

# L2 – Systèmes de Transmission – Devoir écrit

25 novembre 2011

Documents *exclusivement* autorisés :

- Notes **manuscrites** (TD, cours), pas de photocopie,
- Transparents

Calculatrice autorisée

Le sujet comporte 4 exercices indépendants.

## CORRIGE

### 1 Modulation d'amplitude

La figure 2 présente un schéma de démodulation. La figure 3 représente les signaux  $s(t)$ ,  $r(t)$ , et  $m(t)$  mesurés à différents points du démodulateur.

1. Etant donné le signal *modulé*, représenté en figure 3(a), de quel type de modulation s'agit-il ?
  - L'amplitude du signal modulé variant, il s'agit d'une modulation d'amplitude. Par ailleurs, l'enveloppe du signal n'étant jamais nulle, on observe qu'il s'agit d'une modulation double bande avec porteuse.
2. Quel dispositif permet d'obtenir le signal représenté en figure 3(b) ?
  - Le signal représenté à la figure 3(b) est le signal modulé redressé ( $|s(t)|$ ). Un dispositif appelé pont de diodes permet d'obtenir le signal redressé.
3. Quel dispositif permet d'obtenir le signal représenté en figure 3(c) ?
  - Il s'agit du signal redressé filtré (*lissé*) obtenu grâce à un filtre passe-bas.
4. Quel type de démodulation est étudié ici ?
  - La modulation opérée est donc une modulation par détection d'enveloppe.
5. Quelles sont les conditions de son bon fonctionnement ?
  - Pour que la détection d'enveloppe puisse fonctionner correctement, il ne faut pas qu'il y ait de surmodulation. En reprenant les notations du cours, on doit avoir

$$|1 + km(t)| = 1 + km(t)$$

condition remplie si, le signal modulant  $m(t)$  étant normalisé, le taux de modulation  $k$  vérifie  $k < 1$ .

La figure 1 représente le spectre du signal *modulant*.

6. Représenter le spectre du signal modulé.
  - cf. cours : le spectre du signal modulé est le spectre modulant translaté autour de la fréquence  $f_0$  (donc contenu dans une bande  $[f_0 - f_{\max}, f_0 + f_{\max}]$ ) auquel s'adjoint la porteuse (matérialisée dans le spectre par une raie à  $f_0$ ).

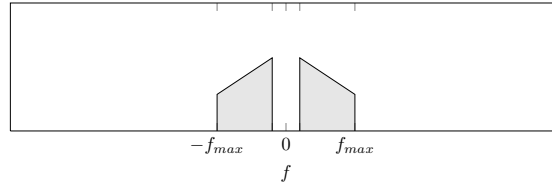


FIGURE 1 – Spectre bilatéral du signal modulant

7. Représenter et expliquer le schéma d'une démodulation alternative (qui pourrait fonctionner *aussi* pour un autre type de modulation d'amplitude).

- Une démodulation cohérente peut être envisagée (celle-ci fonctionnant par ailleurs lors de l'utilisation d'une modulation double bande sans porteuse ou à bande latérale unique). Elle est constituée d'un multiplieur en entrée duquel on injecte le signal modulé  $s(t)$  et la sortie d'un oscillateur local à la fréquence de la porteuse et en phase avec celle-ci.

