

2023/2024

Thème : modulation, démodulation

APPLICATIONS DIRECTES :**1. Nature de la modulation :**

Pourquoi est-il nécessaire de moduler un signal avant de l'émettre ?

Identifier dans les documents ci-contre les modulations en amplitude, en fréquence et en phase.

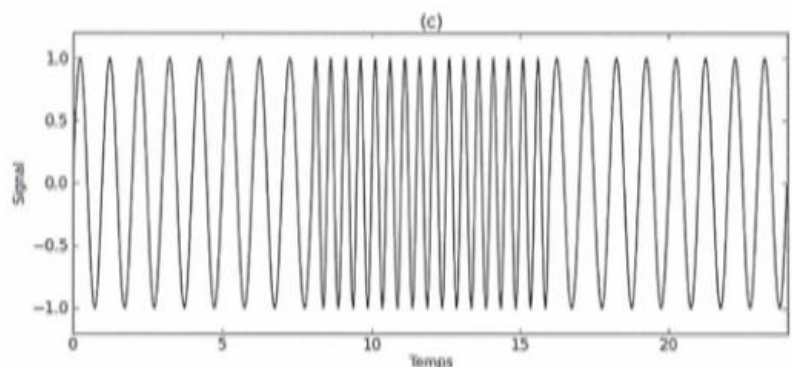
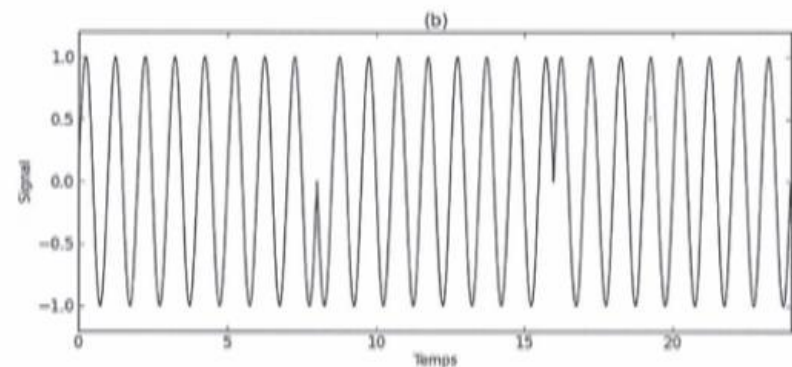
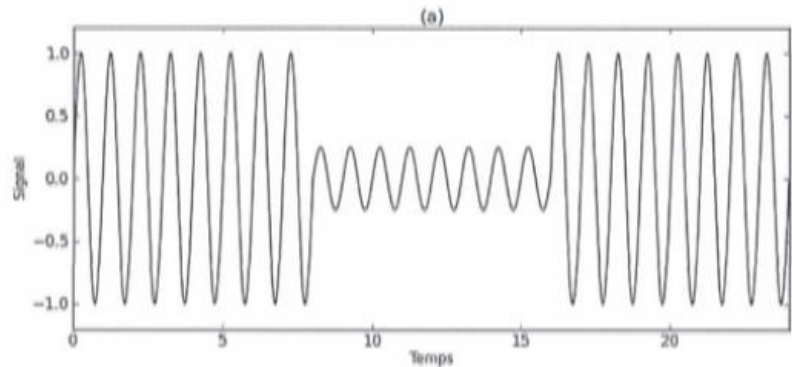
Déterminer un ordre de grandeur de la fréquence de la porteuse, sachant que l'échelle de temps est exprimée en ms.

