

MP26 – Mise en forme, transport et détection de l'information

**** Version corrigée ****

Sandrine Guerraz et Emmanuel Guillaud

Correcteurs : Daniel Jost et Julien Schmidt

23 novembre 2012

Sauf mention contraire, toutes les expériences réalisées sont tirées de [1]. On pourra néanmoins consulter avec profit [3] qui est plus précis sur le plan théorique et offre un point de vue légèrement différent sur les notions expérimentales. Comme toujours, nous vous serions reconnaissant de nous signaler toute erreur qui traînerait dans ces pages... Merci d'avance!

Références

- [1] R. DUFFAIT ET J.P. LIÈVRE, *Expériences d'électronique*.
 [2] J.M. DONNINI ET L. QUARANTA, *Dictionnaire de physique expérimentale, tome 4*.
 [3] R. MANNEVILLE ET J. ESQUIEU, *Electronique, tome 2*.

Remarques issues des rapports de jury

« Comme l'indique son titre, ce montage comporte 3 parties d'égale importance; il se prête bien à la réalisation d'une chaîne complète traitant des 3 aspects. Il est souhaitable de connaître les différentes solutions technologiques employées dans les applications de la vie quotidienne. Ce montage ne doit pas se restreindre à la modulation et démodulation d'amplitude. Dans le cas de la démodulation synchrone, le problème de récupération de la porteuse doit être soigneusement étudié. 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. » (2012)

« Ce montage ne doit pas se restreindre à la modulation d'amplitude. Dans le cas de la démodulation synchrone, le problème de la récupération de la porteuse est systématiquement passé sous silence. » (2010, 2011)

« 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. Dans la liste 2009, le titre de ce montage est modifié. » (2008)

(cf. book 2013 pour les remarques issues des rapports antérieurs)

Table des matières

1	Principe général	2
2	Etude du bloc « mise en forme »	2
	2.1 Modulation d'amplitude : utilisation d'un multiplieur analogique	2
	2.2 Modulation de fréquence : oscillateur commandé en tension	5
3	Etude du bloc « transport »	6
	3.1 Encombrement spectral de la source	6
	3.2 Les trois principaux « supports » pour le transport	6
	3.3 Propagation dans un câble coaxial [2]	6
4	Etude du bloc « détection »	7
	4.1 Démodulation d'amplitude : détection synchrone	7
	4.2 Démodulation de fréquence : boucle à verrouillage de phase	8
5	Linéarité et réponse fréquentielle du dispositif complet	8

5.1 Diagramme de Bode du dispositif et influence de la fréquence porteuse 8
 5.2 Réponse expérimentale à la problématique 9

Plan du montage

Introduction

Radio, télévision, téléphone, Internet... Autant d'objets de notre quotidien pour lesquels on a besoin de transmettre une grande quantité d'informations. Mais comment transporter de l'information ? Par exemple, pour téléphoner, on n'a pas besoin de relier deux à deux par des fils ou des antennes relais différentes les téléphones dans le monde, ça ne serait pas très commode... Au contraire, on essaye de faire passer le maximum d'informations par le même « chemin ». Dans ce montage, on va présenter différentes techniques de mise en forme, transport et détection de l'information pour répondre à la question suivante :

comment communiquer deux informations différentes par le même chemin ?

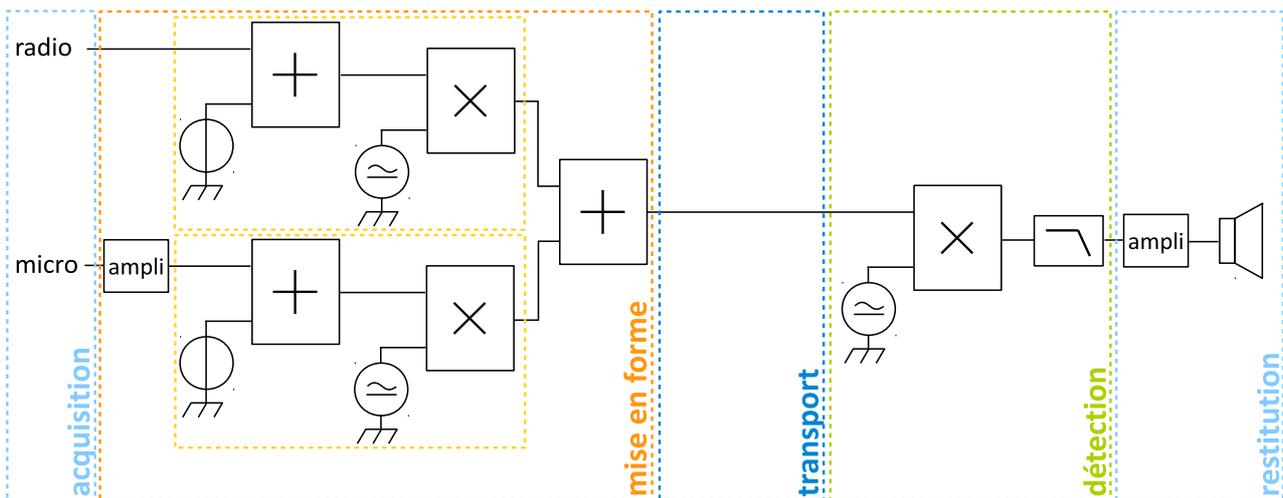
Plus concrètement, ici, j'ai un poste radio avec de la musique, et un micro. Je veux envoyer ces deux informations sur le poste de réception à l'autre bout de la paillasse au moyen de ce seul câble coaxial, et pouvoir choisir d'écouter avec le haut-parleur soit la musique, soit ce qui provient du micro. Ce sont deux signaux analogiques. Ils tendent à disparaître au profit des signaux numériques, mais pour des questions de temps, je m'y limiterai aujourd'hui.

