

MP23 - Mise en forme, transport et détection de l'information.

26 janvier 2018 - Présentée par Elise CAMUS -

Correction : S. BOURY, C.-E. LECOMTE¹

Le présent compte-rendu a pour but de résumer et compléter la discussion qui a suivi la présentation de la leçon en classe. Bien entendu, il est partiel et partial, et n'est qu'un point de vue qui n'engage que son auteur. Rappelons que c'est vous qui présenterez les leçons en fin d'année, et que c'est donc à vous de décider de ce que vous voulez en faire.

Rapport du jury

Je résume ici les attentes du jury pour cette leçon spécifiquement, extraite des rapports du jury des années précédentes. Ceux-ci sont compilés dans le Book 2016.

La transmission de signaux numériques n'est malheureusement jamais abordée.

Ce montage ne se restreint pas à la modulation d'amplitude. Il semble en particulier important d'aborder le cas des signaux numériques modernes. Dans le cas de la démodulation synchrone, le problème de la récupération de la porteuse est systématiquement passé sous silence.

Comme l'indique son titre, ce montage comporte trois parties d'égale importance; il se prête bien à la réalisation d'une chaîne complète traitant des trois aspects. Il est souhaitable de connaître les différentes solutions technologiques employées dans les applications de la vie quotidienne. Ce montage suppose une connaissance argumentée des choix en radio AM, radio FM, téléphonie mobile... Il convient aussi de se demander comment passer de l'étude élémentaire d'un signal informatif purement sinusoïdal au cas d'une ou plusieurs conversations téléphoniques par exemple. Rappelons enfin l'importance des fibres optiques en télécommunications.

Une expérience qualitative de transmission par fibre optique n'a d'intérêt que si elle fait intervenir des dispositifs dont l'un au moins a été étudié par le candidat.

Remarques générales

1 Forme

Le montage qui a été présenté est globalement correct et correspond à ce qui est attendu à l'agrégation.

L'introduction et la conclusion influent beaucoup sur le ressenti qu'a le jury sur votre exposé. Il faut bien les soigner. L'introduction a été très courte, ce qui est un point positif, il permet de vite commencer les manipulations.

En revanche, il faut éviter de dépasser le temps imparti pour le montage. Le jour J, le jury vous prévient

quelques minutes avant la fin. Il faut alors terminer l'expérience en cours et conclure. Ne cherchez pas à expliquer les expériences que vous n'avez pas eu le temps de traiter. D'une part, c'est difficilement compréhensible car fait trop rapidement sous le coup du stress, et d'autre part, le jury attend des expériences, et des explications sans manipulation ne seront pas valorisées. Enfin, le jury risque de vous couper et vous n'aurez alors pas eu le temps de conclure. A priori, le jury ne sanctionne pas le fait de ne pas avoir traité tout votre tableau. Il pourra éventuellement vous demander quelques précisions sur les expériences qui n'auraient pas été traitées.

Le tableau est bien tenu : y figurent les schémas des manipulations, les relations attendues, les résultats obtenus accompagnés de leur incertitude.

À chaque fois, les dispositifs expérimentaux ont bien été décrits et les manipulations correctement effectuées : le jury juge aussi votre aptitude à expliquer ce que vous faites et votre connaissance du fonctionnement des appareils que vous utilisez.

Un petit peu de temps a été perdu sur les applications numériques et le calcul des incertitudes. Je recommande d'utiliser une feuille de calcul Excel pour faire les applications numériques. Cela permet de gagner du temps et diminue grandement les risques d'erreurs de calcul qui peuvent vous faire perdre bêtement du temps.

Attention aussi à ne pas utiliser trop de matériel : je ne pense pas qu'il sera possible d'avoir six GBF et trois oscilloscopes le jour J. Entraînez vous à utiliser moins de GBF et à utiliser ceux-ci pour plusieurs expériences.

Je conseille toujours à tous la lecture du rapport du jury² sur le montage de physique de 2017, qui est complet sur les attentes du jury sur cette épreuve. Prenez le temps de le lire plusieurs fois au cours de l'année, surtout les conseils généraux pour le montage.

2 Fond – conseils pour la présentation

La partie sur le câble coaxial a duré trop longtemps : il faut trouver le moyen de traiter cette partie plus vite pour dégager plus de temps pour présenter la modulation de fréquence et en particulier la boucle à verrouillage de phase.