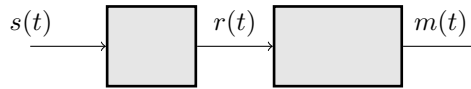


FIGURE 2 – Schéma de démodulation

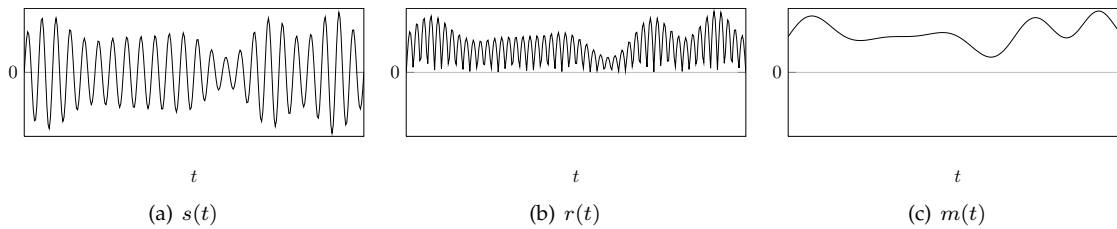


FIGURE 3 – Signaux mesurés aux points indiqués à la figure 2

## 2 Modulation de fréquence

On considère un signal modulant *sinusoïdal* de fréquence  $f_m = 15\text{KHz}$ . La fréquence de la porteuse est  $f_0 = 100\text{MHz}$  et l'*indice* de modulation est  $\beta = 5$ . La table 1 donne les valeurs des fonctions de Bessel  $J_n(\beta)$  d'ordre  $n$ .

1. Représenter le spectre du signal modulé.

- cf. TD : il s'agira d'un spectre de raies donc les composantes, dont les amplitudes sont données par la table 1 et les fréquences sont à  $f_0 \pm k f_m$ .

2. En utilisant la règle de Carson, calculer la bande de fréquence utilisée par le signal modulé en fréquence. Représenter cette bande de fréquence sur le spectre précédemment tracé. Commentaires.

- La règle de Carson nous donne une approximation de la bande de fréquence occupée par un signal modulé en fréquence (théoriquement cette bande de fréquence est infinie). Elle indique  $B_c = 2(\beta + 1)f_m = 180\text{kHz}$ , soit une bande centrée en  $f_0$ , de 99.1MHz à 100.9MHz. Elle nous autorise à négliger la composante dont l'amplitude vaut  $J_7(\beta) = 0.05$ .

3. Comparer cette bande de fréquence avec celle occupée par un signal modulé en amplitude.

- Le même signal modulé en amplitude (double bande) occupera une bande de  $2f_m = 30\text{kHz}$ , soit une bande 6 fois moindre (au prix d'une qualité du signal démodulé moindre).

$\beta$	$J_0$	$J_1$	$J_2$	$J_3$	$J_4$	$J_5$	$J_6$	$J_7$
0	1	–	–	–	–	–	–	–
0.25	0.98	0.12	–	–	–	–	–	–
0.5	0.94	0.24	0.03	–	–	–	–	–
1	0.77	0.44	0.11	0.02	–	–	–	–
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	–	–	–
2	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	–	–	–
2.5	–0.05	0.5	0.45	0.22	0.07	0.02	–	–
3	–0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	–
4	–0.4	–0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.04	0.01
5	–0.18	–0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05
6	0.15	–0.28	–0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13
7	0.3	0	–0.3	–0.17	0.16	0.35	0.34	0.23
8	0.17	0.23	–0.11	–0.29	–0.1	0.19	0.34	0.32

TABLE 1 – Valeurs des fonctions de Bessel

### 3 Numérisation

La figure 4 représente le processus de numérisation et de conversion numérique-analogique.

1. Quelle est la fonction réalisée par le filtre en entrée de l'échantillonneur/bloqueur ? Quelles sont ses caractéristiques ?
  - Le filtre en entrée de l'échantillonneur est un filtre anti-repliement (ou anti-aliasing). C'est un filtre passe-bas de fréquence de coupure  $f_c < f_e/2$ . Ainsi le signal entrée de l'échantillonneur respecte la règle imposée par le théorème de Shannon,  $f_{max} < f_e/2$ .
2. Quelle est la fonction réalisée par le filtre en sortie du CNA ? Quelles sont ses caractéristiques ?
  - Le filtre en sortie de l'échantillonneur est un filtre de reconstruction. C'est un filtre passe-bas de fréquence de coupure identique au filtre en anti-repliement.

On considère que le signal en entrée de l'échantillonneur est celui dont le spectre est représenté en figure 1.