L'ensemble des notions théoriques regroupées dans le présent document sont données à titre informatif et ne seront pas développées à l'oral lors de la présentation.

1 Principe général

L'idée générale pour pouvoir transmettre sur un même câble deux signaux différents consiste à translater à l'aide de **signaux porteurs** leurs spectres sur des plages de fréquences différentes. Pour cela, on utilise la **modulation**. Dans un second temps, on isole la partie du spectre qui correspond au signal qui nous intéresse et on le ramène à sa position d'origine pour pouvoir l'exploiter : c'est la **démodulation**. On peut moduler un signal en amplitude ou en fréquence. C'est ce que nous allons développer dans la suite.

Dans la chaîne de transmission qui a été réalisée, c'est la modulation en amplitude qui a été retenue. On donne sur la figure 1 le schéma bloc du dispositif général. Nous y reviendrons tout au long de l'exposé.



▲ Figure 1. Schéma du montage complet.

2 Etude du bloc « mise en forme »

2.1 Modulation d'amplitude : utilisation d'un multiplieur analogique

On dispose d'un signal dit « informatif », typiquement un signal vocal, que l'on souhaite transmettre. Pour simplifier, on va prendre pour l'instant un signal harmonique de fréquence $f_i = 440$ Hz. On se donne par ailleurs la possibilité d'ajouter

une composante continue, un « offset » à ce signal, on verra à quoi ça sert plus tard :

$$i(t) = I_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_i \cdot t) + i_0. \quad (1)$$

Pour le transporter, on va le multiplier par un signal dit « porteur » de fréquence f_p , éventuellement déphasé de φ par rapport au précédent :

$$p(t) = P_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t + \varphi). \quad (2)$$

L'opération d'addition est effectuée par un bloc « additionneur » constitué d'un A.O. monté en sommateur, suivi d'un deuxième A.O. monté en inverseur. A noter que l'inverseur sert simplement à remettre dans le bon sens la tension en sortie du sommateur, qui donne l'opposé de la somme des signaux. Vous allez me dire : pourquoi ne pas gérer la composante continue directement avec le générateur B.F.? Simplement pour pouvoir par la suite remplacer le B.F. par n'importe quelle source de signal variable. Les schémas électriques sont donnés en figure 2 (en n'oubliant pas qu'il faut alimenter les A.O.!). Avec les notations du schéma, on a par application du théorème de Millman et en supposant l'A.O. idéal :

$$\frac{v_{\text{add}}}{R} + \frac{v_e}{R} + \frac{v_{\text{off}}}{R} = 0,$$

d'où :

$$v_{\text{add}} = -(v_e + v_{\text{off}}). \quad (3)$$

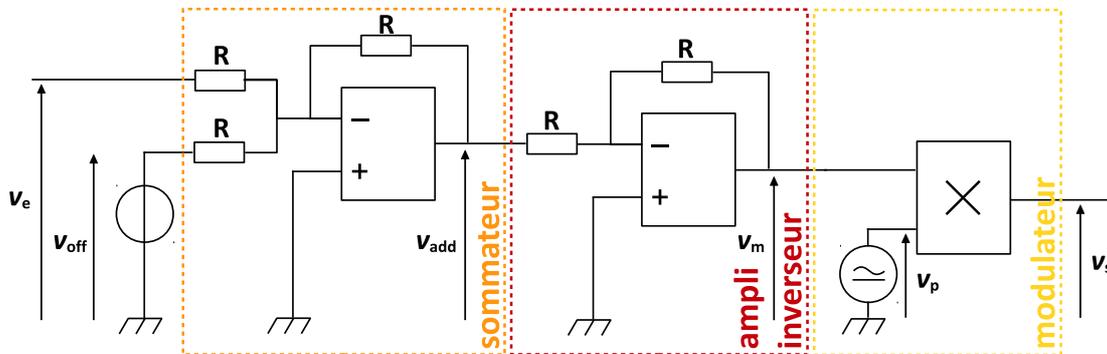
Puis, de la même façon,

$$v_m + v_{\text{add}} = 0,$$

donc finalement, on a bien une simple opération d'addition :

$$v_m = v_e + v_{\text{off}}. \quad (4)$$

Ici, on a pris des A.O. de type TL081 et $R = 10 \text{ k}\Omega$. La multiplication est ensuite assurée à l'aide d'un multiplieur analogique.



