

CORRECTION DU MP24 :

SIGNAL ET BRUIT

Vendredi 26 janvier 2018

Présenté par Oliver TOLFTS –
Samuel Boury¹, Charles-Édouard Lecomte²

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 correctrice portent sur le montage qui a été présenté, et uniquement sur celui-ci. Le choix du contenu du montage et la façon dont il a été présenté 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.

Rapport du jury

Le montage a été introduit l'an dernier et remplace le MP *traitement du signal*.

La mesure du bruit thermique d'une résistance est une très jolie expérience à la condition de comprendre les différents étages d'amplification nécessaires dans ces expériences. L'utilisation de boîtes noires non justifiée a été sanctionnée par le jury.

Quelques commentaires généraux

Le montage étant relativement nouveau il faut innover un peu. En ce sens, de bons points sont à relever : l'expérience avec la lampe et la récupération de son signal optique permet de présenter quelque chose que le jury n'a pas forcément l'habitude de voir. Elle permet de mettre en place une détection synchrone ou une chaîne d'acquisition complète qui a tout à fait sa place dans le montage. Dans l'ensemble, les grandes idées concernant le signal et le bruit étaient abordées et dans un ordre pertinent.

L'exposé de notions physiques, que ce soit devant un jury le jour de l'oral ou devant une classe d'élèves plus tard, demande de la rigueur et de la clarté qui auraient été bienvenues ici. Le montage s'intitule *signal et bruit* : commencez par définir clairement ce dont il s'agit. Qu'est-ce qu'un signal ? Qu'est-ce que le bruit ? Qu'est-ce qu'un signal bruité ? Essentiellement, on attend que vous parliez d'information (signal) et de perturbation (bruit). Il peut être judicieux d'expliquer rapidement les différentes origines du bruit sur un signal et de préciser qu'il en existe plusieurs (bruit blanc, bruit rose, bruits colorés en général). Expliquer de façon claire et détaillée un montage expérimental utilisé est essentiel, vous êtes aussi jugé là-dessus : si le jury comprend mal, ou pas, ce que vous faites, c'est mauvais signe ! Les montages, comme la démarche adoptée pour les mesures, n'étaient pas clairement présentés. Quant aux montages électroniques, n'oubliez pas que le jury peut venir les examiner pour comprendre ce qu'ils font, essayez de les rendre le plus présentable possible en les organisant bien (pas de fils emmêlés ni de câbles qui traînent

1. samuel.boury@ens-lyon.fr

2. charlesedouard.lecomte@ens-lyon.fr

partout!). Vous pouvez aussi indiquer les valeurs des composants utilisés au tableau pour des montages simples. Enfin, il est important de sortir (ou demander, le jour de l'oral) et de lire la notice des appareils utilisés : vous aurez très probablement des questions sur leur nature et leur fonctionnement!

Faites attention à la façon dont vous amenez les idées les unes après les autres. Le montage présenté avait une cohérence d'ensemble, mais il est possible de lui donner un côté beaucoup plus "pratique" et "appliqué" : le traitement du signal et les problématiques liées au bruit sont omniprésentes aujourd'hui!

À l'oral, on juge aussi la façon dont vous présentez des sujets et dont vous vous exprimez. Il faut donc faire attention au niveau de langue que vous utilisez et aux expressions que vous employez : je vous conseille de bannir les "je vous propose" (faites-le, vous décidez), les "ça on en reparlera plus tard si on a le temps" (le jury aura le temps, ne vous inquiétez pas), les "on est content" (en général, non, on n'est pas content), etc. Surtout, ne concluez pas le montage en vous auto-congratulant sur la qualité de vos manips. Au passage, ce ne sont pas "vos" oscilloscopes, "vos" générateurs, "vos" signaux ...

Enfin, évitez de rester muet. C'est long une minute, et c'est 2,5% de votre temps ... que vous pouvez exploiter en expliquant ce que vous faites!

