

CORRECTION DE LA LP23 : TRAITEMENT DU SIGNAL. ÉTUDE SPECTRALE.

Mardi 5 Décembre 2017

Jean-Yonnel Chastaing¹, Samuel Boury²

Préparation à l'Agrégation de Physique option Physique 2017-2018, Ecole Normale Supérieure de Lyon

Remarque préliminaire : Les éléments de correction qui sont donnés à l'oral et dans cette fiche corrective portent sur la leçon qui a été présentée, et uniquement sur celle-ci. Le choix du contenu de la leçon et la façon dont elle a été présentée sont deux choses différentes. Par ailleurs, il n'y a pas de plan parfait pré-établi ; nous vous donnons uniquement des références et des pistes de réflexion pour qu'ensuite vous fassiez vos propres choix.

Rapports de Jury

2017 : Ce n'est pas une leçon sur le filtrage qui est attendue ; il ne faut pas se réduire à l'étude d'un ou plusieurs filtres électroniques.

2016 : Cette leçon ne peut en aucun cas se réduire à la simple étude de la théorie de Fourier.

2015 : Cette leçon ne doit pas se réduire à un catalogue de systèmes de traitement analogique du signal. Elle peut aussi mettre en exergue des méthodes numériques enseignées notamment dans les programmes de CPGE.

Jusqu'en 2014, le titre était : *Traitement analogique d'un signal électrique. Étude spectrale.*

Jusqu'en 2013, le titre était : *Traitement analogique d'un signal électrique. Étude spectrale. Exemples et applications.*

2010 : L'analyse de Fourier est centrale dans cette leçon, et les oscilloscopes numériques permettent de la mettre en oeuvre très facilement. Il est tout à fait possible d'étudier des systèmes non linéaires.

Les remarques générales sur la leçon

Dans l'ensemble, le contenu de la leçon est cohérent par rapport aux attentes du jury sur cette leçon : il n'y a pas que du filtrage ou de la transformée de Fourier. Néanmoins, la présentation manquait de rigueur mathématique, de clarté dans les propos et de précision dans les termes utilisés. Par ailleurs, la leçon avait tendance à être floue à cause de phrases tronquées (ou reformulées plusieurs fois) ou par manque de temps.

- Il est très bien d'avoir axé votre leçon sur les signaux sonores. Le jury apprécie car cela change du très classique signal électrique.
- Vous annoncez les séries et transformée de Fourier comme pré-requis, avant de les redéfinir dans la leçon. Si vous faites cela, la leçon se situe au niveau L3 ; mettez alors éventuellement des rappels sur transparent. Sinon, mettez la leçon au niveau L2 et définissez tout cela proprement en y mettant de la physique.

1. jeanyonnel.chastaing@ens-lyon.fr

2. samuel.boury@ens-lyon.fr

- Vous utilisez/définissez dans votre leçon plusieurs théorèmes (Parseval, Plancherel, ...) qui supposent une certaine rigueur mathématique. Si vous prenez ce parti, faites en sorte que toutes les définitions soient propres et justes. En particulier, annoncez que la TF n'est définie que pour des signaux de carré intégrables (ce qui est le cas en physique). Dans tous les cas, il est impératif de dire que la Série de Fourier n'est définie que pour des signaux périodiques, contrairement à la Transformée de Fourier.
- Faites attention aux tics de langage "abrégé en SLIT, vous comprenez bien", "Vous avez ça, vous êtes contents".
- Depuis que le titre ne parle plus que de signal (pas forcément analogique), il semble important de parler de signal numérique. Nous y reviendrons à la fin de ce rapport. De même, comment ne pas mentionner/illustrer le terme de "bruit" en parlant de traitement du signal ?

Retour sur la leçon

Introduction : Exemple du signal de Canal Plus analogique "crypté". Question : comment avoir un son audible ? L'exemple est original est porte sur un signal sonore et non électrique. Malgré tout, on reste sur la problématique de la modulation-démodulation, finalement assez classique.

1 Etude spectrale

Il est très bien de démarrer par cet aspect, trop souvent oublié par les candidats.

1.1 Son pur

- Il faut à tout prix définir les quantités dont vous parler. Vous ne pouvez pas parler de signal et écrire $A \cos(\omega t)$ sans plus d'explication. Vous réécrivez la définition d'un Dirac alors que vous l'annoncez comme pré-requis et vous l'appliquez à une signal de fréquence f_0 . D'où vient le f_0 ? Lien avec ω ?

- Je pense que votre discussion sur la densité spectrale d'énergie ou de puissance serait appréciée par le jury, dans la mesure où le terme de "spectre" recouvre effectivement beaucoup de quantités physiques différentes.

- Lorsque vous définissez une notion, faites en sorte de l'écrire correctement. Dans votre cas, tous les coefficients des séries de Fourier, la puissance et la densité spectrale d'un signal étants mal définis. Cela fait beaucoup dès le début de la leçon.