2. Taux de modulation

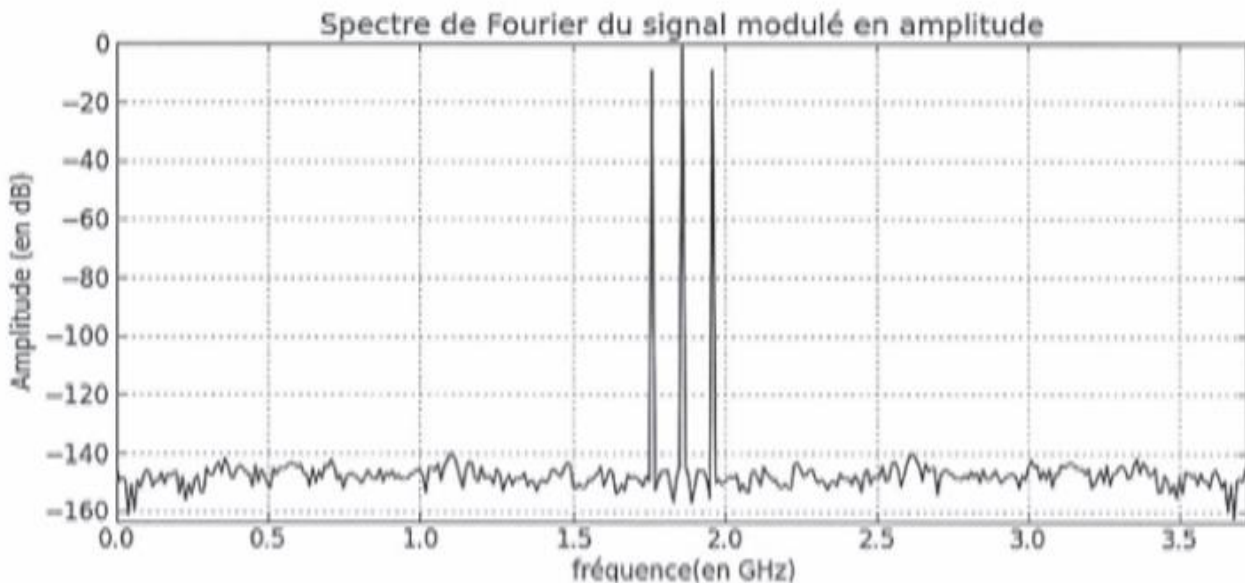
- a) Rappeler le principe de modulation d'amplitude d'un signal sinusoïdal $e(t)$ et exprimer $s_{AM}(t)$, le signal modulé, en fonction de m taux de modulation.

Sur la figure ci-dessous, en ordonnée les amplitudes sont exprimées en Volt et en abscisse le temps en seconde.

- b) Déterminer, à l'aide du graphique, les fréquences de la modulante et de la porteuse.
- c) Déterminer la valeur de m .
- d) Tracer le spectre de Fourier de $s_{AM}(t)$.
- e) Proposer une technique de démodulation et justifier qu'il ne peut s'agir d'une opération linéaire. On précisera les valeurs des composants électriques utilisés.



3. Lecture du spectre d'un signal sinusoïdal modulé en amplitude :



Déterminer la fréquence du signal sinusoïdal transmis, ainsi que la fréquence de la porteuse.

EXERCICES :

I. Détection synchrone

La détection directe d'un signal n'est pas toujours aisée. Le signal peut être de faible intensité et noyé dans du bruit. La détection synchrone permet alors d'extraire le signal recherché. On décrit ici le principe de fonctionnement de la détection synchrone. Le signal $s(t)$ est composé d'une part du signal physique recherché $sp(t)$ et d'autre part de composantes présentes non associées au signal physique, que l'on appelle de façon générique le bruit.

En notant $b(t)$ le bruit présent, on peut écrire : $s(t) = sp(t) + b(t)$.

La fréquence du signal physique utile $sp(t)$ est connue et égale à $2f_e$.

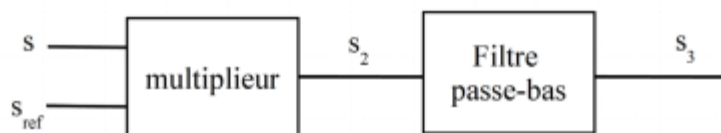
On suppose que $sp(t)$ et $b(t)$ ont une moyenne nulle : $\langle sp(t) \rangle = \langle b(t) \rangle = 0$, la moyenne étant effectuée sur une durée $T_e = 1/f_e = 2\pi/\omega_e$.

Un dispositif permet de générer, un signal sinusoïdal de référence $s_{ref}(t)$ de même fréquence que $sp(t)$, et a priori déphasé de ϕ par rapport à celui-ci. Le bruit étant indépendant du signal physique recherché, on a la propriété suivante : $\langle s_{ref}(t)b(t) \rangle = 0$.

On pose : $sp(t) = A \cos(2\omega_e t + \phi)$ et $s_{ref}(t) = B \cos(2\omega_e t)$.

Le montage ci-dessous permet de mettre en œuvre le principe de la détection synchrone.

On effectue dans un premier temps le produit du signal $s_{ref}(t)$ avec le signal $s(t)$. On admet qu'en sortie du multiplieur le signal s'écrit : $s_2(t) = Ks(t)s_{ref}(t)$ où K est une constante.