Comme l'indique le jury, ce montage se prête bien à l'illustration de l'ensemble de la chaîne modulation-transport-démodulation : c'est sans doute un point faible du montage. Il est possible pour conclure le montage de moduler deux signaux sonores à des fréquences différentes, de les sommer au moyen d'un sommateur à AO (multiplexage), et de démoduler en sortie du câble aux deux fréquences différentes. On illustre ainsi le transport de différents signaux au sein du même canal d'informa-

1. charlesedouard.lecomte@ens-lyon.fr <http://perso.ens-lyon.fr/charlesedouard.lecomte>

2. À l'adresse http://www.agregation-physique.org/images/rapports/2017/rapport_AEPC_2017.pdf

tion.

La modulation de fréquence doit être plus longuement discutée : en particulier l'encombrement fréquentiel, on peut par exemple illustrer la règle de Carson comme cela avait été prévu (voir Manneville/Esquieu [2]) : c'est une manipulation quantitative intéressante et relativement simple à mettre en oeuvre. Ensuite, il est impératif de câbler et de discuter une boucle à verrouillage de phase dans ce montage : c'est un composant dont l'importance est fondamentale en électronique.

Comme le jury s'en est plaint l'année dernière, il peut être bienvenu (même si rien n'est obligatoire) de présenter l'étude de signaux numériques, on peut par exemple penser la modulation FSK. Pour des détails sur les signaux numériques, le livre de F. Manneville et J. Esquieu, *Systèmes bouclés linéaires, de communication et de filtrage* [2] est très bien. Ayez également des idées précises sur le codage de l'information en électronique numérique.

Concernant les incertitudes, il faut questionner le but du montage : s'agit-il d'un montage à visée métrologique où le but est-il la mise en évidence de phénomènes physiques ? On se situe ici plus dans le second cas, la discussion des incertitudes apparaît moins fondamentale : c'est pour cela qu'il n'est pas nécessaire de discuter l'ensemble des incertitudes.

Par contre, c'est très bien d'avoir utilisé systématiquement des appareils de mesure (en général les multimètres type Fluke 187 font toutes les fonctions demandées, à part la mesure d'inductance) : ohmmètre pour la mesure de la résistance d'une boîte à décades, fréquencemètre pour la fréquence d'un signal, etc. pour connaître l'incertitude sur la valeur obtenue. On consultera la notice des appareils (elle est la somme d'une fraction de la mesure et d'une valeur constante).

Certaines grandeurs, comme le taux de modulation, n'ont pas vocation à être mesurées avec une précision métrologique et il n'est dans ce cas pas nécessaire de s'étendre sur les incertitudes. Il n'est également pas obligatoire de faire figurer les incertitudes sur un diagramme de Bode.

Retour sur la présentation

Introduction (30 s)

L'introduction était courte et portait sur les systèmes de télécommunications. Cela a permis d'introduire la problématique et de commencer rapidement les manipulations

1 Le câble coaxial (18 min 30)

Cette partie a été trop longue. Il faudrait y passer moins de dix minutes dans l'idéal.

1.1 Propagation dans un câble coaxial (6 min)

La première manipulation effectuée a consisté en la mesure de la célérité dans un câble coaxial. Il aurait fallu expliquer pourquoi envoyer un burst sinusoïdal au lieu

d'une pulse par exemple (à cause des propriétés dispersives du câble, on préfère utiliser un signal présentant moins d'harmoniques ; ainsi le retour sera peu déformé). Par ailleurs, la manipulation a été correctement expliquée et effectuée proprement, le calcul d'incertitude également.

1.2 Impédance caractéristique (6 min 30)

Le principe de la manipulation a été correctement expliqué. Il était bienvenu de ne pas utiliser le relevé de l'affichage d'une boîte à décades mais de sortir la boîte du montage et d'en mesurer la résistance une fois la manipulation effectuée. Par contre, il aurait été mieux d'utiliser un potentiomètre qui permet d'obtenir une meilleure annulation du signal (les contacts glissants de la boîte à décade ne permettent sans doute pas d'obtenir une adaptation d'impédance optimale). En minimisant la connectique utilisée, on peut avoir une incertitude de 0.5 Ω environ sur la mesure.

Le calcul de l'incertitude était correctement effectué même si une erreur a été comise au tableau. Pour gagner du temps et éviter ces erreurs, vous pouvez utiliser une feuille de calculs.