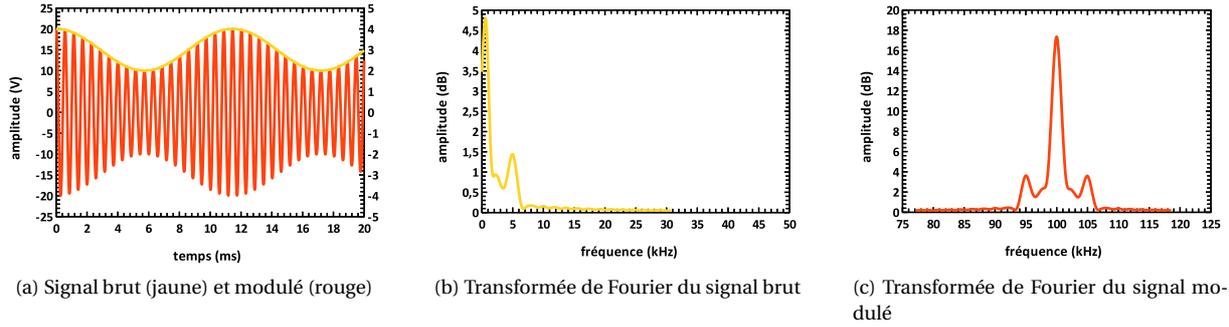
▲ Figure 2. Schéma électrique du bloc « mise en forme » pour l'une des entrées.

Déterminons l'expression du signal modulé.

$$\begin{aligned} v_s &= v_p \cdot v_m = p(t) \cdot i(t) \\ &= P_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t + \varphi) \cdot (I_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_i \cdot t) + i_0) \\ &= i_0 \cdot P_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t + \varphi) + P_0 \cdot I_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t + \varphi) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_i \cdot t) \\ &= i_0 \cdot P_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t + \varphi) + \frac{P_0 \cdot I_0}{2} \cdot (\cos(2 \cdot \pi \cdot (f_p + f_i) \cdot t + \varphi) + \cos(2 \cdot \pi \cdot (f_p - f_i) \cdot t + \varphi)) \end{aligned}$$

Le signal s'écrit comme la somme de trois cosinus de fréquences $f_p - f_i$, f_p et $f_p + f_i$.

On prend $P_0 = 5 \text{ V}$, $I_0 = 2 \text{ V}$, $i_0 = 4 \text{ V}$, $f_p = 100 \text{ kHz}$ et $f_i = 5 \text{ kHz}$ ¹. Analysons le signal avant et après modulation par transformée de Fourier sur l'oscilloscope. Pour un signal informatif quelconque, le signal modulé est apériodique donc



▲ **Figure 3.** Modulation d'amplitude d'un signal sinusoïdal.

on va appliquer une fenêtre de Hamming au signal pour réaliser la transformée de Fourier. On voit que le signal est translaté dans le domaine fréquentiel d'une valeur f_p (cf. fig. 3).

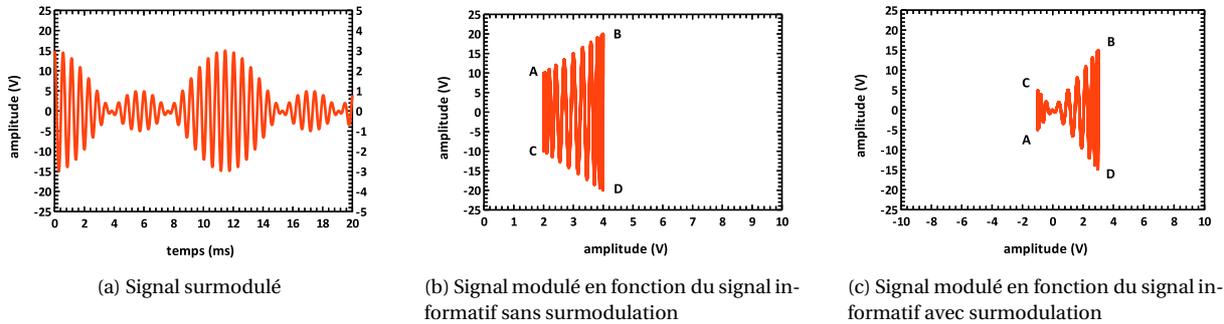
A quoi sert la composante continue ajoutée au signal informatif? Faisons varier cette valeur. Quand on diminue l'amplitude de la tension continue, on voit apparaître des nœuds sur le signal modulé. On dit qu'il y a **surmodulation** (cf. fig. 4).