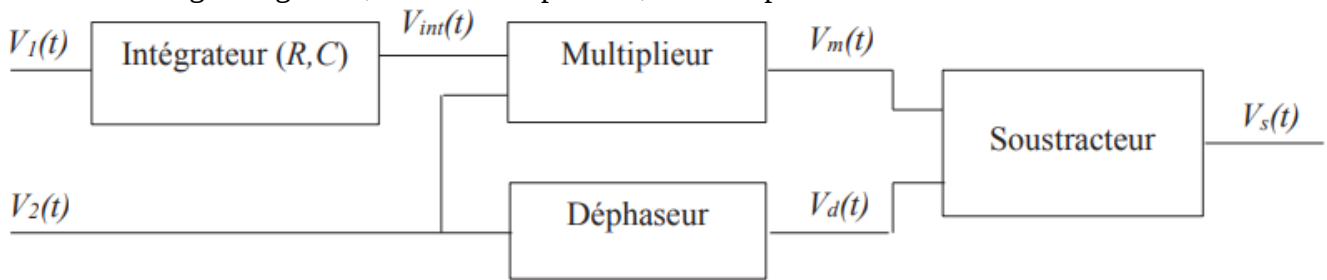
1. Déterminer l'expression du signal de sortie $s_2(t)$ du multiplieur en fonction de $b(t)$, K , A , B , ω_e et ϕ . Montrer que le signal $s_2(t)$ possède une composante continue $KAB \cos(\phi)/2$.
2. Pourquoi un filtre passe-bas permettant d'isoler la composante continue du signal $s_2(t)$ permet-il d'éliminer le bruit ?

On souhaite réaliser le filtre passe-bas passif en utilisant un conducteur ohmique de résistance R et un condensateur de capacité C .

3. Représenter le montage correspondant. Donner l'expression de la fonction de transfert en fonction de la pulsation de coupure du filtre. On donnera l'expression de la pulsation de coupure ω_c en fonction de R et C .
4. Indiquer comment choisir la valeur de la pulsation ω_c de ce filtre passe-bas. Proposer un couple de valeurs pour R et C satisfaisant la contrainte précédente avec $f_e = 1,0 \text{ kHz}$.
5. Quelles informations sur $sp(t)$ récupère-t-on ?

II. Modulation de fréquence

On peut réaliser une modulation de fréquence MF (FM en anglais) suivant le schéma d'Armstrong qui utilise un montage intégrateur, un réseau déphaseur, un multiplieur et un soustracteur.



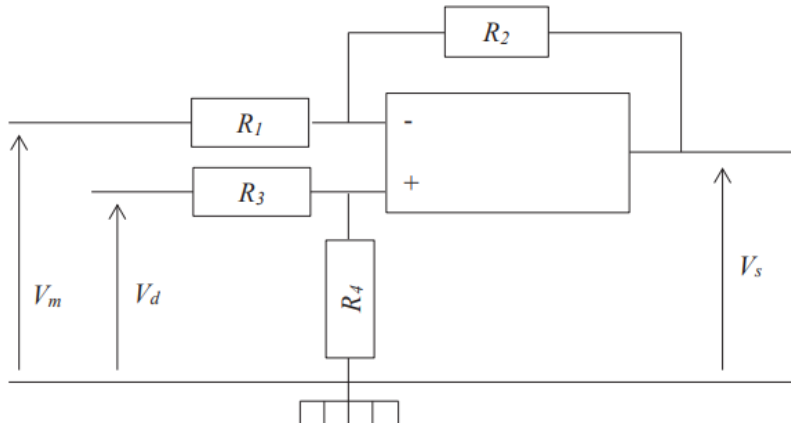
Les ALI sont supposés idéaux de gain infini et fonctionnent en régime linéaire.

Le déphaseur est réglé pour provoquer un retard de phase de $\pi/2$ de la tension $V_d(t)$ par rapport à la tension $V_2(t)$.

On suppose qu'à $t = 0$, $V_{int}(0) = 0$. On impose par ailleurs, à l'entrée de l'ensemble, les deux tensions :

$V_1(t) = V_{1m} \cos(\omega_1 t)$ et $V_2(t) = V_{2m} \cos(\omega_2 t)$ avec : $\omega_2 \gg \omega_1$.

