

# MP23 : Mise en forme, transport et détection de l'information

## Bibliographie :

 Poly de TP (5 à 10), J.-B. Desmoulins

[1]

## Rapports de jury :

**2017** : *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.*

**2012** : *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 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.*

## Introduction :

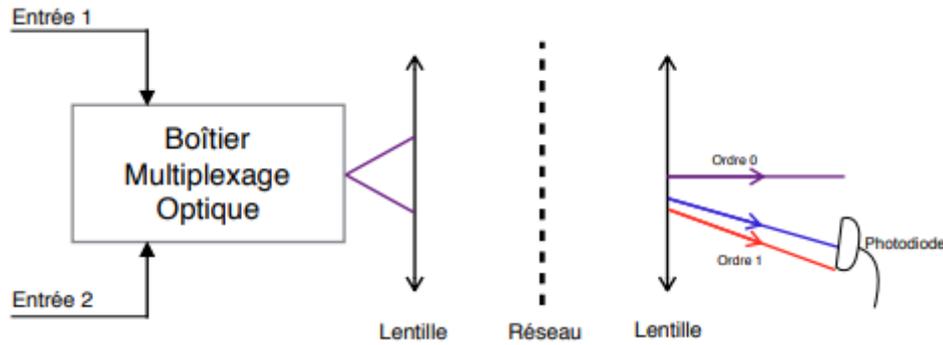
*Comment transmettre efficacement l'information ?*

- Exemple de la voix → Onde sonore [20 Hz-20 kHz] mais atténuation rapide en  $\frac{1}{r^2}$  + facilement bruité si quelqu'un d'autre parle.
- Solution : transformer cette onde sonore en onde EM mais problème : Il faudrait des antennes de taille  $\sim \lambda = 10^7\text{m}$  pour les ondes sonores → on utilisera donc des ondes hautes freq  $\sim \text{Mhz}$ .

On utilise donc un signal EM de très haute fréquence que l'on va moduler avec les fréquences que l'on veut transmettre. Ceci s'appelle la modulation. On met en forme l'information pour mieux la transmettre. On encode l'information que l'on veut transmettre dans une des caractéristiques du signal transmis, à savoir l'amplitude, la fréquence ou bien la phase.

Le signal modulé sera le signal porteur, le signal modulant sera la voix, ou bien l'information que l'on veut transmettre.

## Modulation d'amplitude - Multiplexage optique :



On réalise une modulation en amplitude de deux signaux sinusoïdaux, de fréquence 587 Hz [Ré] et 622 Hz [Mi] 6 Vpp.

Le convertisseur courant/tension qui nous permet de moduler en amplitude une DEL. On s'assure d'être dans la plage de fonctionnement linéaire de la DEL en réglant le décalage (l'offset).

On a donc comme fréquence de porteuse les fréquences optiques (Rouge et Bleue) et la fréquence modulante est celle délivrée par le GBF. Il s'agit de la **mise en forme**.

Le mélangeur (la fibre plastique) nous permet de faire le multiplexage. Il faudrait normalement faire l'association : un signal  $\iff$  un milieu de transmission, mais cela devient vite problématique dans le cas où nous avons plusieurs signaux à transmettre. Le multiplexage nous permet de faire passer plusieurs informations à travers un seul support de transmission. Nous pouvons le réaliser ici car nous avons pris la précaution lors de la mise en forme de coder le signal sur deux DEL deux couleurs différentes, on peut donc les distinguer (leur bande passante ne se superposent pas). Le signal multiplexé est donc violet. Il s'agit du **transport**.

Le signal ressort de la plaquette de façon divergente, on le focalise sur un réseau avec une lentille convergente de 100mm. Au premier ordre le réseau va nous permettre de séparer les  $\lambda$ . (La rouge est la plus déviée  $\sin(\theta) = \frac{p\lambda}{a}$ ). Il s'agit du démultiplexage du signal et donc de la **détection de l'information** si on utilise un photodiode.