On introduit le **taux de modulation** m défini par :

$$m = \frac{I_0}{i_0} \tag{5}$$

L'amplitude du signal modulé s'exprime alors :

$$v_s = i_0 \cdot P_0 \cdot \left(\cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t + \varphi) + \frac{m}{2} \cdot (\cos(2 \cdot \pi \cdot (f_p + f_i) \cdot t + \varphi) + \cos(2 \cdot \pi \cdot (f_p - f_i) \cdot t + \varphi)) \right) \tag{6}$$



▲ **Figure 4.** Surmodulation et indice de modulation.

On dispose de la méthode « du trapèze » pour déterminer expérimentalement la valeur du taux de modulation. On passe en mode XY sur l'oscilloscope, comme indiqué sur la figure (cf. fig. 4b). On observe un trapèze, qui en cas de surmodulation devient une sorte de papillon. Avec les notations du graphe, on peut montrer que :

$$m = \frac{\overline{BD} - \overline{AC}}{\overline{BD} + \overline{AC}} \tag{7}$$

A titre d'exemple, on peut mesurer avec cette méthode le taux de modulation de notre signal en utilisant les curseurs sur l'oscilloscope. On mesure :

$$AC = 16.4 \pm 0,5V$$

$$BD = 32.2 \pm 0,5V$$

$$m = \frac{15,8}{48,6} \pm \left(\frac{0,5 + 0,5}{15,8} + \frac{0,5 + 0,5}{48,6} \right) = 0,34 \pm 8\%$$

1. On ne prend pas $f_i = 440$ Hz pour le moment mais une valeur plus proche de f_p pour pouvoir visualiser un peu mieux les deux signaux simultanément sur l'oscilloscope.

On voit que cette méthode est assez approximative, notamment à cause de l'épaisseur des traits sur l'oscilloscope.

La surmodulation correspond aux cas où $m > 1$. On verra plus tard que dans certains cas, la surmodulation peut être un obstacle à la restitution du signal.

2.2 Modulation de fréquence : oscillateur commandé en tension

On dispose toujours des deux mêmes signaux :

$$i(t) = I_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_i \cdot t), \tag{8}$$

$$p(t) = P_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t + \varphi), \tag{9}$$

mais cette fois-ci, l'opération de modulation va s'effectuer sur la fréquence et non son amplitude, c'est-à-dire que l'on va fabriquer un signal de fréquence instantanée variable :

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t + \varphi)}{dt} = f_p + k \cdot i(t), \tag{10}$$

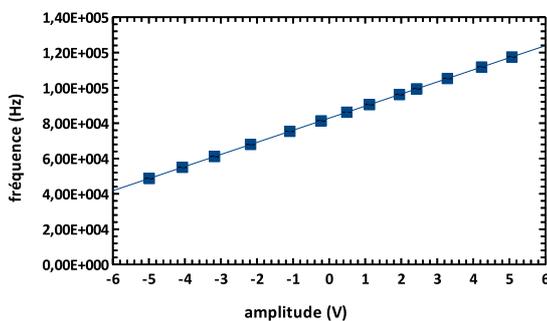
avec k une constante, *ie.* le signal modulé s'écrit donc :

$$v_m(t) = P_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t + \frac{k \cdot I_0}{f_i} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_i \cdot t)) = P_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t + m \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_i \cdot t)), \tag{11}$$

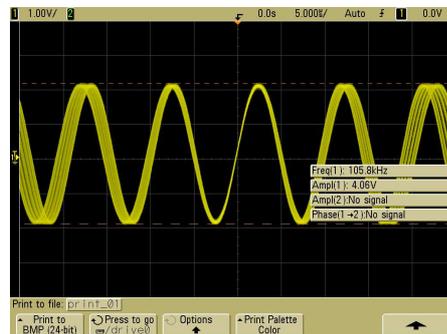
où $m = k \cdot I_0 / f_i$ est appelé **indice de modulation** du signal.

En pratique, cette opération est réalisée au moyen d'un oscillateur paramétré en tension (O.C.T.), tel que les générateurs B.F usuels. On utilise un premier générateur B.F qui va servir à générer le signal informatif. On prend $f_i = 1$ kHz et $I_0 = 100$ mV. On envoie ce signal sur l'entrée E.M. d'un deuxième B.F² lui-même configuré avec les paramètres suivants : $f_p = 100$ kHz et $P_0 = 4$ V. Un petit bouton permet de régler la valeur du coefficient k . Par contre, on n'a pas de graduation ou d'affichage pour contrôler cette valeur, il va donc falloir le mesurer³.