Sur la leçon elle-même

1 Introduction (1 min 30)

L'introduction manquait d'efficacité. Il faut démarrer directement en définissant *signal*, *bruit* et *signal bruité*, et commencer à manipuler plus vite. Dites rapidement qu'il existe plusieurs types de bruit et que vous n'utiliserez qu'un bruit blanc par la suite, le jury ne se posera pas la question de savoir si vous pensez que tout bruit est blanc. Sur l'origine du bruit, on pourra lire Asch, *Acquisition de données* qui est assez exhaustif ou bien Manneville *Traitement du signal et composants - Tome 1* (p.124) ou Pérez, *Électronique* (p.842) qui sont un peu plus concis.

2 Quantification du bruit (9 min)

Il faut effectivement commencer par là, c'est le cœur du problème. Il faut bien sûr définir un rapport signal sur bruit, mais précisez tout ce que vous utilisez (le définir en énergie : comment calculez-vous cette énergie?). Pensez aux notations, on note généralement RSB pour le rapport signal sur bruit et on se réserve R pour des résistances.

Le traitement qui suit pour calculer des RSB était pertinent, mais il aurait gagné à être plus clairement présenté. L'obtention d'un RSB nul, bien que possible théoriquement, interpelle : ce n'est pas que "vous avez trop bien filtré" mais probablement acquis avec une mauvaise sensibilité ou mal choisi les signaux. Les signaux sans aucun bruit sont durs à obtenir ...

Lorsque vous utilisez LatisPro, ou tout autre logiciel d'acquisition, expliquez systématiquement ce que vous faites. Que change ce "niveau de validité"? Pourquoi cette méthode pour calculer la transformée de Fourier? Pourquoi faut-il plus de périodes? Pourquoi augmenter la résolution?

Le jury insiste sur le fait qu'il faut connaître des détails sur la transformée de Fourier, sur le choix de la période d'acquisition de la fréquence d'échantillonnage, des fenêtres, et également sur le calcul de la transformée de Fourier numérique (voir Pérez p.691 par exemple).

3 Mesure d'une tension continue bruitée (12 min 30)

Cette partie présentait un montage CAN double rampe. Avoir une section sur la mesure d'un signal en elle-même est pertinent dans ce montage si elle est bien réalisée. Si vous n'êtes pas à l'aise sur le CAN double rampe, vous pouvez aussi faire un CAN simple rampe : ces montages ont beaucoup de potentiel et peuvent constituer une bonne partie de la présentation!

Si vous choisissez le CAN double rampe, expliquez comment il fonctionne de façon claire et sachez l'exploiter comme il faut ensuite. Mesurer le temps de montée de la rampe n'est pas forcément le plus pertinent dans ce cas. Ne pensez pas que "relier toutes les masses entre elles au cas où" soit une bonne chose à faire et à dire : c'est souvent mieux d'avoir une masse commune, parfois non, et ça laisse sous-entendre que ça règle des problèmes de façon un peu magique.

La mesure de la tension était bonne, mais quand le résultat est annoncé avec une incertitude faites attention, cela doit rester cohérent, et vérifiez *vraiment* que la mesure correspond à ce qu'on attendait.

4 Acquérir un signal noyé dans du bruit (17 min)

L'expérience présentée est bien choisie et a toute sa place dans le montage. Débruiter le signal reçu d'une lampe qui clignote permet de montrer que tout signal n'est pas électrique et que vous pouvez appliquer des méthodes de traitement du signal à un problème concret.

Soyez clair cependant sur ce que vous faites : d'une part le matériel utilisé doit être connu (demandez-vous toujours : qu'est-ce que c'est comme capteur ?) et d'autre part la démarche doit être explicite (vous pouvez faire un schéma en rappelant quel bloc fait quoi, séparer physiquement les éléments sur la table pour que ce soit bien clair, etc).

