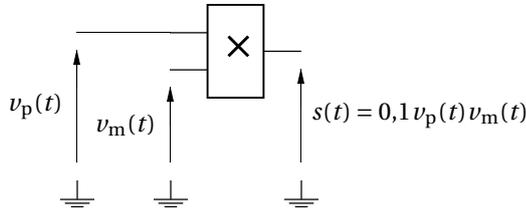


TD d'électronique n° 5

Modulation, démodulation

1 — Modulateur AM

On élabore un signal AM à l'aide d'un multiplieur selon le schéma suivant :



On donne les valeurs numériques :

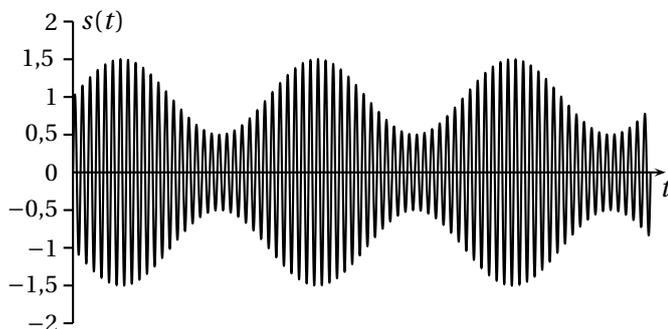
- porteuse $v_p(t) = 5 \cos(\omega_0 t)$ de fréquence $f_0 = 250$ kHz;
- signal modulant $v_m(t) = A + B \cos(\omega t)$ de fréquence $f = 5$ kHz, avec $A > 0$ et $B > 0$.

1. Exprimer le signal modulé sous la forme

$$s(t) = A_p [1 + m \cos(\omega t)] \cos(\omega_0 t)$$

et préciser les expressions de A_p et m .

2. Pour un réglage des constantes A et B , on a obtenu le signal modulé suivant :



Déterminer A_p et m , et en déduire les valeurs des constantes A et B .

3. Établir puis représenter le spectre du signal $s(t)$.

2 — Efficacité de la modulation d'amplitude

On donne les signaux suivants :

signal basse fréquence : $m(t) = A_m \cos(\omega_m t)$

porteuse haute fréquence : $p(t) = A_p \cos(\omega_p t)$

avec $\omega_p \gg \omega_m$.

2.1 Modulation à porteuse transmise

On construit le signal modulé en amplitude selon

$$s(t) = [A_0 + m(t)]p(t).$$

1. Déterminer l'indice de modulation m .

2. Déterminer et représenter le spectre en amplitude du signal modulé. Justifier la dénomination de modulation « à porteuse transmise ».

Le signal modulé est émis au moyen d'une antenne qui peut être assimilée à une résistance R_{ant} .

La puissance totale fournie par le signal est égale à la somme des puissances véhiculées par chaque composante harmonique.

3. Justifier que la puissance moyenne fournie à l'antenne pour une tension $u(t)$ sinusoïdale d'amplitude U est $P = \frac{U^2}{2R}$.

4. Exprimer la puissance moyenne totale P_{tot} émise par le signal modulé en fonction de A_p , R_{ant} et m .

Exprimer de même la puissance moyenne P_p émise par la porteuse et la puissance P_{sb} émise par chaque fréquence latérale du spectre.

On définit l'efficacité de la modulation par

$$\Gamma = \frac{2P_{\text{sb}}}{P_{\text{tot}}}$$

Donner sa signification physique, et établir son expression en fonction de m .

Application numérique : calculer Γ pour $m = 50\%$ et pour $m = 100\%$.

2.2 Modulation à suppression de porteuse

On réalise la modulation par l'opération

$$s(t) = km(t)p(t),$$

où k est un facteur multiplicatif.