Mesure du coefficient k . On envoie le signal modulé sur un fréquencemètre – le modèle Philips utilisé ici donne la fréquence du signal au Hertz près – on passe le B.F 1 en mode D.C. et on fait varier la tension de décalage que l'on mesure avec un multimètre (qui est bien plus précis que l'oscilloscope). On trace alors $f_p(I_0)$ en fonction de I_0 (la tension de décalage). La courbe obtenue présente une zone linéaire de pente k . Les deux appareils utilisés pour la mesure étant très précis, la valeur de k obtenue est elle même très précise. En préparation, on a mesuré $k = 6,840 \pm 0,004$ kHz · V⁻¹ (cf. fig. 5a).



(a) Courbe d'étalonnage du coefficient k .



(b) Allure du signal modulé

▲ Figure 5. Modulation de fréquence.

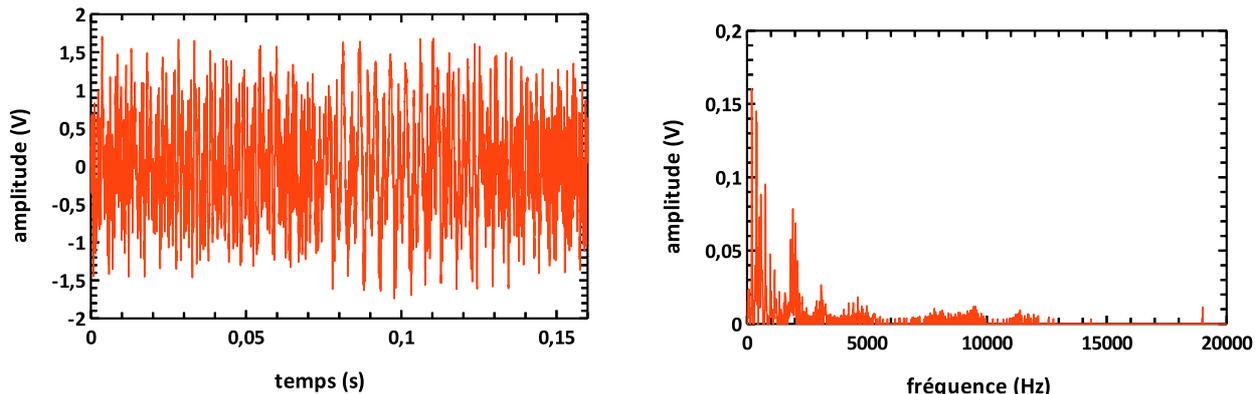
2. Modèle Hameg® vivement recommandé, un avec une entrée « E.M. » en façade.
 3. Les B.F. Agilent® donnent une valeur de l'étalement spectral du signal modulé, mais – attention – cette valeur n'est vraie que si la tension externe présente une amplitude crête-à-crête de 10 V. En bref, il affiche n'importe quoi et ce n'est pas sans poser des problèmes, d'où la note précédente...

3 Etude du bloc « transport »

3.1 Encombrement spectral de la source

Pour l'instant, on s'est limité à des informations sous la forme d'une sinusoïde de fréquence bien définie. En pratique, on peut vouloir transporter des informations qui s'étalent sur un certain domaine de fréquences. Comme on cherche à propager de la musique issue d'un poste radio, on va évaluer l'encombrement spectral de la radio.

Pour cela, on va simplement faire une analyse spectrale d'un petit échantillon de la bande son avec Synchronie®. J'enregistre l'amplitude récupérée sur la sortie casque en fonction du temps, et je fais une transformée de Fourier du signal. On observe :



(a) Amplitude en fonction du temps

(b) Transformée de Fourier

▲ **Figure 6.** Encombrement spectral de la source radio.

On mesure un encombrement spectral approximatif de 12 kHz. La bande passante d'un appareil répondant à la norme « haute fidélité » est fixée entre 20 Hz et 20 kHz ce qui correspond à la plage d'acuité auditive « normale » d'un être humain. Ici, on ne fait pas franchement dans la hi-fi, donc la valeur est très raisonnable. L'encombrement spectral d'une voix humaine est comprise quant à elle entre 1500 et 3500 Hz, donc est totalement incluse dans cette gamme.

Du coup, on voit que si on veut véhiculer plusieurs informations sur la même voie, il va falloir choisir des fréquences de porteuses suffisamment éloignées pour que les spectres des différentes informations, une fois translatés, ne se recouvrent pas. On est donc limité pour la quantité d'informations qu'on va pouvoir transporter. Par exemple, ici, le B.F. ne permet pas de générer des porteuses au-delà de 100 MHz, et on va aussi être limité par la bande passante des composants utilisés dans le circuit, les A.O. notamment.