La récupération du signal a bien fonctionné mais aurait pu être mieux menée. Le montage apparaissait un peu "magique" par moments : évitez de dire que si vous bougez la mesure va être perturbée et que, justement, vous venez de bouger donc on ne s'étonnera pas si la mesure est mauvaise. Choisissez mieux les paramètres : filtrer à 50Hz n'est pas le plus judicieux quand il s'agit de récupérer un signal dans ce type de montage ... Enfin, n'annoncez pas les résultats avant d'avoir terminé la mesure, le jury ne vous écoutera plus !

Quelques questions posées

Qu'est-ce qu'un filtre de Butterworth ?

Il s'agit d'un filtre qui a une réponse plate dans sa bande passante (c'est souvent le cas pour des filtres du premier ordre, c'est moins évident pour les ordres supérieurs). Sur les réponses de filtres, voir Manneville, *Systèmes bouclés linéaires, de communication et de filtrage - Tome 2* (p.194).

Qu'est-ce qu'un bruit coloré ?

Des bruits "usuels" ont été définis en selon leur densité spectrale de puissance, lorsque celle-ci se répartit en $1/f^k$. Lorsque $k = 0$ la densité spectrale en puissance est uniforme sur tout le spectre, ce qui correspond à un bruit blanc. Pour $k = 1$, on obtient un bruit rose.

Peut-on définir le rapport signal sur bruit d'une autre façon ?

Le rapport signal sur bruit peut être défini de plusieurs façons, soit comme le rapport des énergies du signal informatif et du bruit (préférez parler de puissance), soit par le rapport de leurs amplitudes (ou son carré), soit par le rapport variance de la distribution spectrale lorsqu'elle est connue. L'important dans ce montage c'est de bien poser une définition et de s'y tenir.

Que dire d'un rapport signal sur bruit nul ?

La mesure est mal réalisée. Quand on calcule un rapport signal sur bruit, il est plus judicieux de comparer le signal obtenu (signal bruité) au bruit estimé (signal bruité auquel on enlève sa moyenne, c'est-à-dire qu'on ne conserve que ses fluctuations).

Comment fonctionne la détection synchrone ?

C'est une mesure fréquentielle indirecte. On utilise un signal de fréquence connue pour récupérer la fréquence à mesurer (hétérodynage) et on réutilise ce même signal pour effectuer la mesure (détection synchrone).

Le CAN simple rampe est-il plus ou moins sensible au bruit que le CAN double rampe ?
Le montage double rampe sera moins sensible au bruit.

Dans le montage simple rampe, on compare la tension d'entrée à une rampe modèle. Lorsque ces deux tensions sont égales, on prend la valeur atteinte par la rampe comme valeur mesurée. Dans ce cas, les fluctuations liées au bruit sur le signal d'entrée modifient la mesure, car on ne regarde que l'égalité des tensions à un instant donné.

Dans le montage double rampe, la tension d'entrée est d'abord intégrée. On mesure le temps d'intégration, correspondant à la charge d'une capacité, puis le temps de retour à zéro, correspondant à la décharge du condensateur. On ne mesure plus le signal à un temps donné comme dans le montage simple rampe, mais sur un temps long : on obtient sa valeur moyenne et le bruit est lissé.

Le temps caractéristique est-il le même pour les deux CAN ?

Non, en particulier il est indépendant des composants choisis (R , C) dans le cas du double rampe.

Éléments de bibliographie

1. ASCH. *Acquisition de données. Du capteur à l'ordinateur*. Dunod, 1999.
2. DUFFAIT. *Expériences d'électronique à l'agrégation de sciences physique*. Bréal, 2010.
3. MANNEVILLE, ESQUIEU. *Traitement du signal et composants*. Dunod, 1990.
4. MANNEVILLE, ESQUIEU. *Systèmes bouclés linéaires, de communication et de filtrage*. Dunod, 2005.
5. PÉREZ. *Électronique. Fondements et applications*. Dunod, 2012.