

2026/2027

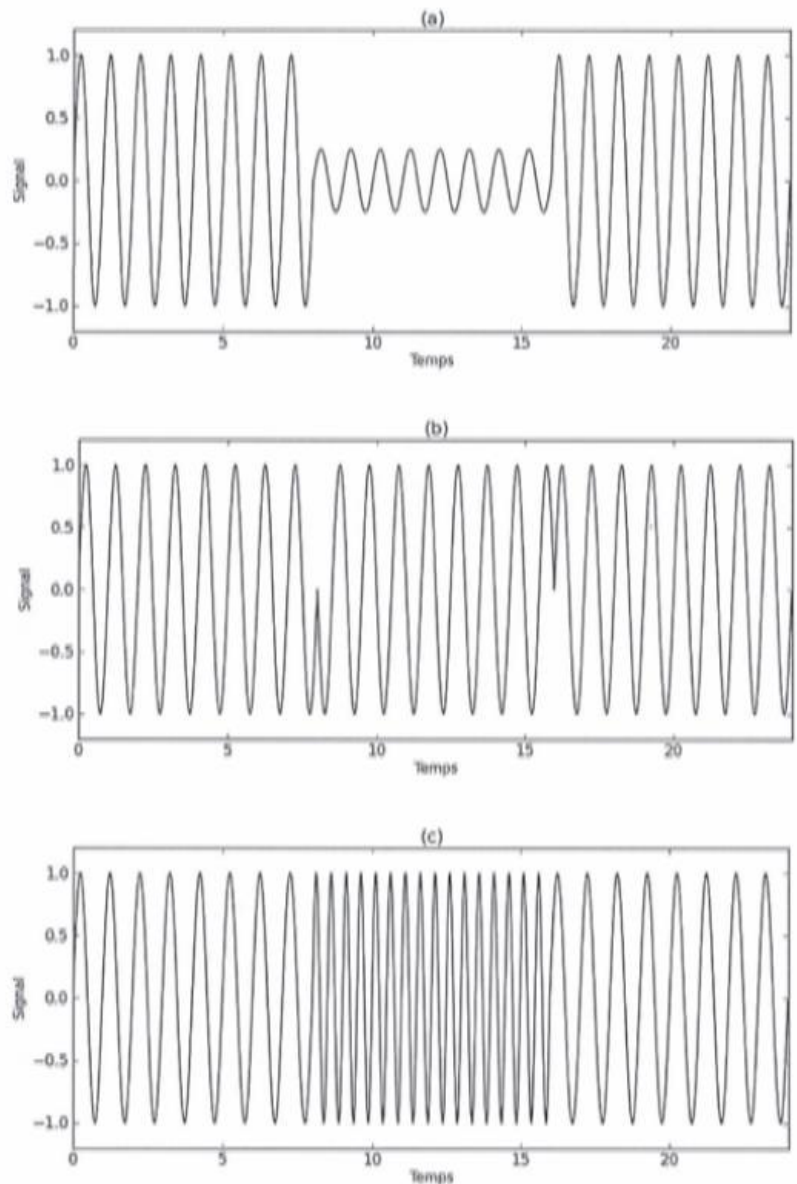
Thème : modulation, démodulation

**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. Représenter l'allure du signal basse fréquence. On précisera les instants remarquables.