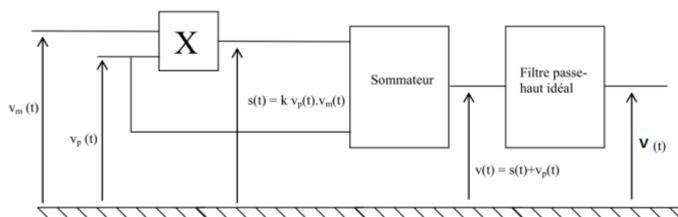
5. Déterminer et représenter le spectre de $s(t)$. Justifier la dénomination de modulation « à suppression de porteuse ».

6. En utilisant la définition de la question 4, déterminer l'efficacité de cette modulation. Comparer les deux types de modulation.

3 — 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.

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

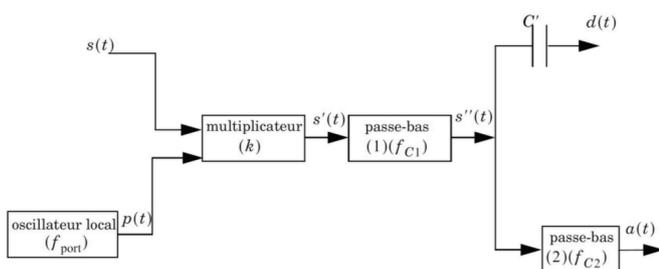
4 — Démodulation

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

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

1. Quelle est la fréquence de la porteuse? Quelle est celle du signal modulant? Ordres de grandeur?
2. 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 $p(t) = A_p \cos(2\pi f_p t)$.
3. Donner le graphe du signal $s(t)$ pour $m < 1$. Que se passe-t-il si $m > 1$?
4. 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).

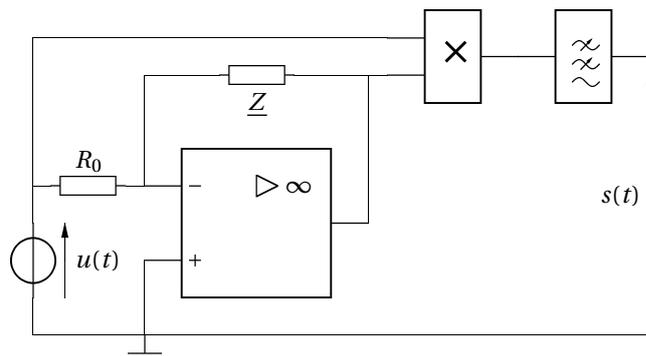
- 6.a) Exprimer le signal $s''(t)$.
- 6.b) À quoi sert le condensateur C' ? Donner alors l'expression du signal $d(t)$.
- 6.c) Exprimer le signal $a(t)$ obtenu à la sortie du filtre 2.
- 6.d) Montrer que l'analyse des signaux $a(t)$ et $d(t)$ permet de reconstituer le signal modulant

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

5 — Mesure d'impédance

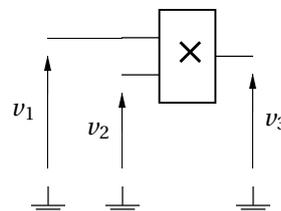
On considère le montage suivant comportant un ALI idéal fonctionnant en régime linéaire, un multiplieur et un filtre passe-bas de fréquence de coupure $f_c = 100$ Hz. Le générateur délivre une tension sinusoïdale de fréquence $f_e = 10$ kHz et d'amplitude U_m connue : $u(t) = U_m \cos(2\pi f_e t)$.

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.

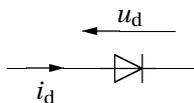
2. Montrer que la mesure de la tension $s(t)$ permet d'accéder à la partie réelle de \underline{Z} .

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} ?