Finalement, on utilise une photodiode + ampli + HP : On obtient au choix le signal bleu ou rouge, on a donc démodulé **RéMi** ;).

## Modulation en fréquence :

La modulation en fréquence présente plusieurs avantages (moins sensible au bruit).

### Présentation

On module via un GBF et on explique les termes :

- Signal modulant :  $e_m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$
- Signal modulé :  $e_p(t) = A_p \cos(2\pi f_p t + \beta \sin(2\pi f_m t))$
- Indice de modulation :  $\frac{\Delta f}{f_m}$

- Déviation en fréquence :  $\Delta f$
- Fréquence porteuse :  $f_p$
- Fréquence modulante :  $f_m$

On observe à l'oscilloscope un signal modulé + FFT (illustrer l'impact des différents paramètres).

## Bande de Carson

Il est important de connaître l'encombrement spectral de notre signal modulé. On détermine donc la largeur de canal (fréquentiel) où 98% de la puissance est comprise. C'est la **bande de Carson**.

On détermine la bande de Carson d'un signal modulé, et on vérifie la loi  $B_{th} = 2(\Delta f + f_m)$ .

## Démodulation en fréquence :

Maintenant qu'on a caractérisé l'encombrement spectral de notre signal, on connaît quelle plage fréquentielle il occupe, il nous reste donc à démoduler en fréquence le signal enfin d'en extraire l'information.

La démodulation s'effectue à l'aide de la boucle à verrouillage de phase. C'est un système asservit en fréquence composé d'un comparateur de phase et d'un oscillateur commandé en tension.

## Comparateur de phase



Multiplieur et passe bas en série.

Si la fréquence de coupure du passe bas est inférieure au fréquence modulante et que la différence des fréquences est faible, on récupère en sortie un signal proportionnel au cosinus du déphasage des signaux multipliés c'est une démodulation synchrone.

On trace la caractéristique du comparateur de phase, la sortie en fonction du cosinus du déphasage  $\rightarrow$  on obtient une droite. On peut aussi tracer la sortie en fonction du déphasage et on obtient un cosinus. C'est plus intéressant car cela illustre le fait que la sortie est bornée entre deux valeurs extrémales et donc que c'est le comparateur de phase qui va limiter la démodulation.

Pour des tension ayant pour amplitude 6 Vpp on trouve un signal borné entre  $\pm 0.5V$ .

On va donc vérifier le comparateur du VCO sur cette plage de valeurs.

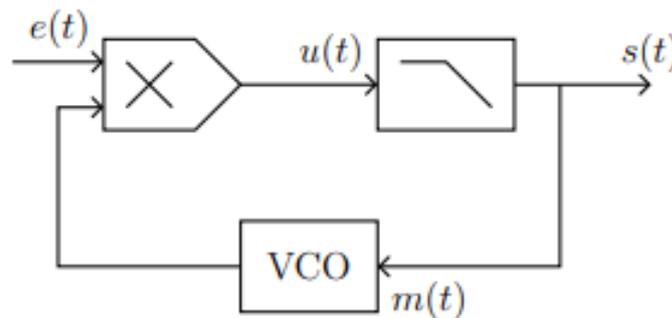
## Oscillateur commandé en tension

Le VCO (OCT en français) est un oscillateur qui délivre une fréquence égale à la fréquence de commande + un fréquence proportionnelle à la tension d'entrée.

$$f = f_0 + Ks(t) \quad (1)$$

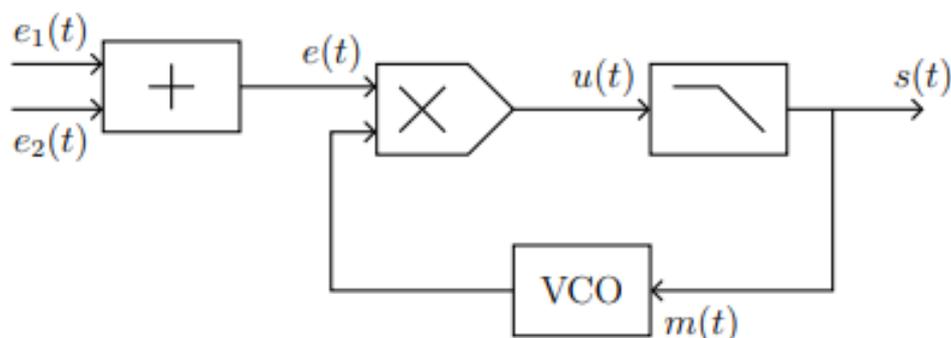
On trace la fréquence de sortie en fonction d'un signal continu en entrée allant de -0.5V à +0.5V. On obtient une droite, génial notre OCT est linéaire sur sa plage de fonctionnement !

## Boucle à verrouillage de phase



Maintenant on a montré que tout marche, on va pouvoir démoduler ! On assemble les deux composants (j'ai pris le soin de monter toute la chaîne de modulation en direct tout en racontant ce que je faisais, c'est toujours un plus).

Au lieu de démoduler des sinus un peu naze j'ai relié un GBF avec l'ordi et l'autre GBF avec mon téléphone (BNC - jack), je module en fréquence les signaux externes (**mise en forme**), je relie le tout à un sommateur (**multiplexage, transport**) et je **détecte avec la PLL** on insiste bien sur les thématiques du montage. Ici il faut modulé avec des fréquences de porteuses différentes (100kHz, 180kHz) pour être sur que les bandes passantes de nos signaux ne soient pas superposées. En réglant la  $f_0$  de l'OCT on choisit de démoduler l'un ou l'autre signal. Si on met de la musique sur le téléphone et sur l'ordi qu'on relie la sortie de la boucle a verrouillage de phase à un ampli + HP on crée une radio !



On introduit la plage de verrouillage et la plage de capture. La plage de capture c'est la plage de fréquence pour laquelle la boucle arrive à s'accrocher (boucle asservie) et la boucle de verrouillage c'est celle pour laquelle le signal reste accroché (asservissement maintenu). Bien sûr la

plage de verrouillage est plus grande que la plage de capture. On peut relever ces plages pour un des deux signaux et montrer que la plage de capture est symétrique.

**Bonus :** Si on a encore du temps on peut faire la FFT du signal multiplexé et montrer le phénomène de brouillage.

Pour cela il faut démoduler le signal 1, et modifier la fréquence de porteuse du signal 2 pour la rapprocher de celle du signal 1. On observe sur la FFT les bandes de Carson qui se rapprochent. On entend toujours la musique du signal 1. Lorsque les bandes sont superposées on entend le brouillage (un son distordu horrible).

## Signal numérique :



## Questions

- Pourquoi prendre  $f_p$  hautes ? Sinon on on un problème de taille pour les antennes. Cela permet de travailler avec de grosses plages de fréquences aussi. Ça permet de passer l'atmosphère et d'éviter les problèmes d'atténuation.
- Expliquer la composition du multiplexeur optique.

- Comment savoir qu'on est sur la plage linéaire de fonctionnement de la LED? Il faut regarder la lumière en fonction du bouton quand on le tourne, et on vérifie qu'elle ne sature pas (on se place au milieu).
- Qu'est ce qui joue le rôle du démultiplage? Le réseau.
- Comment choisir son pas? On le prend grand pour bien séparer le bleu du rouge.
- Limite de résolution du démultiplieur? L'oeil, il faut arriver à distinguer le bleu du rouge.
- Expliquer comment choisir la fréquence de coupure du comparateur.
- Qu'est ce qui influence la plage de verrouillage?
- Importances des plages de capture et de verrouillage? Il faut qu'elles soient grandes ou pas?
- A quoi ça sert de mesurer la bande de Carson?