**2. Taux de modulation**

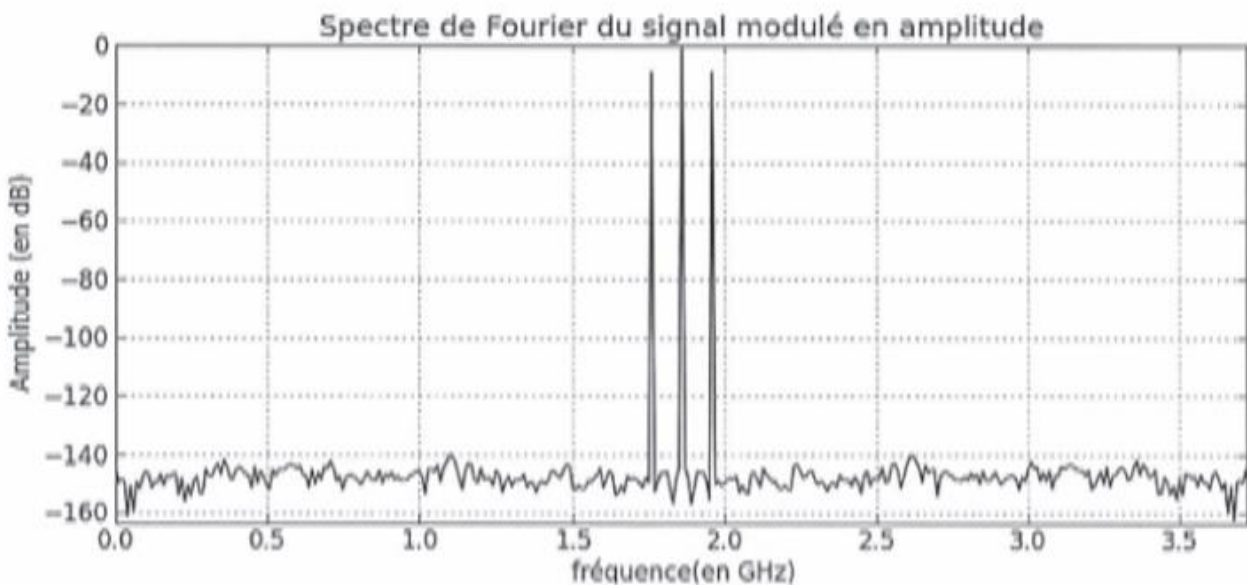
- a) Rappeler le principe de modulation d'amplitude d'un signal sinusoïdal  $e(t)$  et exprimer  $s_{AM}(t)$ , le signal modulé, en fonction de  $m$  taux de modulation.

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. Justifier !!!

### EXERCICES :

#### I. Détection d'un obstacle mobile

Un robot domestique (tondeuse à gazon, aspirateur...) doit être capable de détecter des obstacles mobiles : enfant ou animal domestique se déplaçant. Pour ce faire, il émet des ondes ultrasonores qui se réfléchissent sur des obstacles. Si la pulsation de l'onde émise est  $\omega_0$  la pulsation de l'onde reçue est  $\omega_r$  telle que :

$$\omega_r = \omega_0 \frac{1 + \frac{V}{c}}{1 - \frac{V}{c}}$$

V est la vitesse de l'obstacle et c la célérité des ondes sonores.

- 1.** Dans le cas où l'obstacle mobile est un chien voulant jouer avec le robot et se déplaçant à une vitesse de  $V = 3,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  vers ce dernier, justifier la relation :  $\omega_r \approx \omega_0 \left(1 + 2 \frac{V}{c}\right)$ .

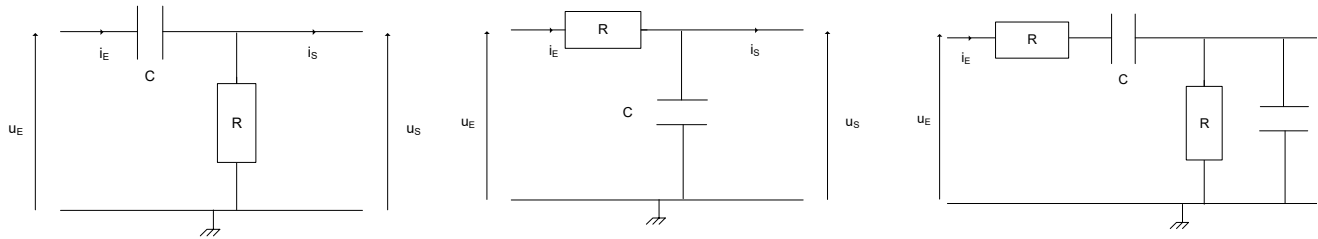
Pour prendre la décision adéquate : rebrousser immédiatement son chemin ou continuer encore son trajet, le robot doit déterminer la vitesse  $V$  de l'obstacle mobile. Pour cela on va effectuer une détection hétérodyne (ou synchrone), c'est-à-dire qui exploite un décalage de fréquence. Dans un premier temps on multiplie la tension  $u_0$  à laquelle a été soumise la lame de quartz qui émet l'onde ultrasonore par la tension  $u_r$  délivrée par le récepteur à ultrasons. Puis on filtre le signal  $u_e$  ainsi obtenu.

