

DS1 : Electronique ; Durée : 4 H

Problème 1 : Etude d'un filtre passe bande

On considère le montage ci-dessous dans lequel l'amplificateur opérationnel est idéal. Le fonctionnement du dispositif est linéaire.

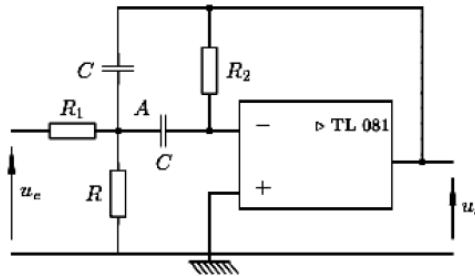


FIGURE 1 – filtre de Rauch

1. Définir l'amplificateur opérationnel idéal.
2. Donner la caractéristique d'un amplificateur opérationnel idéal.
3. Que se passerait-il si on échangeait l'entrée inverseuse et l'entrée non inverseuse de l'amplificateur opérationnel ?
4. La tension d'entrée v_e est une fonction sinusoïdale du temps de pulsation ω à laquelle on associe la tension complexe notée $\underline{v_e}$. De même à v_s on associera $\underline{v_s}$.
On définit la fonction de transfert $\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{v_s}}{\underline{v_e}}$ et on pose $x = \frac{\omega}{\omega_0}$. Montrer que :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{H_0}{1 + jQ(x - \frac{1}{x})}$$

Donner les expressions de H_0 , Q et ω_0 en fonction de R , R_1 et R_2 .

5. Application numérique : $C = 10 \text{ nF}$; $R = 47 \text{ k}\Omega$; $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$.
Calculer H_0 , Q et ω_0 .
6. Définir et calculer la bande passante du filtre. Calculer les fréquences de coupure. On utilisera l'application numérique ci-dessus.
7. On applique à l'entrée du filtre une tension créneau, dont le développement en série de fourier est donnée par :

$$v_e(t) = \frac{E_0}{2} + \frac{2E_0}{\pi} \sin(2\pi ft) + \frac{2E_0}{3\pi} \sin(6\pi ft) + \frac{2E_0}{5\pi} \sin(10\pi ft) + \dots$$

- (a) Tracer le spectre de la tension créneau.
- (b) On prend $E_0 = 1V$ et $f = f_0$. Donner l'expression de la tension de sortie du filtre v_s .
- (c) Compte tenu des valeurs numériques données au 3., quelle doit être fréquence de v_e pour que f_0 corresponde à la fréquence de l'harmonique 3 de la décomposition ci-dessus ? Quelles seront les amplitudes du fondamental et des harmoniques 2, 3, 4 et 5 à l'entrée et à la sortie du montage ? On fera les calculs littéraux et numériques de ces amplitudes. Conclure.

Problème 2 : Démodulation de signaux modulés en amplitude

Partie A. Etude d'un filtre analogique

Le but de cette partie est étudier un circuit électronique permettant de filtrer des signaux. On considère le circuit électronique figure 2 :

La tension d'entrée est fournie par un générateur sinusoïdale basse fréquence.

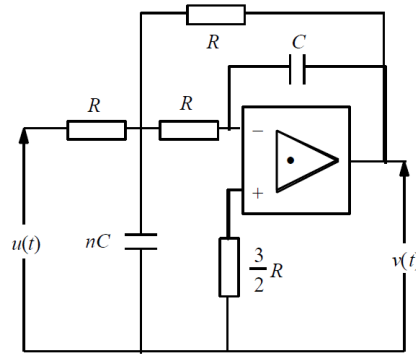


FIGURE 2 –

- ☐ 1- Sachant que l'amplificateur opérationnel est supposé parfait, que vaut le courant de polarisation i_+ ? En déduire que $V_+ = 0V$
- ☐ 2- Justifier, dans un montage où l'amplificateur est réel, le rôle de la résistance $\frac{3R}{2}$.
- ☐ 3- Par un raisonnement qualitatif et sans calcul quelle est la nature la plus probable du filtre ?
- ☐ 4- Appliquer le théorème de Millman en deux points du montage, et déterminer la fonction de transfert du filtre en régime sinusoïdal permanent.
- ☐ 5- Écrire la fonction de transfert sous la forme canonique $\underline{H} = \frac{v(t)}{u(t)} = \frac{H_0}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_c^2} + 2j\alpha\frac{\omega}{\omega_c}}$

On précisera les expressions des coefficients H_0 et α ainsi que celle de la pulsation caractéristique ω_c .

- ☐ 6- On impose $\alpha = \frac{1}{\sqrt{2}}$ et une atténuation de 80 dB à 2ω . Justifier le choix de cette fréquence et calculer n , ω_c et R lorsque $C = 1nF$ et $f = \frac{\omega}{2\pi} = 1MHz$.
- ☐ 7- Commenter la valeur numérique obtenue pour ω_c .
- ☐ 8- Représenter le diagramme de Bode associé à la fonction de transfert $\underline{H}$ (module et phase).
- ☐ 9- Quelle est la sortie $v(t)$ pour la tension appliquée à l'entrée du filtre $u(t) = E_m \cos(\omega_c t)$?

Partie B. DÉMODULATION DE SIGNAUX MODULÉS EN AMPLITUDE

La modulation est le procédé permettant de transposer les caractéristiques d'un signal de basse fréquence dans des domaines où la propagation ou le traitement sont possibles. La démodulation est l'opération inverse. Les méthodes de modulation se sont élaborées à partir d'une onde sinusoïdale pure, appelée porteuse. La modulation consiste à faire en sorte que l'amplitude varie proportionnellement au signal de départ, appelé signal modulant. Le résultat s'appelle signal modulé.