Il n'est pas forcément utile de calculer la capacité linéique du câble coaxial si vous n'utilisez pas ce résultat après. Cela vous permet de gagner un temps précieux pour la suite.

1.3 Fréquence de coupure (6 min)

La troisième manipulation a été le tracé du gain en amplitude en fonction de la fréquence. Il faut faire attention à bien mesurer les tensions d'entrée et de sortie à chaque fois pour obtenir la courbe de gain. Par ailleurs, à haute fréquence s'ajoute un effet Fabry-Pérot qui complique la mesure du gain. Il faut être conscient de cet effet et savoir le justifier. Régler l'oscilloscope sur 50 Ω (comme cela a été fait) permet d'atténuer assez fortement cet effet et d'obtenir une courbe de gain acceptable.

Il faut également être assez clair sur les impédances du GBF et de l'oscilloscope : l'impédance de l'oscilloscope peut être changée (on entend d'ailleurs le relais quand on passe de 50 Ω à 1 M Ω), alors que celle du GBF reste toujours à 50 Ω .

L'étude de la phase peut aussi être intéressante dans le cas du câble coaxial : elle détermine la déformation d'un signal comportant plusieurs fréquences (ce qui est le cas pour un canal d'information justement).

2 Modulation et démodulation d'amplitude (13 min)

2.1 Modulation par un mutliplieur (8 min)

Cette partie a permis d'expliquer le principe de la modulation par multiplieur. Le principe de la manipulation et les différents éléments du montage ont bien été introduits. On pourrait encore gagner un petit peu de temps sur la mesure des taux de modulation qui ne nécessite pas un soin excessif.

Pour montrer le signal modulé en fonction de la porteuse en XY (donnant une forme trapézoïdale), il faut mieux utiliser la fonction persistence de l'oscilloscope.

2.2 Démodulation synchrone (5 min)

La seconde manipulation a été la démodulation synchrone, avec l'utilisation d'un filtre passe-bas d'ordre 4 câblé en préparation : c'est un point positif de câbler soi-même plusieurs montages électroniques dans un MP de ce type, et de ne pas utiliser que des montages tout câblés.

Par ailleurs, pour avoir une amplitude plus importante en sortie de détection synchrone, il faut mieux utiliser des amplitudes suffisantes (à chaque fois qu'il y a un multiplicateur, une constante de 10 V^{-1} intervient).

Cette partie a été l'occasion d'aborder à l'oral la problématique de la récupération de la porteuse et du *fading* (on pourra lire le livre de F. Manneville et J. Esquieu [2] p.133 où ce problème est très bien expliqué en détail). C'est bienvenu car le jury a répété plusieurs fois qu'il souhaitait que ce problème soit abordé. L'illustration expérimentale de la récupération de la porteuse est possible, mais elle est un peu difficile. En revanche, on peut facilement illustrer ce problème assez facilement en utilisant un premier GBF délivrant directement un signal modulé en amplitude et un second délivrant la porteuse.

L'illustration de l'ensemble de la chaîne sur l'exemple de la modulation AM est difficile à cause de ce problème de *fading*.

3 Modulation en fréquence (8 min 30)

Je pense qu'il faut être beaucoup plus complet sur la modulation de fréquence : en particulier, il faudrait aborder la démodulation et la boucle à verrouillage de phase, qui est un composant important en électronique.

Cette partie peut être également l'occasion de présenter des signaux numériques, comme le jury le souhaiterait. L'exemple de la modulation FSK présentée dans [1] p.234 est assez facile à mettre en œuvre.

3.1 Modulation par OCT (5 min)

L'étalonnage de l'OCT du GBF a été proposé. Pour que cela soit plus visuel, choisissez une déviation en fréquence plus élevée. Là encore, il est bienvenu de mesurer la fréquence du signal de sortie comme la tension d'entrée de l'OCT avec un multimètre.

Conclusion (1 min 30)

Il est impératif de garder assez de temps pour conclure. Il ne faut pas essayer de décrire dans le détail des manipulations que vous n'avez pas eu le temps d'effectuer. Terminez l'expérience que vous étiez en train de faire et concluez brièvement.

Questions

Les questions servent d'abord à éclaircir les points peu clairs du montage, tester votre connaissance des ap-

pareils et dispositifs utilisés, puis ensuite à tester vos connaissances plus largement. Voilà quelques points qui pourraient être discutés lors des questions. La séance de questions durera au maximum 40 minutes environ le jour J.