3. Représenter le spectre du signal en sortie de l'échantillonneur bloqueur.
  - cf. TD : il s'agit du spectre du signal représenté en figure 1 translaté à tous les multiples de  $f_e$ .
4. Comment peut-on caractériser la distorsion apportée par l'opération d'échantillonnage ?
  - La distorsion apportée par l'opération d'échantillonnage est entièrement caractérisée par celle apportée par les filtres anti-repliement et de reconstruction. Soit, en première analyse, la troncature des composantes situées à une fréquence supérieure à  $f_e/2$ . C'est cette distorsion qui indiquera la fréquence d'échantillonnage minimale.
5. Comment peut-on caractériser la distorsion apportée par l'opération de quantification ?
  - La quantification apporte une erreur systématique sur chaque échantillon comprise entre  $-q/2$  et  $q/2$ . Le bruit additif qui modélisera cette erreur est tel que le RSB (rapport signal sur bruit) dépendra du nombre de niveaux de quantifications, donc sur le nombre  $B$  de bits qui code chaque échantillon. On peut approximer, en dB :  $RSB=6B$ .

### 4 Système hétérodyne

On considère un signal modulé en amplitude DBSP. Le schéma de la figure 5 représente un récepteur hétérodyne. La fréquence de la porteuse de modulation est notée  $f_0$ .

1. En utilisant les notations employées sur le schéma, que vaut  $f_2$  ?

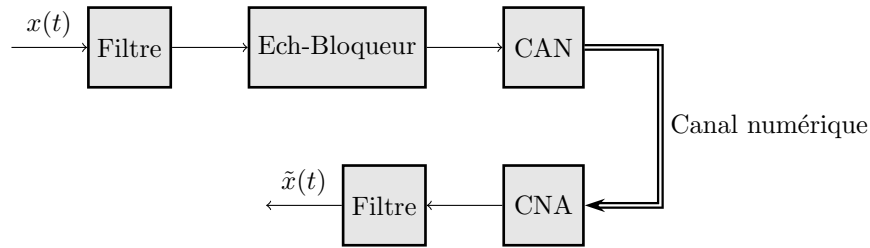


FIGURE 4 – Schéma de numérisation du signal  $x(t)$

- La fréquence  $f_2$  de l'oscillateur (notée  $f_{OL}$  dans le cours) permet de traduire le spectre du signal modulé (centré en  $f_0$ ) autour de  $f_I$ , la fréquence intermédiaire. On a le choix de prendre  $f_2 = f_0 - f_I$  ou  $f_2 = f_0 + f_I$ . Le signal en sortie est donc un signal modulé en amplitude à la fréquence  $f_I$ .
- 2. Quelle est l'opération effectuée par l'ensemble constitué du multiplieur par l'oscillateur à  $f_I$  et du filtre passe-bas de sortie ?
- Il s'agit d'un démodulateur cohérent à la fréquence  $f_I$ .
- 3. Quels paramètres du démodulateur changent si  $f_0$  change ?
- La fréquence intermédiaire  $f_I$  ne changera pas. Il s'agira alors de modifier  $f_2$  ainsi que les fréquences de coupure du premier filtre passe-bande.
- 4. Quel est l'avantage du système hétérodyne ?
- L'avantage du système hétérodyne est que la démodulation cohérente s'effectue à la fréquence  $f_I$ , qui ne varie pas si  $f_0$  change. Cela permet de faciliter la conception du filtre passe-bande de fréquences de coupure  $[f_I - F, f_I + F]$  dont la fréquence centrale est fixe et dont la sélectivité est moindre.
- 5. Quelle est la fonction du premier filtre passe-bande ?
- Le filtre passe-bande en entrée du système, de faible sélectivité, permet de supprimer le phénomène de double réception.

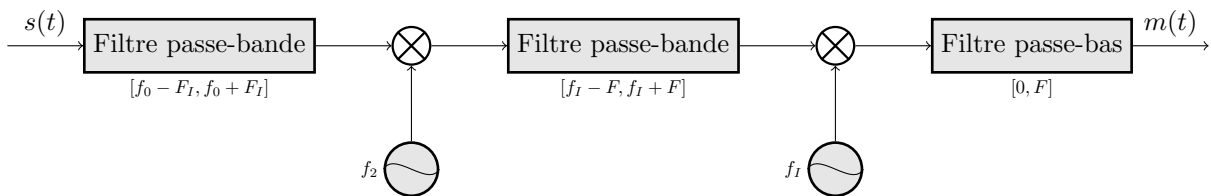


FIGURE 5 – Schéma hétérodyne de démodulation

FIN