

**CPGE- Mention MP**  
**électronique**  
 D.L N°2 de l'électronique

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il est invité à le signaler sur sa copie et à poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il aura été amené à prendre. Il ne faudra pas hésiter à formuler les commentaires (incluant des considérations numériques) qui vous sembleront pertinents, même lorsque l'énoncé ne le demande pas explicitement. La barème tiendra compte de ces initiatives ainsi que des qualités de rédaction de la copie.

## 1<sup>re</sup> Problème

### Un filtre à structure de Rauch

On admettra ici que les amplificateurs opérationnel sont idéaux et fonctionnent en régime linéaire.

À chaque grandeur sinusoïdale  $x(t) = X.\cos(\omega t + \varphi)$  on associe le complexe  $\underline{x}(t) = X.\exp(j(\omega t + \varphi))$  tel que  $x(t) = \text{Re}(\underline{x}(t))$  signifie la partie réelle de  $\underline{x}(t)$ . On note  $j^2 = -1$ .

On considère le circuit à amplificateur opérationnel de la figure 1.

L'amplificateur opérationnel est alimenté par une source de tension symétrique (non représentée)  $\pm V_{cc} = \pm 15V$ . Le cas échéant, les tensions de saturations seront aussi  $\pm V_{sat} = \pm 15V$ .

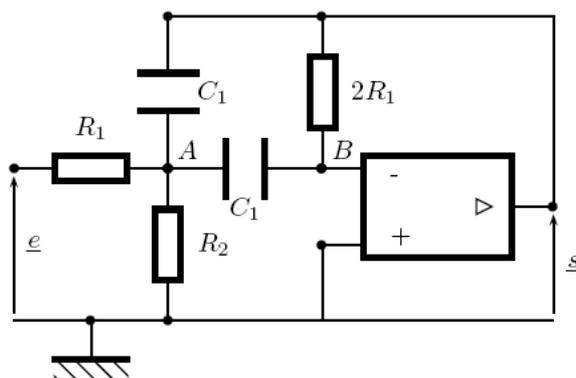


FIG. 1 – filtre de Rauch

## 1 Etude théorique

1. Justifier simplement que l'amplificateur fonctionne en régime linéaire.

On suppose dans la suite de cette partie que le signal  $V_e$  appliqué à l'entrée du circuit est sinusoïdal de pulsation  $\omega$ .

2. Etudier le comportement asymptotique du montage aux basses fréquences, puis aux hautes fréquences et déduire la nature du filtre.
3. Appliquer le théorème de Millman aux nœuds A et B et déduire deux relations entre  $v_s$ ,  $v_A$  et  $v_e$ .
4. Montrer que la fonction de transfert  $\underline{H} = \frac{v_s}{v_e}$  du circuit s'écrit sous la forme  $\underline{H} = \frac{H_0}{1+jQ(x-\frac{1}{x})}$ , avec  $x = \frac{\omega_0}{\omega}$

Exprimer  $H_0$ ,  $Q$  et  $\omega_0$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$  et  $C$ .

5. Dans quel domaine de fréquences ce circuit présente-t-il un caractère intégrateur? dérivateur? Exprimer  $v_s(t)$  en fonction de  $V_e(t)$  dans chacun des deux cas.
6. Définir, puis calculer les pulsations de coupure à - 3 dB en fonction de  $\omega_0$  et  $Q$ . En déduire la largeur de la bande passante du filtre.

7. **Application numérique :** on donne  $H_o = -1$ ,  $Q = 20$  et  $f_o = 3kHz$ . Calculer la largeur de la bande passante en fréquence du filtre.
8. On pose  $\underline{H} = H(\omega)\exp(j\varphi(\omega))$ .
  - (a) Déterminer le module  $H(\omega)$  et l'argument  $\varphi(\omega)$  de la fonction de transfert  $\underline{H}$ .
  - (b) Montrer que  $H(\omega)$  passe par un maximum pour une valeur  $\omega'_0$  de  $\omega$  que l'on exprimera. Tracer l'allure de  $H(\omega)$ .

## 2 Analyse de Fourier

On applique à l'entrée du montage de la figure 1, un signal  $V_e(t)$  de fréquence  $f = \frac{1}{T} = 3kHz$  et d'amplitude  $E = 5V$ .