- Pourquoi ce choix de "Burst" pour la mesure de la célérité des ondes dans le câble coaxial ?

Il faut choisir un Burst d'assez haute fréquence pour que le signal incident ne soit pas confondu avec le signal réfléchi. Par ailleurs, il est préférable de choisir un Burst au lieu d'un pulse car ce dernier contient beaucoup plus d'harmoniques et les propriétés dispersives du câble ont plus d'importance (v dépend de ω).

- Comment améliorer la précision de la mesure de la célérité des ondes dans le câble coaxial ?

On peut faire la mesure pour différentes réflexions. Cela peut permettre d'augmenter la précision sur le temps de vol, mais on reste limité par celle sur la longueur du câble (plusieurs mesures de temps de vol ne permettraient pas de s'affranchir d'une hypothétique erreur systématique sur la longueur).

- Pourquoi le signal ne s'annule pas complètement dans l'expérience d'adaptation d'impédance ?

L'adaptation d'impédance est sans doute imparfaite sur les contacts glissants de la boîte à décades, auxquels peuvent s'ajouter des effets dus à la dispersion. Il semble que l'adaptation soit la meilleure lorsque l'on utilise un câble BNC (coaxial d'un côté / deux fils de l'autre).

- D'où vient l'expression de la capacité linéique du câble coaxial ? Quand l'utilise-t-on ?

Elle vient du modèle à constante répartie du câble coaxial. Elle peut ne pas être négligeable lorsque l'on mesure des faibles capacités. Dans ce cas, on utilise une sonde passive (voir TP d'électronique n°5, 3.3).

- Comment faire de la modulation AM sans multiplicateur ?

Il faut utiliser un composant non-linéaire pour générer des fréquences sommes. Ensuite, on se contente de filtrer autour de la fréquence de la porteuse pour éliminer toutes les harmoniques indésirables. En général, on utilise une diode qui a l'avantage de pouvoir résister à des puissances importantes, contrairement à un multiplicateur. Cette technique, dite du "mixeur à diodes" est celle utilisée en pratique pour générer des signaux AM.

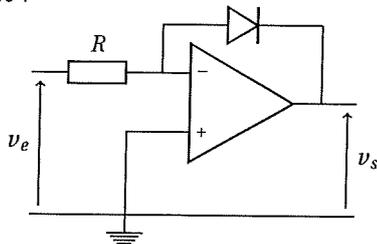
- Pourquoi un taux de modulation supérieur à 1 pose-t-il problème à la détection ?

Il peut poser problème si on utilise un détecteur de crête.

- Comment fonctionne un multiplieur ?

On distingue deux fonctionnements possibles :

- On utilise un amplificateur $v_s = Av_e$ dont le coefficient d'amplification A dépend de l'autre signal. Cette méthode est appelée multiplication de Gilbert.
- On peut aussi procéder comme cela : on réalise d'abord le logarithme du signal grâce à ce circuit :



En effet :

$$v_- - v_e = Ri = RI_{\text{sat}} \exp\left(\frac{v_s - v_-}{V_0}\right)$$

D'où, comme $v_- = v_+ = 0$ en régime linéaire :

$$v_s = V_0 \ln\left(\frac{-v_e}{RI_{\text{sat}}}\right)$$

On somme les deux logarithmes, et on en prend l'exponentielle en reprenant le circuit ci-dessus

et en inversant diode et résistance. C'est une méthode analogue qui est utilisée dans les circuits multiplieurs que vous utilisez.

- Quel est l'inconvénient de la radio AM par rapport à la radio FM ?

Les signaux en modulation AM sont beaucoup plus bruités que ceux de la modulation FM : le rapport signal sur bruit est en moyenne dix fois plus élevé environ.

De plus les radio AM sont écoutées à des distances où les distorsions de propagation sont importantes, dégradant également la qualité.

- Comment réaliser un OCT ?

On peut réaliser un oscillateur à relaxation, en insérant la multiplication par un signal constant dans la boucle, comme c'est fait dans le TP6, 1.3.

Je reste à votre disposition par mail si vous avez d'autres questions.

Références

- [1] DUFFAIT, R., Expériences d'électronique à l'agrégation de sciences physique, Bréal, 2010
- [2] MANNEVILLE, F et ESQUIEU, J., Systèmes bouclés linéaires, de communication et de filtrage, Dunod, 1990
- [3] GIRARD, M., Boucles à verrouillage de phase, McGraw-Hill, 1991