Remarque. Pour gagner de la place, on peut supprimer les composantes en $-f_i$ par modulation à bande latérale unique (B.L.U.), mais je ne développerai pas ce point par manque de temps.

3.2 Les trois principaux « supports » pour le transport

En pratique, on dispose principalement de trois voies de transmission pour les informations, qui correspondent à des domaines de fréquence différents :

- les lignes électriques (0 – 1 GHz),
- le support hertzien (1 kHz – 100 GHz),
- les fibres optiques (domaine IR, vers 300 THz).

3.3 Propagation dans un câble coaxial [2]

Dans cette partie, on va chercher à mesurer l'atténuation le long d'une ligne coaxiale. Si on ne prend pas de précautions, les ondes envoyées sont réfléchies en début et en bout de ligne, ce qui fausse totalement la mesure : on peut notamment mesurer une tension en bout de ligne supérieure à la tension excitatrice... Pour éviter ces phénomènes, on doit réaliser une adaptation d'impédance, c'est-à-dire placer en bout de ligne une charge égale à l'impédance caractéristique de la ligne. On va donc commencer par mesurer cette grandeur.

Mesure de l'impédance caractéristique d'une ligne coaxiale. On envoie dans un câble coaxial de 95,1 m de long une tension excitatrice en créneaux de faible rapport cyclique (équivalente à des impulsions). On place en sortie une résistance variable (potentiomètre 100 Ω à 200 tours fourni avec le câble). On visualise la tension en entrée du câble sur un oscilloscope. On note la présence d'un signal réfléchi. On modifie la valeur de la charge jusqu'à faire disparaître le signal réfléchi. Il y a alors adaptation d'impédance. La mesure de la résistance (hors circuit) de la charge donne l'impédance caractéristique de la ligne. On mesure :

$$Z_c = 80 \pm 2\Omega.$$

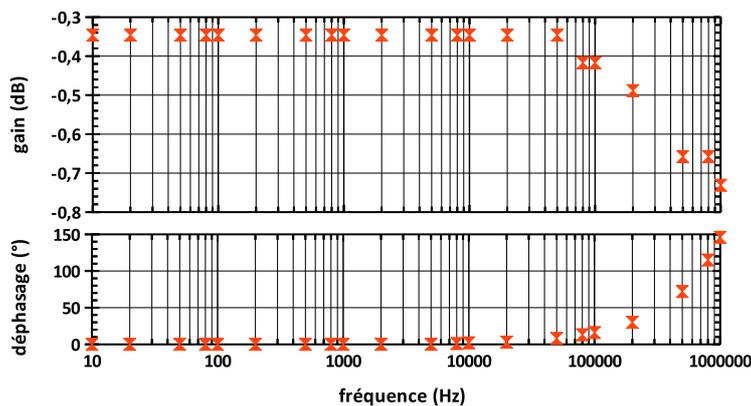
Atténuation dans le câble. Afin de s'affranchir de toute réflexion, on règle l'impédance de sortie du B.F sur 80 Ω, et on remplace la charge en bout de ligne. Ensuite, on trace simplement le diagramme de Bode du câble. A partir du gain :

$$G = 20 \cdot \log\left(\frac{v_s}{v_e}\right), \tag{12}$$

on définit l'atténuation le long de la ligne de longueur L :

$$A = -\frac{G}{L} = -\frac{G}{91,5}, \tag{13}$$

soit une atténuation mesurée aux faibles fréquences de 3,6 dB/km. C'est cohérent avec la valeur de 3 dB/km usuellement tabulée. On remarque qu'aux fréquences plus élevées, l'atténuation augmente (cf. fig. 7).



▲ Figure 7. Diagramme de Bode du câble coaxial.

4 Etude du bloc « détection »

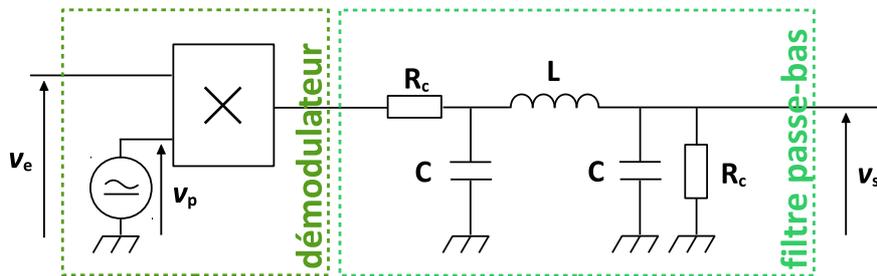
4.1 Démodulation d'amplitude : détection synchrone