1.2 Son complexe

- Il est très bien de montrer la construction harmonique par harmonique d'un signal carré à l'aide d'un code python. Le jury apprécie cela. Mais il faut absolument expliquer comment vous choisissez les harmoniques et la pondération ! Vous auriez d'ailleurs pu comparer la convergence vers un signal carré ou triangle et, à l'occasion, parler de convergence simple ou uniforme. Il aurait été bien de montrer les signaux en temporel et en fréquentiel afin de montrer l'évolution dans les deux espaces.

- Il est très bien de donner un sens physique aux coefficients d'une série de Fourier (valeur moyenne, harmoniques, ...). De même utiliser les spectres des signaux C+ est une bonne chose (signaux réels, issus de la "vraie vie"), mais il faut penser à définir les axes et les unités des quantités présentées.

2 Modulation

Faites attention à ne pas restreindre la modulation à la modulation en fréquence que vous étudiez ici. Par ailleurs, quand vous exposez le principe, donnez des ordres de grandeur de la fréquence de la porteuse

par rapport aux fréquences contenues dans le signal.

3 Filtrage

- Il est impératif de définir la fonction de transfert avant de présenter l'exemple du filtre RC. D'ailleurs sur cet exemple, vous vous êtes embrouillé en commençant la limite basse fréquence puis en définissant le gain, puis en revenant sur la limite haute fréquence. Sur un exemple basique comme celui-ci, vous devez définir proprement les quantités (SLIT, Gain, Phase, Fonction de Transfert) avant de l'appliquer à votre exemple. Ne mélangez pas tout !

- Faites attention à l'homogénéité de vos équations : $\omega/(RC) \ll 1$. Cela ferait hurler un jury, surtout si vous n'identifiez pas rapidement le problème lors des questions. Il est ici nécessaire de définir et tracer proprement (pas à main levée) les asymptotes et de donner les courbes réelles en justifiant le -3dB à la fréquence de coupure.

- Présenter à l'oscilloscope l'effet d'un RC sur un signal sinusoïdal est une bonne chose. En revanche, faites choses bien (évitez "Autoscale") et ne modifiez pas en même temps la fréquence du signal et l'échelle en temps de l'oscilloscope.

- Vous présentez une liste de filtres qui se veut exhaustive. Il faut alors parler de filtres passe-tout déphaseurs, de filtres actifs ou encore non-linéaires.

4 Numérisation

Parler d'échantillonnage avec tous les problèmes que cela pose est une très bonne chose dans cette leçon. On peut cependant regretter de ne pas utiliser l'exemple du repliement de spectre pour illustrer expérimentalement l'utilisation d'un filtre anti-repliement

Quelques pistes

Les choix faits pour cette leçon sont les vôtres et nous ne proposons ici que des alternatives. À vous de faire votre choix !

- La notion de bruit nous semble trop importante dans la problématique des signaux réels pour ne pas en parler. On peut imaginer parler du rapport signal sur bruit, des sources de bruit, du filtrage des bruits haute-basse fréquence...
- Le traitement du signal est présent dès qu'on fait une moyenne sur un oscilloscope. On pourrait utiliser cet outil comme fil conducteur pour la leçon.
- Pour changer du filtrage temporel-fréquentiel, on peut présenter l'expérience d'optique de filtrage spatial (montage 4f). Elle est convaincante et très visuelle, tout en permettant de discuter les filtres haute-basse fréquences et leurs conséquences sur l'image.
- La détection synchrone (modulation-démodulation) est très utilisée dans la "vraie vie". N'hésitez pas à présenter des exemples concrets.
- Il nous semble important de parler de signaux numériques (0-1 soit 0-5V). Pour cela, un simple laser coupé par un hacheur optique et orienté vers une photo-diode vous donne une illustration de ce type de signal. De même, le signal TTL d'un GBF est un exemple simple et concret.

Questions à se poser

- Avantages et inconvénients d'un filtre actif ? (adaptation d'impédance et petits signaux mais bruit car alimentation extérieure et non-linéarités si saturation)
- D'où vient le 20 dans la définition du gain d'un filtre ? (2 : gain en puissance * 10 : déci-bel)
- Les filtres passifs ont-ils toujours un gain inférieur à 1 ? (en puissance oui, en amplitude non)

- Comment fonction la FFT d'un oscillo ? Pourquoi a-t-on un pic large et non un dirac pour un sinus en entrée ? (Fenêtre temporelle finie)
- Quelles différences entre signal analogique/échantillonné/numérique/numérisé ? (analogique : continu en temps et en valeur / échantillonné : discret en temps, continu en valeur / numérisé : discret en temps et en valeur / numérique : discret en temps de valeur 0 ou 1).