

Evan Lorvellec  
Adrien Siguier  
Guillaume Le Ruyet



UNIVERSITÉ  
TOULOUSE III  
PAUL SABATIER



Université  
de Toulouse

Master IDIM  
Semestre 7

Session 2023-2024  
Bureau d'Étude

## DÉCOUVERTE D'UN LOCK-IN AMPLIFIER

I.	Introduction:	2
	1. Utilisation d'un Oscilloscope	
	2. Le Lock-IN Amplifier	
II.	Utilisation d'un Lock-IN	3
	1. Utilisation simple	
	2. Polyvalence de l'instrument	
IV.	Conclusion :	6

# I. Introduction :

## 1. Utilisation d'un Oscilloscope

On s'intéresse ici par le biais d'un Générateur Basse Fréquence (GBF) de créer un signal sinusoïdale délivrant le signal suivant :

$$V_{sig}(t) = \sqrt{2}V_{sig0}\sin(w_0t + \theta_{sig})$$

$\theta_{sig}$  : Phase à l'origine ici égale à **+31°**.

$V_{sig0}$  : Amplitude du signal ici égale à **500 mV**.

$f_0$  : Fréquence du signal égale ici à **10 kHz**.

Le GBF va nous permettre de pouvoir sur une voie (1 ou 2) afficher le signal en fonction du temps et faire des mesures.

Avec le signal seul on ne peut mesurer la valeur de  $\theta_{sig}$  car cette valeur correspond à la phase du signal entré à la voie 1 par rapport au signal de référence.

Étant donné que l'oscilloscope applique ses mesures sur ce qu'il y a à l'écran, il nous faut donc insérer sur la 2e voie, le signal de référence et l'afficher.

Ainsi on est en capacité de mesurer la phase n'étant pas exactement égale à celle envoyé depuis le GBF

Plusieurs éléments peuvent expliquer cette différence :

- Influence de l'impédance de l'oscilloscope.
- Déphasage dû au couplage qui possède une certaine inductance et capacité.
- La calibration de l'oscilloscope.

## 2. Le Lock-IN Amplifier

Le Lock-IN Amplifier est un instrument de mesure utile pour extraire de manière sélective une ou des composantes du signal.

En ce sens, cet instrument permettrait d'extraire d'un signal bruité des données utiles ou que l'on cherche à mesurer et ce grâce à une référence du signal recherché à la même fréquence. Il permet donc de détecter des signaux faibles dans un environnement très ou peu bruité.

Le lock-in est composé de plusieurs éléments clés à son fonctionnement :

- Modulation du signal : On multiplie grâce à des multiplicateurs le signal d'entrée (bruité ou non) à un signal de référence sinusoïdale à la fréquence de modulation.
- Filtrage : On filtre le signal modulé pour éliminer les hautes fréquences parasites pour ne garder que la composante à la fréquence de modulation.
- Extraction de la valeur efficace de notre signal avec son déphasage à l'origine.

## II. Utilisation d'un Lock-IN

### 1. Utilisation simple

Le lock-IN possède 2 "channels" d'entrée, un pour le signal et un pour la référence ainsi que 2 sorties.

Pour étudier correctement le signal il nous faut choisir la bonne constante de temps.

Celle-ci est essentielle tant qu'elle permet de déterminer la vitesse à laquelle le lock-IN réagit aux divers changements dans le signal d'entrée et comment est filtré ce signal :

- Elle nous permet de déterminer la largeur de la bande passante du filtre passe bas.
- Elle influence aussi la réponse temporelle du lock-IN. Une constante de temps basse rend le système très réactif aux changements rapides du signal, mais entraîne une plus grande sensibilité au bruit. Une constante de temps plus longue le rendrait plus stable, mais plus lent à suivre les variations du signal.

Il faut alors minutieusement choisir notre constante de temps pour ajuster sensibilité et stabilité de notre système.