Avant de parler de détection synchrone, revenons un instant sur le rôle du taux de modulation. Si on s'intéresse au signal de la figure 3a, on remarque que le signal informatif est simplement l'enveloppe du signal modulé. Une méthode de démodulation consiste donc simplement à utiliser un détecteur d'enveloppe pour récupérer l'information. Cette méthode n'a d'intérêt que par sa simplicité de mise en œuvre et reste en fait très limitée. En effet, elle ne convient pas :

- pour des signaux surmodulés, car l'enveloppe supérieure ne correspond plus au signal informatif (cf. fig. 4a),
- pour une superposition de plusieurs signaux modulés à des fréquences différentes, l'enveloppe étant alors une superposition des enveloppes des différents signaux modulés. On peut éventuellement résoudre ce problème en réalisant un filtrage autour de la fréquence qui nous intéresse, puis en procédant à la détection d'enveloppe.

La **démodulation synchrone** résout ces deux problèmes. La méthode consiste multiplier à nouveau le signal modulé par un signal sinusoïdal de même fréquence que la porteuse. Le calcul est en tout point similaire à celui de la modulation d'amplitude. Le signal modulé est à nouveau translaté dans le domaine fréquentiel de $\pm f_p$, *ie.* après démodulation, on retrouve les trois composantes spectrales initiales $\{-f_i, 0, f_i\}$, ainsi que le signal translaté autour de $2 \cdot f_p$: $\{2 \cdot f_p - f_i, 2 \cdot f_p, 2 \cdot f_p + f_i\}$. Il ne reste alors plus qu'à filtrer le signal pour ne conserver que les composantes basse fréquence. Comment choisir la fréquence de coupure de ce filtre passe-bas ? Il ne faut garder que la bande de fréquence la plus fine possible puisque c'est cette fréquence de coupure qui va imposer l'espacement dans le domaine fréquentiel

des différentes informations que l'on veut transmettre, *ie.* le choix des différentes porteuses. D'un autre côté, il ne faut pas non plus perdre trop d'information. Compte-tenu de la mesure réalisée précédemment, on va couper vers 12 kHz. On donne fig. 8 le schéma électrique du bloc.



▲ Figure 8. Schéma électrique du bloc « détection ».

On choisit $R_c = 4,7 \text{ k}\Omega$, $C = 2 \text{ nF}$ et $L = 100 \text{ mH}$, qui donnent $f_c \approx 15 \text{ kHz}$. On contrôlera expérimentalement la fréquence de coupure tout-à-l'heure sur le dispositif complet.

Pour l'instant, on peut essayer de démoduler le signal modulé en amplitude un peu plus tôt, et on va visualiser le signal que l'on obtient avec l'oscilloscope. En entrée du multiplieur, on pourrait reprendre directement le signal utilisé comme porteuse lors de la modulation. On aura l'occasion plus tard de voir que ça marche effectivement, mais dans la pratique, quand on reçoit une radio chez soi, on n'a pas accès à la porteuse. On va donc utiliser un autre générateur B.F pour générer un signal de même fréquence que la porteuse.

On voit qu'il subsiste une modulation de basse fréquence car la fréquence utilisée pour la démodulation n'est pas tout-à-fait égale à la fréquence de la porteuse. Cet effet est appelé « fading » ce qui se traduit littéralement en français par « effet fondu ». Ici, au labo, une solution simple pour résoudre ce problème vise à prélever le signal directement sur le BF qui sert à la modulation, mais c'est tricher ! On évoquera plus loin une méthode qui permet de résoudre ce problème.

4.2 Démodulation de fréquence : boucle à verrouillage de phase

Abordé s'il y a encore du temps... la suite est plus importante.

La boucle à verrouillage de phase est un système asservi en fréquence qui permet « d'accrocher » la fréquence d'un signal à celle d'un autre. On va commencer par voir brièvement comment ça marche sur un cas simple, puis on l'utilisera pour démoduler un signal modulé en fréquence.

Pour réaliser cette mesure, on a besoin d'un comparateur de fréquence, constitué d'un multiplieur analogique suivi d'un filtre passe-bas (de sorte à ne récupérer que le signal dont la fréquence est égale à la différence des fréquences d'entrée) et d'un suiveur (les entrées des B.F ont généralement une impédance faible). Le signal permet de commander un O.C.T. (G.B.F.). La tension en sortie du B.F est réinjectée sur le multiplieur. Si l'écart entre la fréquence d'entrée et la fréquence de l'O.C.T. est inférieur à l'extension fréquentielle de l'O.C.T., la fréquence de sortie de l'O.C.T. s'adapte rapidement à celle du signal d'entrée.