Etude du soustracteur :



1. Quelle considération de câblage permet de considérer ce montage comme potentiellement stable ?

2. Déterminer l'expression liant les différentes résistances R_1 , R_2 , R_3 , R_4 et les tensions $V_m(t)$, $V_d(t)$ et $V_s(t)$. Donner une condition simple entre R_1 , R_2 , R_3 et R_4 pour que

3. $V_s(t) = V_d(t) - V_m(t)$.

On considèrera par la suite cette relation vérifiée.

4. Proposer un schéma d'un

intégrateur à ALI réalisé avec un condensateur de capacité C et d'une résistance R . Préciser la relation entre $V_{int}(t)$, $V_1(t)$, R et C .

5. Exprimer $V_s(t)$ sous la forme $V_s(t) = A \sin(\omega_2 t) + B(\omega_1) \cos(\omega_2 t)$ où A est une constante et $B(\omega_1)$ une fonction de ω_1 que l'on explicitera.

Soit le formulaire ci-dessous :

$$a \cos \theta + b \sin \theta = \sqrt{a^2 + b^2} \sin(\theta + \varphi)$$

$$\text{avec } \cos \varphi = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \text{ et } \sin \varphi = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

6. Montrer que $V_s(t)$ peut se mettre sous la forme : $V_s(t) = V_{2m} \sqrt{1 + \varepsilon^2 \sin^2(\omega_1 t)} \sin(\omega_2 t + \varphi(t))$. Préciser les expressions de ε et de $\tan(\varphi(t))$ en fonction de k , V_{1m} , R , C , ω_1 et de t .

7. Que devient $\tan(\varphi(t))$ si $\varphi(t)$ est petit devant 1 ? Même question pour $\sqrt{1 + \varepsilon^2 \sin^2(\omega_1 t)}$ si $\varepsilon \ll 1$. On écrit alors $V_s(t) = V_{2m} \sin(\omega_2 t + m \sin(\omega_1 t))$. Déterminer l'expression de m .

ω_2 est la pulsation élevée de la porteuse, m le taux de modulation de pulsation modulante ω_1 .

On pose $V_s(t) = V_{2m} \sin(\psi(t))$. $\psi(t)$ est la phase instantanée.

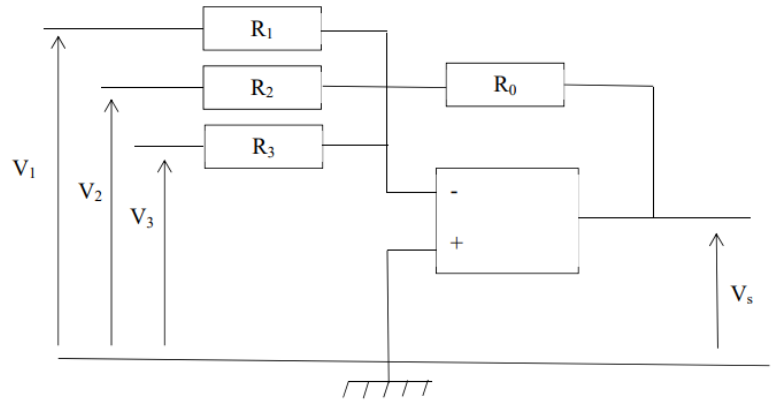
La pulsation instantanée de $V_s(t)$ est donnée par $\Omega(t) = \frac{d\psi(t)}{dt}$.

8. Etablir la relation liant $\Omega(t)$, ω_2 , k , R , C et $V_1(t)$. Justifier le nom de modulation de fréquence associé à ce traitement du signal.

III. Etude spectrale

On considère le montage électronique ci-dessous où l'A.Li. est considéré comme parfait et fonctionne en régime linéaire. V_1 , V_2 , V_3 correspondent aux trois tensions d'entrée et V_s est la tension de sortie.

1. Déterminer l'expression de V_s en fonction des données. Proposer un nom à ce montage.



Ce montage est associé à un

multiplieur usuel avec $V_1(t) = V_o \cos(2\pi f_1 t)$ et $V_2(t) = V_o \cos(2\pi f_2 t)$.

2. Tracer le spectre de V_s lorsque les 4 résistances ont la même valeur.
3. Comment est modifié ce spectre lorsque $R_0 = R_1 = R_2 = 2R_3$?
4. Le spectre de V_s est donné ci-dessous. Le curseur vertical 1 est en pointillé, le curseur vertical 2 en trait plein. Les ordonnées sont exprimées en décibels. Déterminer les valeurs des fréquences f_1 et f_2 .

