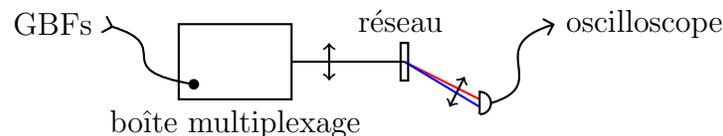


# M23 : Mise en forme, transport, détection de l'information

Elie SEZESTRE, Marc-Antoine MARTINOD     Correcteur : J. B. DESMOULINS

29/11/2013

## 1 Le multiplexage optique



**Figure 1** – Schéma du montage

Matériel nécessaire :

- Boîte “multiplexage optique”
- 2 GBF
- 2 lentilles de 200mm
- Réseau (1200 traits)
- Photodiode et oscilloscope
- Support boy

On module l'intensité de LED rouge et bleue à l'aide des deux GBF. On envoie un faisceau parallèle sur le réseau et on collimate une des deux radiations sur la photodiode.

Avec ce montage, on discute des trois termes dans le titre du montage. On met en évidence le fait que l'on peut mélanger deux informations pour les transporter et les récupérer ensuite (le multiplexage). Discuter du domaine de linéarité des LED, du choix des fréquences (dans le visible pour être pédagogique, bleu et rouge pour être bien résolu).

## 2 La modulation de fréquence

### 2.1 Caractérisation du signal

#### 2.1.1 Modulation

$$u(t) = A(t) \cos(\omega_p t + \phi(t)) \quad (1)$$

L'exemple précédent montrait une modulation d'amplitude. On peut jouer sur d'autres facteurs et nous allons nous intéresser dans la suite à la modulation de fréquence, qui est celle utilisée dans les signaux radio.

À partir d'un spectre, on définit différents paramètres utiles :  $f_p$ ,  $f_m$  et  $\Delta f$ .

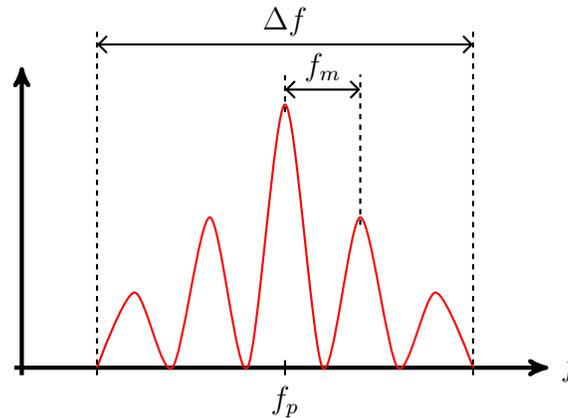


Figure 2 – Exemple pour la définition des paramètres.

### 2.1.2 Bande de Carson

Matériel nécessaire :

- GBF Agilent
- Oscilloscope
- Ordinateur avec la macro d'acquisition

On souhaite visualiser les paramètres que l'on vient d'introduire, et particulièrement résoudre les pics à  $f_m$ . On utilise une porteuse à 104kHz, une modulante sinusoïdale à 440Hz (fonction interne du GBF) avec  $\Delta f = 2\text{kHz}$ . On s'intéresse également à la bande de Carson, qui est la plage de fréquence dans laquelle est comprise 98% de la puissance totale du signal. On traite 3 cas :

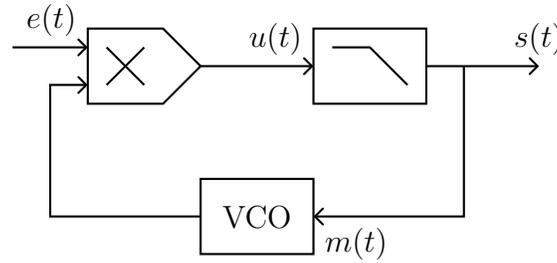
- Critère de Shannon strict à l'oscilloscope :  $F_e > 2f_p$ . Dans ce cas les pics ne sont pas résolus, on a une résolution de  $\delta F = F_e/N \approx 100\text{Hz}$  où  $N$  est le nombre de point d'acquisition (ici 1000).
- Critère de Shannon mou :  $F_e > 2\Delta f$ . Dans ce cas on augmente la résolution  $\delta F \approx 10\text{Hz}$  en se plaçant dans le cas d'un repliement de spectre (voir figures 5 et 6 en annexe). On arrive à résoudre les pics donc on peut calculer une bande de Carson (non fait en montage car trop long).
- Critère de Shannon strict à l'ordinateur : On se replace dans le cas 1 en utilisant toute la mémoire pour calculer le spectre à l'aide de l'ordinateur. Maintenant  $N = 4.10^6$ . Il faut penser à adapter l'échelle de temps ( $\times 1000$ ). Sur l'ordinateur, on observe bien le spectre résolu avec  $\delta F \approx 0,1\text{Hz}$ . On peut alors mesurer directement la bande de Carson avec les curseurs.