1. Le signal appliqué est donné par  $v_e(t) = E\sin(2\pi ft)$ . En tenant compte des caractéristiques numériques du filtre (données en 8), donner l'expression du signal  $v_s(t)$  obtenu en sortie du circuit.
2. Le signal appliqué est un signal en créneau (figure 2) dont on donne le développement en série de Fourier :

$$v_e(t) = \frac{E}{2} + 2\frac{E}{\pi} \sum_{p=0}^{+\infty} \frac{\sin((2p+1)\omega t)}{(2p+1)}$$

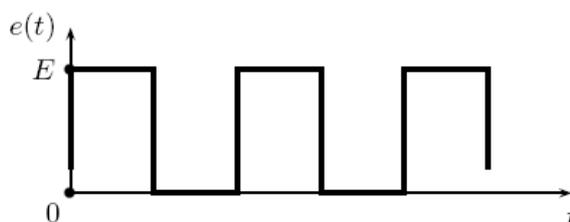


FIG. 2 – signal créneau

3. Justifier, sans calcul, ce développement.
4. Donner l'allure du spectre en fréquence du signal  $V_e(t)$  ?
5. En tenant compte des caractéristiques numériques du filtre, donner l'expression du signal  $v_s(t)$  observé en sortie de circuit.
6. Décrire en quelques lignes comment pourrait-on utiliser le circuit de la figure 1 pour déterminer le spectre en fréquence du signal  $V_e(t)$ .

## 3 Etude pratique

1. Représenter le montage expérimental qui permettrait de visualiser  $v_e(t)$ , et  $v_s(t)$ . On fera apparaître tous les appareils et connexions nécessaires.
2. Décrire une démarche expérimentale qui permettrait d'étudier le comportement en fréquence du circuit.
3. Que se passerait-il si l'amplitude théorique de  $v_s(t)$  dépassait 15 V ? Tracer l'allure de  $v_s(t)$  dans ce cas.
4. La sortie ne reste linéaire que si  $|\frac{dv_s}{dt}| < \sigma$ ,  $\sigma$  est appelé vitesse de balayage de l'AO (slew rate). Jusqu'à quelle valeur  $f_1$  de  $f$ , le signal  $v_s(t)$  reste-t-il théoriquement sinusoïdal ? On donne  $\sigma = 1,0V.\mu s^{-1}$

### 2<sup>me</sup> Problème

## Modulation et démodulation d'amplitude

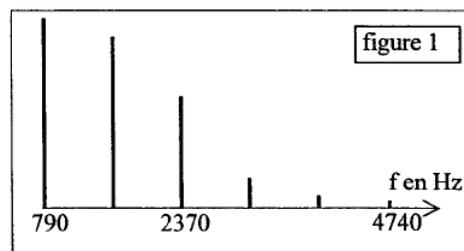
Le but de cet exercice est d'observer l'action d'une modulation d'amplitude, suivie d'une démodulation sur le spectre de fréquence d'une note émise par une flûte à bec.

## 4 Analyse du son émis par une flûte à bec

On joue, avec une flûte à bec, une note «sol» devant un microphone, muni d'un amplificateur et relié à l'interface d'un ordinateur. Un logiciel approprié permet d'obtenir le spectre en fréquence de cette note, reproduit en figure 1

1. Le son est-il pur ? Justifier.
2. Quelle est la fréquence du fondamental ?
3. Indiquer le nombre d'harmoniques (autres que le fondamental) qui composent ce son. Préciser la fréquence de chacun.

On joue, avec une flûte à bec, une note «sol» devant un microphone, muni d'un amplificateur et relié à l'interface d'un ordinateur. Un logiciel approprié permet d'obtenir le spectre en fréquence de cette note, reproduit en figure ci-contre.



1. Le son est-il pur ? Justifier.
2. Quelle est la fréquence du fondamental ?
3. Indiquer le nombre d'harmoniques (autres que le fondamental) qui composent ce son. Préciser la fréquence de chacun.

## 5 Modulation d'amplitude

On souhaite réaliser une modulation d'amplitude à l'aide de deux tensions alternatives et périodiques : l'une  $u_1(t)$  tension sinusoïdale provenant d'un GBF, l'autre  $u_2(t)$  provenant d'un microphone M, muni d'un amplificateur, devant lequel on joue la note «sol» de la flûte. On donne les caractéristiques de  $u_1(t)$  : amplitude voisine de 2V ; fréquence 100 kHz.