- 2.** Représenter sur un schéma-bloc les opérations effectuées sur les signaux  $u_0(t)$  et  $u_r(t)$  par la détection hétérodyne pour obtenir un signal dont l'amplitude est proportionnelle à la vitesse  $V$  recherchée.

On pose :  $u_0(t) = U_0 \cos(\omega_0 t)$ ,  $u_r(t) = U_r \cos(\omega_r t + \varphi)$  et  $u_e(t) = k \cdot u_0(t) \cdot u_r(t)$ .

- 3.** Exprimer  $u_e(t)$  comme une somme de composantes harmoniques puis représenter l'allure de son spectre en pulsation.
- 4.** Dans le cas où l'obstacle mobile est un chien voulant jouer avec le robot et se déplaçant à une vitesse de  $V = 3,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , avec  $c = 343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  et  $f_0 = 40 \text{ kHz}$ , on désire ne conserver que la composante  $\omega_r - \omega_0$  pour accéder à la valeur de  $V$ . Justifier ce choix. En déduire la nature du filtre nécessaire. Dans quel domaine de valeurs numériques doit se situer la pulsation de coupure ?

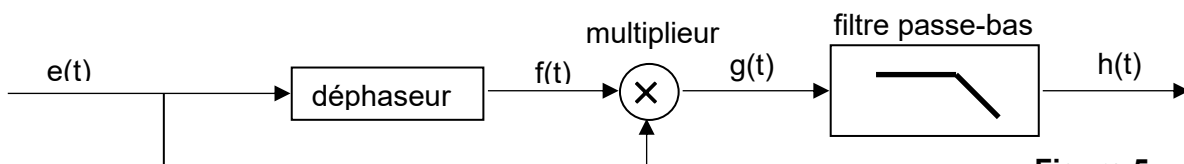
On cherche une réalisation simple de ce filtre, pour cela on étudie les 3 quadripôles suivants, pour lesquels on considère que l'intensité  $i_s$  du courant de sortie est nulle :



- 5.** Analyser le comportement à basses et hautes fréquences des 3 quadripôles. Lequel de ces quadripôles réalise la fonction de filtrage désirée ?
- 6.** Déterminer l'expression de la fonction de transfert harmonique du filtre choisi. Exprimer la pulsation de coupure  $\omega_C$  du filtre en fonction de  $R$  et  $C$ .
- 7.** On désire atténuer d'un facteur 100 l'amplitude de la composante haute fréquence du signal  $u_e(t)$ , déterminer la valeur de la pulsation de coupure  $\omega_C$  du filtre. Quel est alors la valeur du facteur d'atténuation de la composante basse fréquence du signal ? Commenter.

## II. Démodulation d'un signal modulé en fréquence

Un téléphone portable reçoit un signal modulé en fréquence, de la forme  $e(t) = U_0 \cos[\omega_0 (1 + m(t)) t]$  ; sa pulsation s'écrit donc :  $\omega = \omega_0 (1 + m(t))$ . L'objectif est d'extraire de ce signal la quantité  $m(t)$ , qui constitue l'information échangée entre l'antenne et le téléphone. Pour cela, le circuit représenté sur la figure 5 est utilisé.

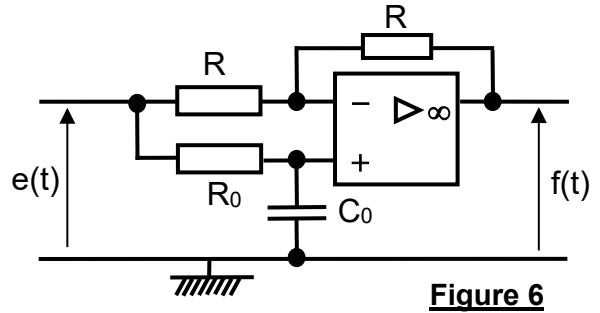


**Figure 5**

Le circuit déphaseur est schématisé sur la figure 6. L'amplificateur linéaire intégré est idéal, de gain infini et fonctionne en régime linéaire.

1. Déterminer l'expression de la fonction de transfert  $\underline{I} = \underline{f}/\underline{e}$  du déphaseur, en régime sinusoïdal forcé à la pulsation  $\omega$ .
2. Justifier que  $\underline{I}$  peut s'écrire  $\underline{I} = e^{j\psi}$ . Exprimer  $\cos(\psi)$  en fonction de  $\omega$  et  $\omega_0 = 1/(R_0 C_0)$ .

Considérons pour commencer que  $m(t)$  est une constante :  $m(t) = m = \text{cste}$ . Le multiplieur délivre une tension :  $g(t) = k \times e(t) \times f(t)$ ,  $k$  étant une constante.



**Figure 6**

3. Exprimer  $g(t)$ . Vérifier que  $g(t)$  est la somme d'une tension continue  $A$  et d'une tension de pulsation  $2\omega$ . Exprimer  $A$  en fonction de  $k$ ,  $U_0$  et  $m$ . Ecrire le développement limité de  $A$  jusqu'à l'ordre 1 en  $m$  inclus, sachant que  $m$  est petit devant 1.

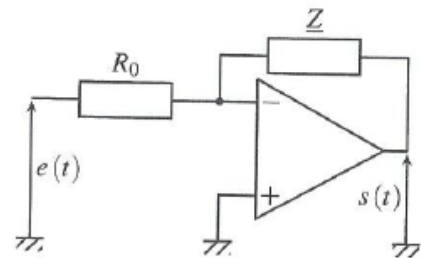
Il est admis que les résultats précédents restent valables tant que la quantité  $m(t)$  varie très lentement par rapport à  $\cos(\omega_0 t)$ , tout en restant très inférieure à 1.

4. Comment faut-il choisir la pulsation de coupure  $\omega_C^{\text{PB}}$  du filtre passe-bas pour que la sortie  $h(t)$  soit proportionnelle à  $m(t)$  ?
5. Proposer un montage électronique simple permettant de réaliser ce filtrage. A-t-on un problème d'adaptation d'impédance ?

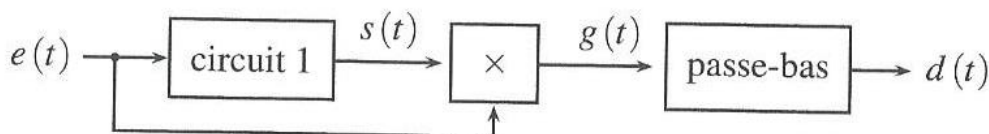
### III. Application de la détection synchrone à la mesure d'impédance

Le modèle linéaire d'une bobine n'est pas toujours suffisant. On approche mieux la réalité par un modèle de la forme  $\underline{Z} = R(\omega) + jL(\omega).\omega$ .

On cherche à mesurer l'impédance d'une bobine à une pulsation donnée.



1. Sur le circuit 1, où l'ALI est idéal, de gain infini montrer que  $e(t)$  est proportionnel au courant traversant  $\underline{Z}$  et que  $s(t)$  est proportionnel à la tension aux bornes de  $\underline{Z}$ .
  2. Déterminer la fonction de transfert de ce montage. Exprimer son gain en fonction de  $|\underline{Z}|$  et son argument en fonction de  $\varphi = \arg \underline{Z}$ .
  - 3.
  4. On suppose que  $e(t) = E.\cos(\omega t)$ , en déduire  $s(t)$  en fonction de  $|\underline{Z}|$  et de  $\varphi = \arg \underline{Z}$ .
- On insère le circuit 1 dans le montage ci-dessous qui réalise une détection synchrone. Le passe-bas, de gain statique égal à 1 ne sélectionne que la composante continue.



5. Déterminer  $d(t)$ .
6. Après avoir montré que  $R(\omega) = |\underline{Z}|\cos\varphi$  et  $L(\omega).\omega = |\underline{Z}|\sin\varphi$  où  $\varphi = \arg \underline{Z}$ , exprimer  $R(\omega)$  en fonction de  $E$  et de  $d(t)$  entre autres.
7. Pour mesurer  $L(\omega)$  on modifie le montage à l'aide d'un bloc  $-\pi/2$  qui introduit un retard de  $\pi/2$  sans modifier l'amplitude. Où doit-on placer ce bloc pour déterminer  $L(\omega)$  en fonction de  $E$  et de  $d(t)$  entre autres.