## 2. Polyvalence de l'instrument

L'intérêt sera ici d'effectuer une analyse spectrale d'un signal périodique par décomposition de Fourier à partir d'une fréquence de **1 kHz** et d'une amplitude E de **100 mV**.

On va donc ici s'intéresser aux mesures de  $V_{sig}$  et  $\theta$  avec la bonne constante de temps et les comparer à celle de l'oscilloscope pour un signal d'entrée avec une phase nulle en utilisant le bouton Harm fixant l'entier n de la fréquence des signaux :

$$V_{ref}(t) = \sqrt{2} \sin(n\omega_0 t + \theta_{deph})$$

(Amplitude en mV)

$$V_{ref\perp}(t) = \sqrt{2} \sin(n\omega_0 t + \theta_{deph} + \pi/2)$$

Mesure	1	2	3	4	5	6	7	8
$\theta_{sig}$	+0.08°	0	+0.27°	0	+0.42°	0	+0.5°	0
$V_{sig0}$	179.90	0	59.9	0	35.98	0	25.7	0
oscillo $V_{sig0}$	180.96	0	60.84	0	37.44	0	26.52	0

On remarque sur ces mesures plusieurs choses :

- Les mesures de l'angle theta correspond, en considérant les influences citées plus haut, à l'angle défini dans le GBF.
- Les amplitudes mesurées par l'oscilloscope et le Lock-IN sont très proches, la différence s'explique encore une fois par les problèmes soulevés plus haut.
- L'amplitude et la phase sont nulles pour les n paires.

Ces observations s'expliquent par l'égalité de Parseval :

$$\begin{aligned}
 b_n &= \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} x(t) \sin(n \omega_0 t) dt \\
 &= \frac{2}{T_0} \left[ \int_0^{T_0/2} E \sin(n \omega_0 t) dt + \int_{T_0/2}^{T_0} E \sin(n \omega_0 t) dt \right] \\
 &= \frac{2E}{T_0} \left[ \left[ -\frac{\cos(n \omega_0 t)}{n \omega_0} \right]_0^{T_0/2} + \left[ \frac{\cos(n \omega_0 t)}{n \omega_0} \right]_{T_0/2}^{T_0} \right] \\
 &= \frac{2E}{T_0} \left( \left[ \frac{-\cos\left(\frac{n \omega_0 T_0}{2}\right)}{n \omega_0} + \frac{1}{n \omega_0} \right] + \left[ \frac{\cos(n \omega_0 T_0)}{n \omega_0} - \frac{\cos\left(\frac{n \omega_0 T_0}{2}\right)}{n \omega_0} \right] \right) \\
 &= \frac{2E}{T_0 n \omega_0} \left( \left[ 1 - \cos(\pi n) \right] + \left[ \cos(n\pi) - \cos\left(\frac{n\pi}{2}\right) \right] \right) \\
 &= \frac{2E}{n\pi} [1 - 1(-1)^n] \\
 \text{• n pair : } b_n &= 0 \\
 \text{• n impair : } b_n &= \frac{4E}{n\pi} \quad \times \sqrt{2} \quad \text{pour travailler avec rms}
 \end{aligned}$$

L'identité de Parseval est vérifiée.

### III. Conclusion

Nous avons pu montrer, pour des signaux simples, que le Lock-IN amplifie à la capacité de restituer complètement avec avec précision un signal tant que l'on a sa référence à la même fréquence.

Nous avons aussi pu montrer sa polyvalence par la démonstration de l'identité de Parseval avec l'exclusion des fréquences à des  $n$  pairs.

Le Lock-IN Amplifier est un outil très utile qui trouve sa place dans de multiples domaines et permet de montrer expérimentalement plusieurs formules comme les relations de Kramers-Kronig.

L'instrument s'applique dans de nombreux domaines : spectroscopie, électronique, microscopie à force atomique, imagerie médicale, optique non linéaire (Kramers Kronig) et bien d'autres.