

Mise en forme, transport et détection de l'information

Présentée le 10/02/17, correction par D. Rousseau et V.Raban¹.

Appréciation : B, améliorer l'exploitation des expériences quantitatives.

Ce compte-rendu ne contient que l'avis des correcteurs. Il doit par conséquent être lu avec un regard critique.

COMMENTAIRES DU JURY

Un condensé des retours du jury sur ce montage :

- ▶ ne pas faire que de la modulation d'amplitude,
- ▶ parler de signaux numériques,
- ▶ évoquer comment on récupère la porteuse,
- ▶ les trois parties du titre sont d'égale importance.

COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

Ont été présentées l'étude du câble coaxial (célérité, impédance et diagramme de bode en amplitude), la modulation en amplitude par multiplieur, la démodulation par détection synchrone, la modulation en fréquence avec $B = f(m)$, et la démodulation par boucle à verrouillage de phase.

Sur le fond, le plan convient parfaitement. Il a d'ailleurs été testé en condition réelle l'année dernière et a obtenu 17/20 (en remplaçant $B = f(m)$ par l'étude de l'oscillateur commandé en tension [Duffait Agreg] p.192). Notons que le candidat n'avait pas eu le temps de faire la boucle à verrouillage de phase (cf. Book 2017).

Sur la forme, quelques maladresses sont apparues à plusieurs moments de la présentation, et la séance de questions a laissé transparaître des lacunes théoriques. C'est très probablement l'un des points sur lequel il faut re-travailler le montage. Veillez à maîtriser complètement tous les concepts sous-jacents qui interviennent dans les expériences présentées. À titre d'exemple, il est dangereux de présenter la boucle à verrouillage de phase sans avoir compris au préalable son fonctionnement.

¹. valentin.raban@ens-lyon.fr

RETOUR SUR LA MONTAGE

Introduction L'intérêt de la mise en forme des signaux et de moyens de transport adaptés ont été discutés en début de montage. Il restait à parler de la partie détection! Pour cela, on peut invoquer un critère très pragmatique : le signal est détecté lorsqu'on le « voit » (ou lorsqu'on l'entend, etc...) Il peut être pertinent par exemple de faire entendre à l'aide d'un haut-parleur les signaux étudiés dans les différentes parties du montage, afin de faire écho à ce critère.

Célérité dans le câble coaxial La célérité a été déterminée par mesure d'un temps de vol d'une impulsion. Cette mesure peut être discutée : quel genre de pulse est le plus adapté? Le critère est de pouvoir repérer facilement les temps. Attention néanmoins, écrire

$$c = (2.0 \pm 0.05) \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

est une erreur puisque l'incertitude a plus de chiffres significatifs que le résultat.

Impédance du câble coaxial Ici aussi la mesure est difficile puisqu'on n'arrive jamais à annuler complètement la réflexion, les incertitudes peuvent donc être grandes. Dans tous les cas, la lecture de l'indication sur la boîte à décades n'est pas une mesure, il est préférable de sortir celle-ci du montage et mesurer sa résistance avec un ohmètre. On peut utiliser un potentiomètre plutôt qu'une boîte à décades, pour pouvoir faire varier la résistance continûment. Par ailleurs, l'origine de la méthode utilisée doit être connue : on montre que le facteur de réflexion des ondes en bout du câble dans le modèle électrocinétique est

$$r = \frac{Z - R}{Z + R}$$

Lorsque la réflexion est annulée, on a $Z = R$ et on trouve Z en mesurant R .

Diagramme de Bode Deux remarques dans cette partie. Premièrement, c'est un signal sinusoïdal qu'il faut envoyer dans le câble et non les pulses précédemment utilisés. Secondement, il est pénalisant de ne pas déterminer la pulsation de coupure par manque de temps. Ce sont justement les mesures qui rapportent des points en montage! À ce propos, on peut préférer un ajustement de la courbe $G(\omega)$ par le modèle d'un filtre passe-bas d'ordre un, plutôt qu'une lecture de la valeur à -3 dB. Conclure sur le fait que

ce mode de transport n'est adapté que pour $f < f_c$ était bienvenu.