1. Des tensions  $u_1(t)$  et  $u_2(t)$ , quelle est celle appelée porteuse justifier.
2. On obtient la tension modulée  $s(t)$  représentée sur l'enregistrement ci-dessous : Où retrouve-t-on le signal

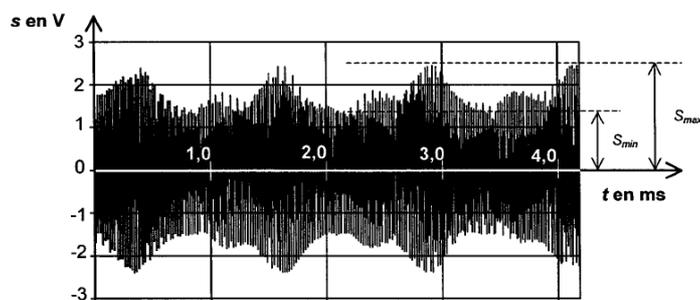


FIG. 3 – signal modulé

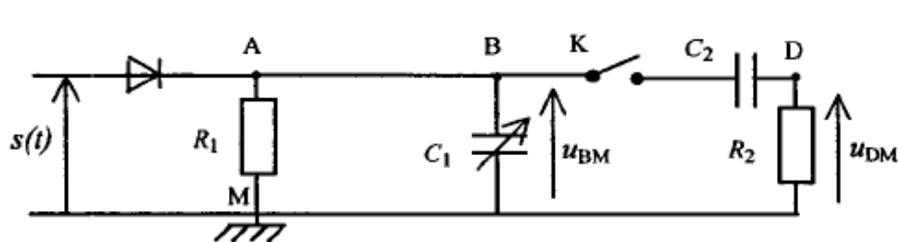
modulant sur l'enregistrement de la tension modulée en amplitude ?

3. Calculer  $m$  et conclure sur la qualité de la modulation.

## 6 Démodulation

On souhaite réaliser une démodulation, de façon à obtenir le signal modulant issu de la flûte. On réalise le montage suivant : Une interface reliée à un ordinateur permet d'enregistrer successivement les tensions suivantes :

- la tension  $u_{BM}(t)$  pour deux valeurs différentes de la résistance  $R_1$ , l'interrupteur K étant ouvert (courbes 1 et 2) ;
- la tension  $u_{DM}(t)$  avec la valeur de  $R_1$  qui donne une démodulation correcte, l'interrupteur K étant fermé (courbe 3).



$$R_1 = 15 \text{ k}\Omega \text{ ou } 150 \text{ k}\Omega$$

$$C_1 = 1,0 \text{ nF}$$

$$C_2 = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$$

$$R_2 = 1,0 \text{ M}\Omega$$

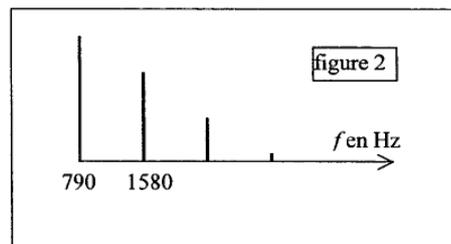
FIG. 4 – Démodulateur

1. L'interrupteur  $K$  est ouvert. Étude du circuit ABMA appelé détecteur de crête ou d'enveloppe. Lorsque la tension modulée  $s(t)$  augmente, à partir d'une valeur suffisante, la diode est passante, le condensateur de capacité  $C_1$  se charge jusqu'à ce que  $u_{BM} = S_{max}$ , puis  $s(t)$  diminue et la diode est bloquée
  - (a) Que se passe-t-il dans le circuit ABMA lorsque la diode est bloquée ?
  - (b) Donner l'expression littérale du temps caractéristique  $\tau_1$  de l'évolution de la tension  $U_{BM}$  lorsque la diode est bloquée.
  - (c) Pour chacune des valeurs données à  $R_1$ , calculer la valeur de  $\tau_1$  correspondante
  - (d) Dire quelle propriété doit posséder ce temps caractéristique  $\tau_1$  par rapport à la période  $T$  de la porteuse pour avoir une bonne qualité de démodulation. Par observation des courbes 1 et 2, attribuer à chacune d'elles la valeur de  $R_1$  qui lui correspond.
2. L'interrupteur  $K$  est fermé. La tension  $u_{DM}$  obtenue après la démodulation correcte est une tension alternative périodique représentant le signal modulant. En comparant les courbes 2 et 3 expliquer le rôle de l'ensemble  $R_2 - C_2$  série.

## 7 Analyse du signal obtenu après démodulation

Le spectre en fréquence de la tension démodulée  $u_{DM}$  est donné ci-contre :

1. Si la tension démodulée était appliquée à un haut-parleur parfait, la hauteur du son serait-elle la même que celle du son émis par la flûte ? Justifier.
2. