

TD d'électronique n° 5

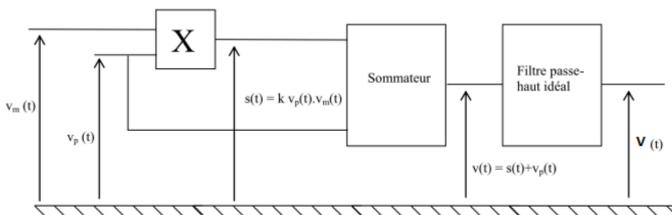
Modulation, démodulation

1 — Modulation BLU

On considère un signal sinusoïdal $v_m(t) = V_m \cos(\omega_m t)$ de fréquence f_m comprise entre 0,2 kHz et 20 kHz. Pour véhiculer l'information à grande distance sous forme d'onde électromagnétique, on réalise une modulation d'amplitude dite à bande latérale unique (BLU).

La porteuse est fournie par un oscillateur sinusoïdal haute fréquence de fréquence $f_p = 500$ kHz particulièrement stable : $v_p(t) = V_p \cos(\omega_p t)$.

La modulation s'effectue à l'aide d'un circuit comprenant un multiplieur de constante multiplicative k , un additionneur et un filtre passe-haut idéal.



Le filtre passe-haut idéal possède une fréquence de coupure $f_c = 500,1$ kHz.

- Déterminer les variations temporelles et le spectre en fréquence de $V(t)$.
- Montrer que l'on peut encore retrouver le signal informatif en utilisant la technique de démodulation synchrone.

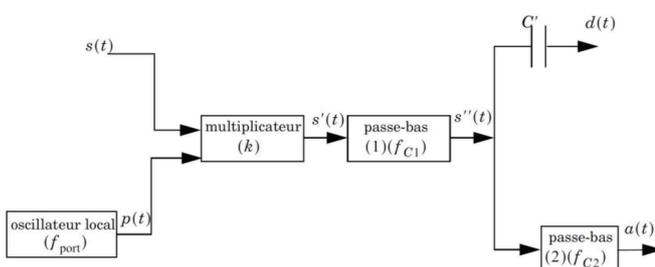
2 — Démodulation

On souhaite envoyer un signal radio. On a un signal de la forme

$$s(t) = A[1 + m \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_p t).$$

- Quelle est la fréquence de la porteuse? Quelle est celle du signal modulant? Ordres de grandeur?
- On dispose d'un multiplieur (coefficient k) et d'un sommateur. Réaliser le circuit qui permet d'obtenir le signal $s(t)$ en sortie à partir de $e(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$ et $p(t) = A_p \cos(2\pi f_p t)$.
- Donner le graphe du signal $s(t)$ pour $m < 1$. Que se passe-t-il si $m > 1$?
- Donner le spectre du signal.

On dispose d'un oscillateur local synchrone délivrant $p(t) = A \cos(2\pi f_p t)$. Le schéma ci-dessous représente le principe de fonctionnement du circuit de démodulation situé après l'antenne réceptrice.



5. Donner l'expression du signal $s'(t)$ obtenu à la sortie du multiplieur, et représenter son spectre.

6. Le filtre passe-bas 1 a une fréquence de coupure f_{c1} telle que $f_m < f_{c1} < f_p$ et le filtre passe-bas 2 une fréquence de coupure $f_{c2} < f_m$. On considère dans un premier temps les filtres parfaits (gain égal à 1 dans la bande passante, nulle en dehors).

6.a) Exprimer le signal $s''(t)$.

6.b) À quoi sert le condensateur C' ? Donner alors l'expression du signal $d(t)$.

6.c) Exprimer le signal $a(t)$ obtenu à la sortie du filtre 2.

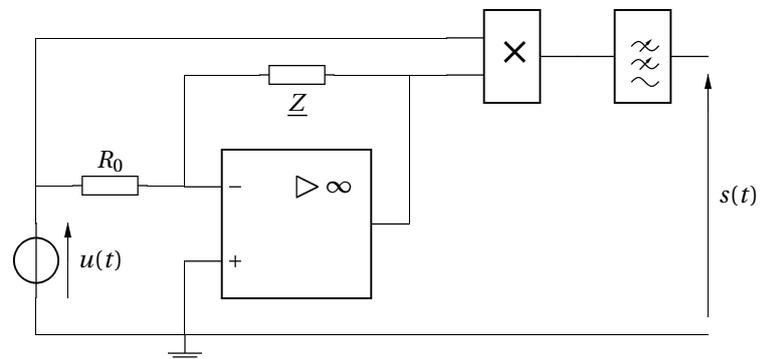
6.d) Montrer que l'analyse des signaux $a(t)$ et $d(t)$ permet de reconstituer le signal modulant

$$e(t) = A_m \cos(2\pi f_m t).$$

3 — Mesure d'impédance

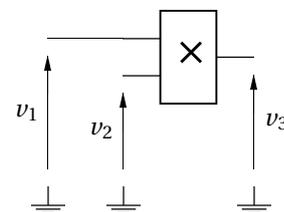
On considère le montage suivant comportant un ALI idéal fonctionnant en régime linéaire, un multiplieur et un filtre passe-bas de fréquence de coupure $f_c = 100$ Hz. Le générateur délivre une tension sinusoïdale de fréquence $f_e = 10$ kHz et d'amplitude U_m connue : $u(t) = U_m \cos(2\pi f_e t)$.

La valeur de R_0 est donnée avec précision. On note \underline{Z} l'impédance complexe du dipôle étudiée.



Le multiplieur réalise l'opération

$$v_3(t) = k v_1(t) v_2(t) \quad \text{avec} \quad k = 0,1 \text{ V}^{-1}.$$



1. Proposer un montage (valeurs numériques des composants inclus) pour réaliser le filtre passe-bas décrit dans l'énoncé.

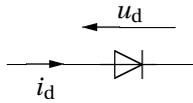
2. Montrer que la mesure de la tension $s(t)$ permet d'accéder à la partie réelle de \underline{Z} .

Indication : on exprimera la tension en sortie de l'ALI, puis en sortie du multiplieur.

3. Comment modifier simplement le montage pour avoir accès à la partie imaginaire de \underline{Z} ?

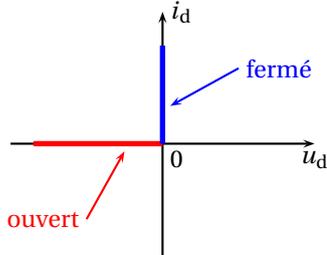
4 — Démodulation par détection d'enveloppe

La diode idéale est représentée par sa caractéristique en convention récepteur :

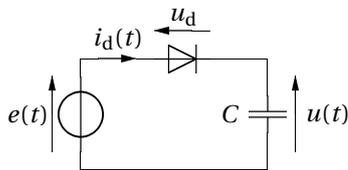


diode bloquée $i_d = 0, u_d \leq 0$ (état ouvert)

diode passante $u_d = 0, i_d \geq 0$ (état fermé)



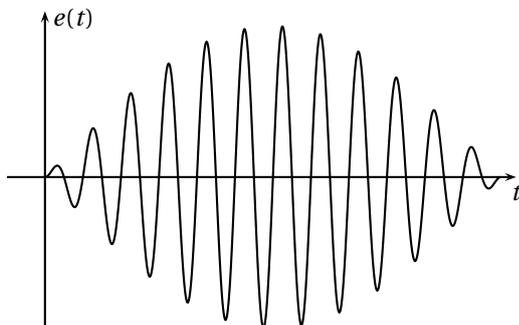
1. On considère le montage suivant. Le générateur fournit le signal $e(t) = E \sin(2\pi f t)$, de période $T = 1/f$.



Le condensateur est initialement déchargé.

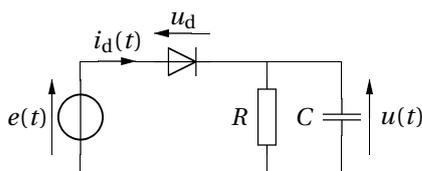
En considérant que la diode est passante à $t = 0$, déterminer $u(t)$ et $i(t)$ pour $0 \leq t \leq T/2$.

2. Représenter $u(t)$ pour le signal $e(t)$ suivant :



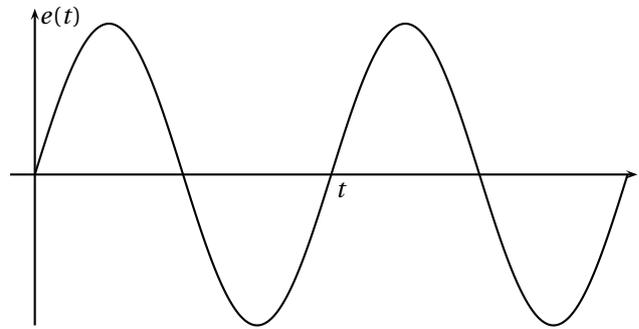
Justifier le nom de « détecteur de crête » donné à ce montage.

3. On considère le montage suivant :



Exprimer $i_d(t)$ en fonction de $u(t)$ et de sa dérivée.

Représenter l'allure du graphe de $i_d(t)$ en régime établi pour la tension d'entrée suivante :



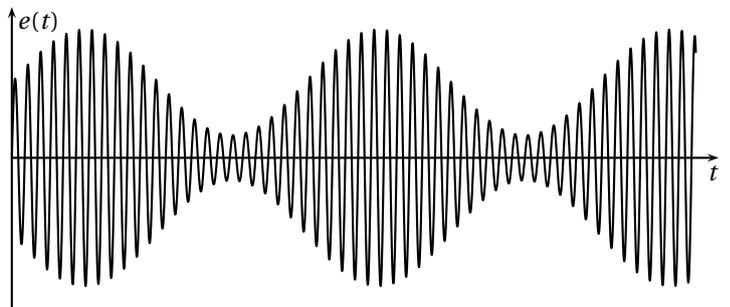
Montrer que la diode devient bloquée pour un instant t_0 que l'on déterminera sur le graphe.

4. Établir l'équation différentielle vérifiée par $u(t)$ quand la diode est bloquée, et donner sa solution en fonction de R, C et t_0 .

Compléter le graphe de $u(t)$.

5. Que se passe-t-il ensuite ?

6. On considère le signal $e(t)$ modulé en amplitude :

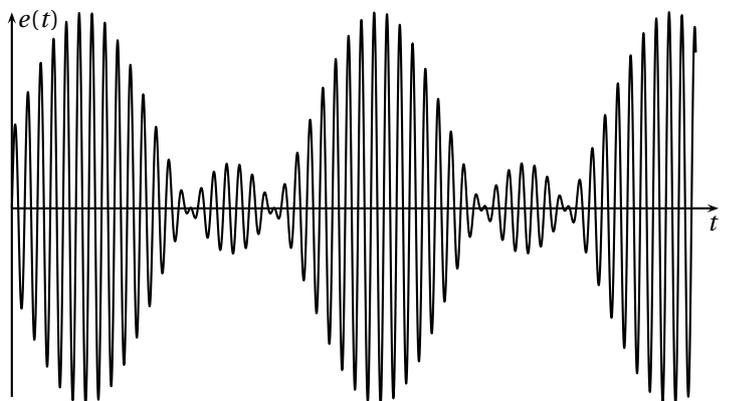


On note f_s la fréquence du signal à transmettre et f_p celle de la porteuse.

Donner l'allure de la tension $u(t)$ pour $RC \approx 1/f_p, RC \ll 1/f_p$ et $RC \gg 1/f_p$.

À quelle condition ce montage permet-il une démodulation correcte ?

7. On considère le cas suivant :



Que peut-on dire de la modulation d'amplitude dans ce cas ?

La démodulation par détection d'enveloppe fonctionne-t-elle ?

Comment pourrait-on démoduler le signal ?