Les mesures de bande de Carson peuvent être mises en regard avec la valeur théorique de  $2(\Delta f + f_m)$ . Les résultats doivent être très proches.

## 2.2 Boucle à verrouillage de phase

Matériel nécessaire :

- Module multiplieur + filtre passe-bas ( $R=10\text{k}\Omega$ ,  $C=10\text{nF}$ )
- Alimentation stabilisée



**Figure 3** – Schéma-bloc du système

- 2 GBF
- VCO Thandar
- Oscilloscope

On peut faire la caractérisation du multiplieur, qui revient à trouver la rapport  $k$  de multiplication ( $k=1/10$ ) :

$$u(t) = \frac{kA_S A_{VCO}}{2} [\cos((f_p - f_{VCO})t + \phi_p - \phi_{VCO}) + \cos((f_p + f_{VCO})t + \phi_p + \phi_{VCO})] \quad (2)$$

On fait ensuite la caractérisation du VCO en direct, en faisant varier la valeur de la tension appliquée en entrée :

$$f_{VCO} = f_0 + k_{VCO} \times m(t) \quad (3)$$

On trouve  $k_{VCO} = 120.25 \pm 0.866 \text{ kHz} \cdot \text{V}^{-1}$ . On peut superposer courbe en direct et en préparation, montrer qu'elles ont la même pente mais pas la même ordonnée, dû au changement de  $f_0$ .

On passe ensuite aux plages de capture et de verrouillage. À  $f_p$  donné, on fait varier  $f_0$  et on se rend compte que l'on perd le signal si la différence de fréquence est trop grande. On trace plage de capture et plage de verrouillage en fonction de la tension de sortie du VCO. La plage de capture ne bouge quasiment pas et la plage de verrouillage dépend de cette amplitude. Pour expliquer ce phénomène, on montre les caractéristiques du multiplieur et du VCO côte à côte.

Quand la boucle est verrouillée,  $f_{VCO} = f_p$  et le signal  $u(t)$  est la somme d'une composante continue (dépendante de la phase entre les signaux) et d'une sinusoïde à  $2f_p$ . Le filtre passe-bas coupe cette composante et le VCO ne voit en entrée que la composante continue, qui fixe sa fréquence d'oscillation. Si  $f_p$  est trop grande, le point de fonctionnement pour le VCO n'est plus accessible et on perd le signal : c'est la plage de verrouillage. La plage d'amplitude pour  $m(t)$  dépend de l'amplitude de sortie du VCO, donc on retrouve le comportement expérimental.

Si on n'est pas verrouillé, les fréquences sont trop différentes et le signal est nul en sortie du filtre passe-bas. Si les fréquences se rapprochent, on peut passer en-dessous de la fréquence de coupure du filtre et le VCO va alors se bloquer sur la bonne fréquence : c'est la plage de capture. Ce paramètre dépend principalement du filtre utilisé.

## 2.3 Encombrement spectral

- Module multiplieur + filtre passe-bas ( $R=10\text{k}\Omega$ ,  $C=10\text{nF}$ )
- Alimentation stabilisée

