour réaliser cette somme, vous utiliserez le circuit sommateur simple à résistances pour lequel le signal V_m s’écrit en sortie du sommateur : $V_M = \frac{V_1+V_2}{2}$.

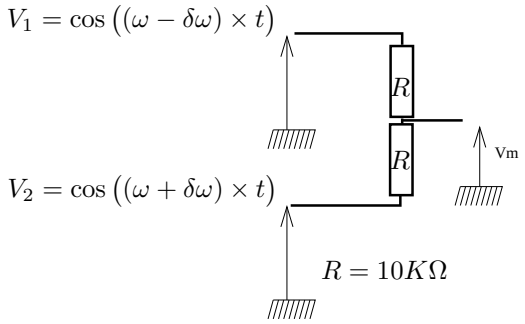


FIGURE 3 – Circuit de mélange

1. Analysez l’allure du signal de sortie du détecteur synchrone (connecteur OUTPUT en façade du SR510). Ce signal est proportionnel à la mesure du SR510. C’est en fait le signal électrique qui pilote le déplacement de l’aiguille du cadrant du SR510. Il permet d’observer par exemple des variations lentes de la mesure en le branchant sur un oscilloscope.
2. Vérifiez que ce signal permet de mesurer la différence de fréquence entre $V_1(t)$ et $V_2(t)$.
3. Expérimentalement, quelle est la plus petite valeur de $\delta\omega$ qui vous permette de mesurer V_1 sans être perturbé par V_2 ?
4. À votre avis, de quel filtre de la chaîne de mesure dépend cette valeur ?
5. Quel est le facteur de qualité $Q = \frac{f_0}{\Delta f}$ (Δf est la largeur à $\frac{1}{2}$ hauteur (en dB) et f_0 la fréquence de résonance) d’un circuit résonnant qu’il faudrait utiliser pour obtenir les mêmes performances ?
6. Commentez.

5 Annexe A

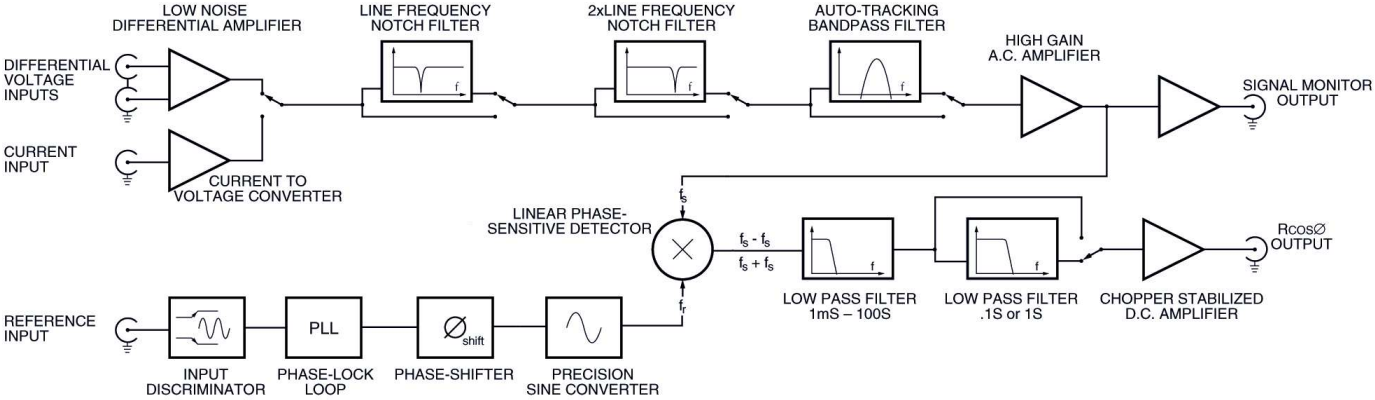



Schéma fonctionnel du détecteur synchrone SR510m.