Modulation en amplitude Partie qualitative. Attention (et c'est valable dans toute la suite du montage) à la visualisation des signaux modulés à l'oscilloscope. Le mieux ici est clairement de se synchroniser sur le signal basse fréquence en **External trigger**. Avoir les idées claires sur ce qu'il se passe dans le domaine de Fourier est essentiel. On peut par exemple montrer un spectre pour illustrer ce point.

Démodulation par détection synchrone C'est l'occasion de sortir un haut parleur pour rebondir sur le critère de détection de l'introduction. L'utilisation d'un deuxième GBF pour mettre en évidence le problème de dérive et la nécessité de devoir récupérer la porteuse était intéressante. Par ailleurs, cela peut-être pertinent de démoduler autre chose qu'un sinus (sans chercher trop loin, un carré fait l'affaire, pour évoquer les signaux numériques). À nouveau un spectre permettrait de discuter le principe de la détection synchrone et le rôle du filtre, ainsi que le choix de sa pulsation de coupure.

Modulation en fréquence Dans cette partie a été tracée $B = f(m)$. Cette expérience aurait pu être exploitée un peu plus. Notamment, la valeur de la pente obtenue doit être déterminée avec des incertitudes et comparée avec la valeur attendue ($2 f_m$).

Démodulation en fréquence Cette partie a été traitée rapidement par manque de temps. Ce n'est visiblement pas un problème pour le jury, d'après le retour du candidat de l'année dernière. La récupération de la porteuse par PLL pour la détection synchrone n'a pas été présentée.

RETOUR SUR LES QUESTIONS

La séance de questions a fait ressurgir quelques lacunes théoriques. Même si ce n'est pas le but du montage, il est important de maîtriser entièrement les expériences présentées. De manière très générale, sachez présenter en détail le fonctionnement des montages (notamment la détection synchrone, dans le domaine temporel et fréquentiel, et la boucle à verrouillage de phase : on peut consulter à ce propos le poly de TP, ou le [Duffait Agreg]). Sachez également justifier la valeur des composants choisis, et bien entendu, sachez avancer des arguments crédibles et honnêtes à la justification des incertitudes, cela constitue au moins la moitié des questions du jury.

CONCLUSION

Pour améliorer ce montage, je conseille :

- ▶ Ajouter un mot sur la détection en introduction.
- ▶ On peut soigner un peu plus la mesure de c (le tracé d'une droite en utilisant les multiples rebonds a été évoqué, c'est une bonne idée car une droite de plus est une droite de plus).
- ▶ Pour la mesure de Z , utiliser un ohmètre et un potentiomètre.
- ▶ Exploiter complètement le diagramme de Bode : remonter à f_c par un ajustement et la comparer à la valeur attendue.
- ▶ Tracer un spectre d'un signal modulé en amplitude.
- ▶ Montrer l'action de la démodulation dans le domaine fréquentiel. Démoduler autre chose qu'un sinus (un carré pour les illustrer les signaux numériques). Sortir un haut parleur pour montrer qu'on « détecte » le signal. Réserver un simple commentaire pour le problème de récupération de la porteuse (dire que ça se fait avec une boucle une verrouillage de phase) pour gagner du temps.
- ▶ Encore une fois, exploiter au maximum les expériences quantitatives : comparer la valeur de la pente $B = f(m)$ à la valeur attendue.
- ▶ On peut légitimement sauter la boucle à verrouillage de phase si on manque de temps. Si on la présente, savoir expliquer son fonctionnement.
- ▶ Pour la séance de questions, avoir réfléchi au choix des composants (par exemple pour la coupure du filtre...).

Le rapport du jury (voir p32 pour la description de l'épreuve de montage).