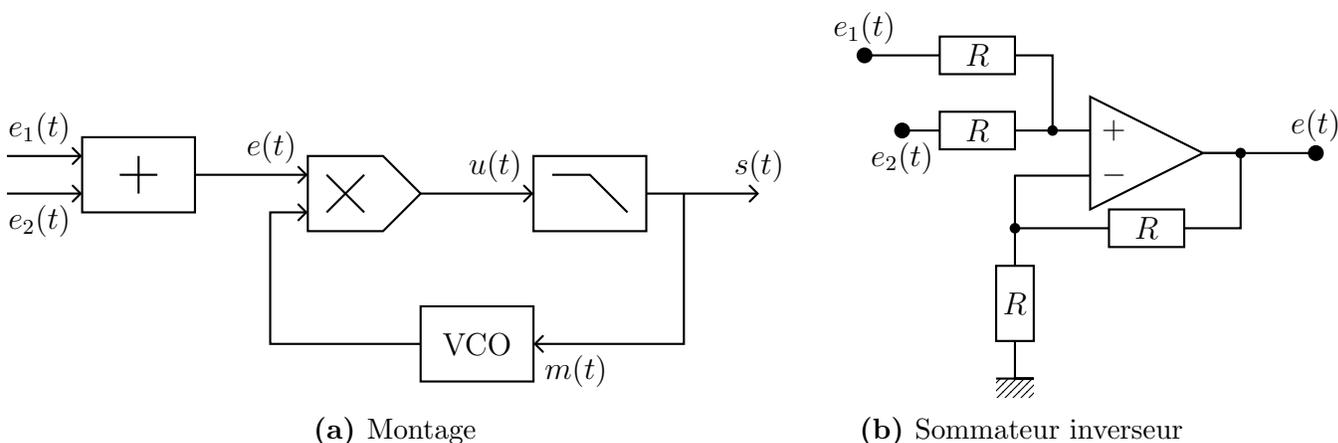


Figure 4 – Schéma du montage complet et du sommateur inverseur

- 2 GBF
- VCO Thandar
- Un signal audio (sortie de radio ou balladeur)
- Montage sommateur (1 AO, 4 résistance égales, 1 alimentation stabilisée)
- Oscilloscope
- Enceinte

On va étudier la compétition qui peut exister entre 2 signaux lorsqu'on les propage dans le même canal. Pour cela, on envoie 2 signaux (1 GBF à 150kHz auto-modulé sur une sinusoïde à 440Hz par exemple et l'autre à 100kHz modulé en externe par le signal audio). On les somme et on envoie ce signal dans la boucle à verrouillage de phase. En branchant l'enceinte sur la sortie, on peut choisir à l'aide du VCO ce que l'on écoute. Visualiser également à l'oscilloscope le spectre du signal filtré. En jouant sur la fréquence des porteuses, on voit que les signaux peuvent se superposer, ce qui se traduit par une perte de qualité au niveau du signal démodulé.

## Conclusion

Grâce à l'exemple de la radio, on a donc pu mettre en évidence les problèmes qui se posent lorsque l'on veut propager de l'information : ne pas brouiller les signaux, les récupérer. On aurait pu regarder l'influence du bruit sur la qualité de réception des signaux.

## Questions

- Comment sont réglées les photodiodes dont l'amplitude est modulée ? On peut jouer sur la valeur moyenne du signal de sortie avec un potentiomètre. Il faut se placer dans le régime de fonctionnement linéaire ( $\approx 0-2V$ ), de manière à ne pas demander une intensité négative, ni à saturer la photodiode.
- Quel est le rôle du réseau ? Ici il joue le rôle de démultiplexeur. On est dans un cas de multiplexage fréquentiel, mais il existe aussi le multiplexage temporel où une durée est attribué à chaque signal à transmettre.

- Quand utilise 1000 points, sur combien de points est effectivement calculée la FFT ? Seulement sur 500 points.
- Pourquoi utiliser seulement 1000 points pour l'oscilloscope et non un million ? Dû aux temps de transfert et d'affichage des données : si on veut du temps réel, il faut se limiter à cela. L'ordinateur peut utiliser toute la mémoire car il fige l'affichage de l'oscilloscope.
- Comment fonctionne la macro qui calcule la puissance spectrale ? Que se passe-t-il s'il y a du bruit ? La macro prend pour chaque point d'acquisition la valeur et calcule la puissance qui y correspond puis fait le ratio (identique à la mesure à la main). Le bruit ici est peu gênant car il y a un facteur 10 000 avec le bruit (5dB). Il comptera très peu. Pour le réduire, on peut toujours recentrer la fenêtre d'observation et la macro ne calcule que sur cette plage. Placer les curseurs entre les pics, afin de prendre toute leur puissance et non pas seulement la moitié.