A partir d'un signal $e_{info}(t) = E_{info}\cos(\omega t)$ et d'une porteuse haute fréquence $p(t) = P\cos(\Omega t)$ ($\Omega \gg \omega$), on génère le signal modulé $e(t) = P(1 + ke_{info}(t))\cos(\Omega t)$ porteur de l'information initiale, et qui sera transmis.

□ **10-** Pourquoi est-il nécessaire d'utiliser une modulation pour la transmission de signaux radiophoniques? Quels procédés de modulation sont-ils couramment utilisés?

□ **11-** On définit le taux de modulation par $m = kE_{info}$. Représenter le signal modulé en amplitude $e(t)$ dans les deux cas $m < 1$ et $m > 1$. Préciser les valeurs remarquables prises par $e(t)$.

Détection d'enveloppe

On considère le montage de la figure 3 composé d'une diode supposée idéale et d'un condensateur parfait de capacité C .

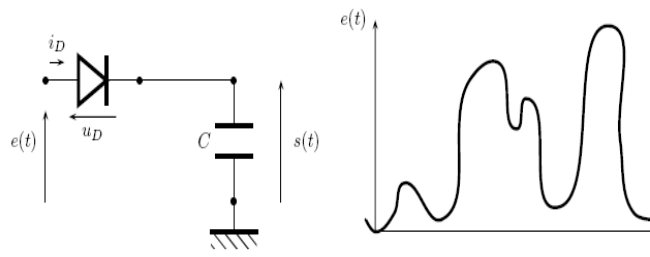


FIGURE 3 – Détecteur de crête

A la date $t = 0$, le condensateur est déchargé, il reçoit alors le signal $e(t)$ représenté sur la même figure.

□ **12-** Reproduire sur votre copie $e(t)$ et tracer sur la même figure le signal $s(t)$ que l'on obtient en sortie du montage.

On apporte une modification au circuit de la figure 3 (figure 4).

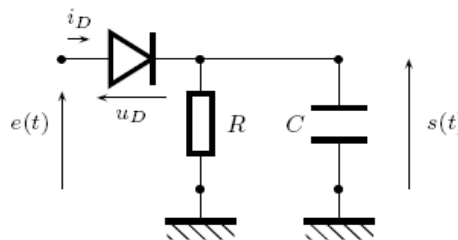


FIGURE 4 – Détecteur de crête en pratique

□ **13-** Tracer $e(t)$ et $s(t)$ sur la même figure et discuter en fonction de la valeur de $R.C$. Quelle est l'intérêt d'utiliser la résistance.

□ **14-** Justifier le nom de détecteur de crête donné au circuit de la figure 4.

Démodulation avec détecteur de crête :

On applique à l'entrée du détecteur de crête $e(t) = P(1 + ke_{info}(t))\cos(\Omega t)$

□ **15-** En déduire qu'une détection d'enveloppe peut restituer l'information $e_{info}(t)$ à une condition que l'on précisera.

□ **16-** En linéarisant $e(t)$, représenter la décomposition spectrale du signal $e(t)$.

□ **17-** Reprendre la question précédente lorsque l'information à transmettre $e_{info}(t)$ possède un spectre fréquentiel continu, analogue à celui de la figure 5.

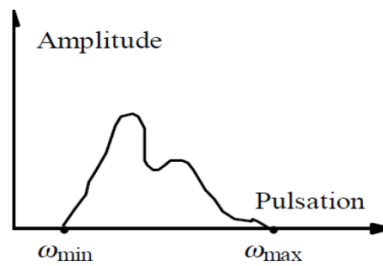


FIGURE 5 –

- **18-** En supposant de nouveau $e_{info}(t) = E \cos(\omega t)$, écrire la double inégalité à laquelle doit satisfaire le produit RC pour que la sortie $s(t)$ restitue l'information $e_{info}(t)$. On se placera dans le cas où une détection d'enveloppe permet la restitution de $e_{info}(t)$. Représenter l'allure des signaux $e(t)$ et $s(t)$.
- **19-** Que devient la double inégalité précédente lorsque le spectre de $e_{info}(t)$ contient des pulsations comprises entre 0 et ω_{max} ?
- **20-** Quelles limites voyez-vous à ce genre de détection ?

Démodulation synchrone

Le signal $e(t) = P(1 + k e_{info}(t)) \cos(\Omega t)$, avec $e_{info}(t) = E \cos(\omega t)$. Le circuit multiplieur délivre la tension $u(t) = k e(t) p(t)$, où $p(t) = P \cos(\Omega t)$ le signal porteur. Vis-à-vis de la sortie, le multiplieur (fig. 6) se comporte comme un générateur de tension d'impédance interne nulle.

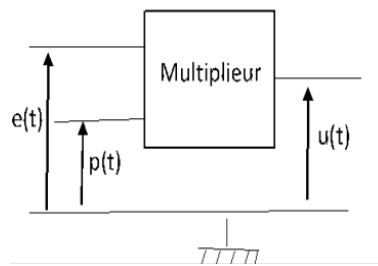


FIGURE 6 –

- **21-** Exprimer $u(t)$ et préciser les différentes composantes de son spectre.
- **22-** Le circuit multiplieur alimente le filtre de la figure 2 partie A. Représenter les signaux $e(t)$ et $v(t)$ pour des taux de modulation m respectivement inférieurs et supérieurs à 1. Comparer les signaux obtenus à la sortie du filtre avec ceux que l'on obtiendrait avec une simple détection d'enveloppe.
- **23-** Comment peut-on éliminer la composante continue de $v(t)$.