Ce dispositif peut aussi être utilisé pour la démodulation en fréquence. On met en entrée le signal modulé, l'O.C.T. délivre un signal autour de la fréquence de la porteuse. Le signal démodulé est prélevé (si le verrouillage s'effectue correctement) en sortie du suiveur.

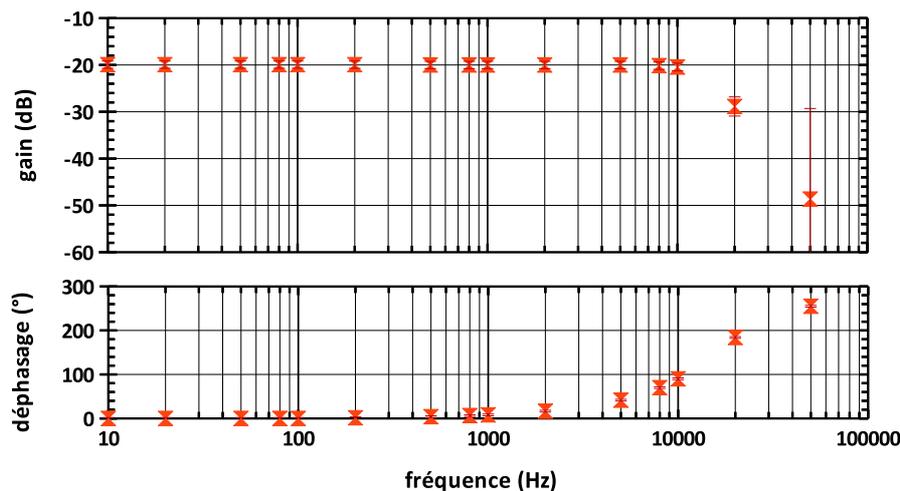
5 Linéarité et réponse fréquentielle du dispositif complet

5.1 Diagramme de Bode du dispositif et influence de la fréquence porteuse

Une caractéristique essentielle pour notre montage est de ne pas déformer le signal. Ca veut dire notamment qu'il ne faut pas que certaines fréquences soient plus atténuées que d'autres sur le domaine 0 - 15 kHz. On va donc s'intéresser au diagramme de Bode du montage complet, pour une fréquence de porteuse donnée (ici, 200 kHz). Pour faciliter la mesure, on va démoduler en utilisant le *vrai* signal porteur pour bien stabiliser le signal. On obtient le tracé de la figure 9.

On a bien une réponse plate à basse fréquence. La fréquence de coupure est néanmoins un peu basse, vers 12 kHz, mais on a vu que c'est suffisant pour le signal qui nous intéresse. En revanche, on voit qu'il y a un certain déphasage. Ce n'est pas gênant a priori pour le signal sonore, mais ça pourrait l'être pour d'autres types d'information.

Pour compléter cette étude on pourrait s'intéresser également à l'influence de la fréquence porteuse.



▲ Figure 9. Diagramme de Bode du dispositif complet pour une porteuse à 200 kHz.

5.2 Réponse expérimentale à la problématique

Regardons, ou plutôt écoutons ce qu'il en est de façon concrète. On remplace les sources d'informations sinusoïdales par les signaux provenant de micro et du poste radio. On joue ensuite sur la fréquence de démodulation. La restitution est plutôt bonne, bien qu'assez déformée, mais on comprend les paroles. On peut regarder ce qui se passe si on se place à une fréquence quelconque, vérifier qu'il n'y a pas recouvrement des signaux, et constater qu'il apparaît des problèmes si on rapproche trop les porteuses sur le poste d'émission.

Conclusion

Ce montage prouve qu'il est possible de transmettre deux informations, voire plus, à travers un seul et même câble. Néanmoins, le montage est loin d'être idéal. On a vu que la démodulation synchrone est limitée par la précision du choix de la fréquence du signal démodulant. En pratique, les systèmes de démodulation d'amplitude sont asservis en phase avec une boucle à verrouillage de phase pour éliminer ce problème.

Remarques et corrections post-présentation

- Les parties 4.2 et 5.1 n'ont pas été présentées à l'oral par manque de temps.
- Il est recommandé de passer plus de temps sur le montage complet.
- On peut éventuellement réorganiser le plan : modulation/démodulation d'amplitude, puis modulation/démodulation de fréquence (plutôt que toute la modulation, puis toute la démodulation).
- Eventuellement mettre des panneaux devant les différents modules pour bien montrer de quoi il s'agit.
- Ne pas donner d'erreurs en pourcentages.
- Plutôt utiliser la formule quadratique pour le calcul des erreurs.
- Pour gagner du temps, on peut enlever le calcul de k à la main (prendre quand même une mesure) et montrer directement la courbe d'étalonnage sous Regressi.
- Avoir des notions sur la radio (bandes utilisées, pourquoi?), le fonctionnement interne de l'O.C.T.