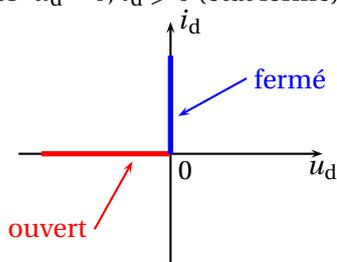
6 — Démodulation par détection d'enveloppe

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

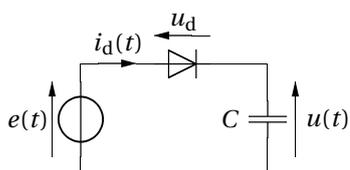


diode bloquée $i_d = 0, u_d \leq 0$ (état ouvert)

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



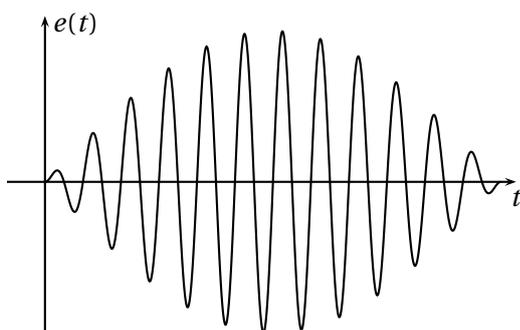
1. On considère le montage suivant. Le générateur fournit le signal $e(t) = E \sin(2\pi f t)$, de période $T = 1/f$.



Le condensateur est initialement déchargé.

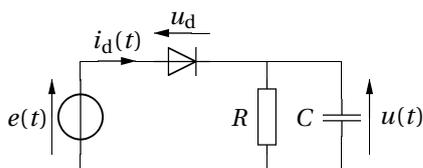
En considérant que la diode est passante à $t = 0$, déterminer $u(t)$ et $i(t)$ pour $0 \leq t \leq T/2$.

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



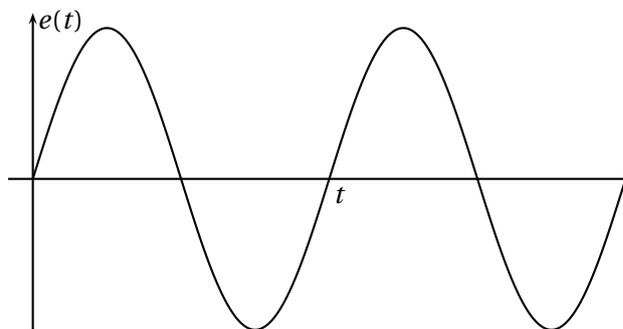
Justifier le nom de « détecteur de crête » donné à ce montage.

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 :



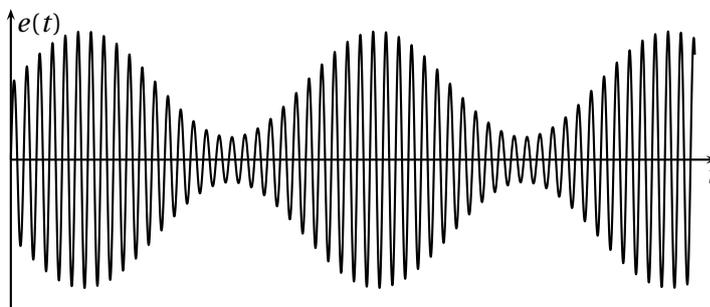
Montrer que la diode devient bloquée pour un instant t_0 que l'on déterminera sur le graphe.

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 :

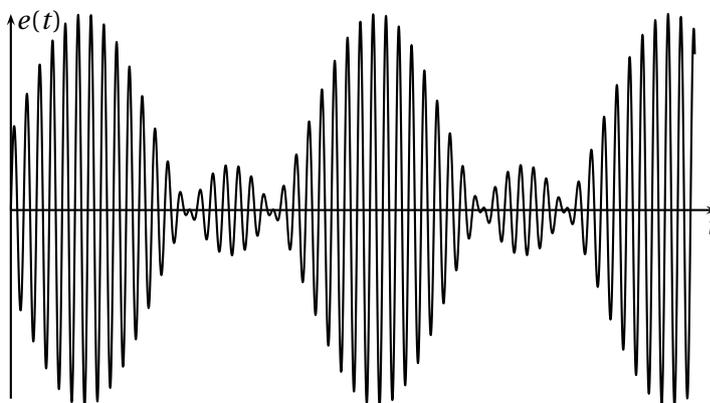


On note f_s la fréquence du signal à transmettre et f_p celle de la porteuse.

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 ?