## Remarques

- Le multiplexage optique peut donner lieu à une discussion intéressante même si elle est qualitative. Bien expliquer comment a été conçue la manipulation et le choix des éléments. Faire un réglage de LED en direct.
- $f_m$  correspond à la fréquence à laquelle la fréquence de la porteuse évolue.  $\Delta f$  est l'amplitude dont on fait varier  $f_p$ . Pour bien s'en rendre compte, on peut observer à l'oscilloscope un signal à 400Hz, modulé à 1Hz, de déviation 5Hz par exemple. On voit alors sur le spectre le pic à 400Hz se déplacer de 395 à 405 Hz en 1 seconde.
- Quand on se place dans le cas du repliement de spectre, les pics sont simplement déplacés et on doit donc recalculer leur position. C'est pour cela que l'on décale légèrement la fréquence de 100kHz, afin d'avoir un spectre centré autour de 4kHz quand  $F_e = 20\text{kHz}$  (voir schéma). Faire remarquer que cette méthode ne fonctionne pas dans le cas du multiplexage, car il y a un risque de recouvrement de spectre et la mesure devient impossible.
- Les incertitudes sur la bande de Carson ne sont pas significatives, on la connaît à  $f_m$  près.
- Le risque avec la macro est que le jury pose des questions gênantes. On peut faire la mesure manuellement sur un signal simple, puis lancer une campagne de mesure avec la macro pour des signaux plus compliqués.
- On peut aussi s'intéresser à l'influence du filtre sur les plages de capture et de verrouillage.
- Autres expériences possibles : modulation d'amplitude et démodulation synchrone, atténuation dans une fibre optique (dur à faire), dans un câble coaxial, modulation optique par effet Pockels. L'aspect transport n'a ici été abordé que dans le multiplexage, on peut ajouter du bruit à notre signal et montrer que la PLL s'en sort sans problème, car le bruit est additif et influe peu sur la fréquence.

## Annexes

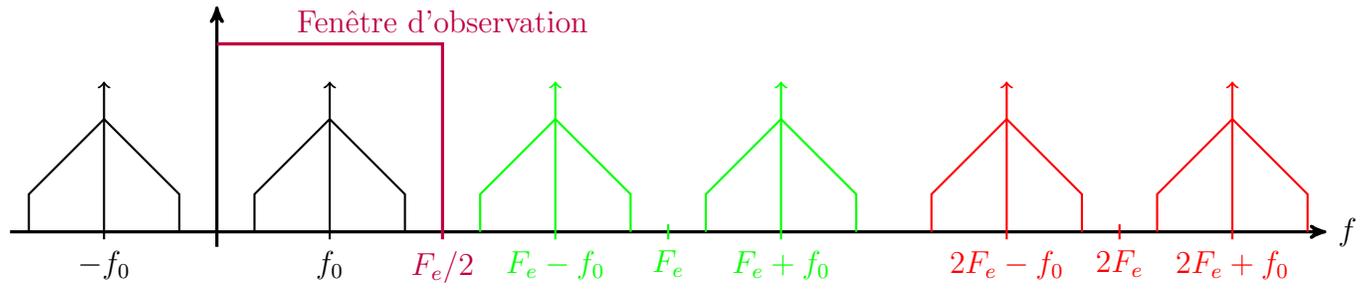


Figure 5 – Représentation en fréquence du spectre sans repliement.

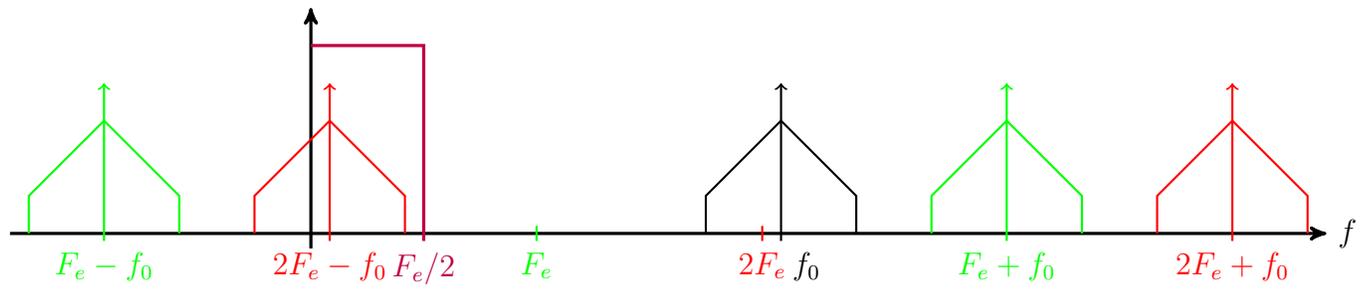


Figure 6 – Représentation en fréquence du spectre lors d'un repliement.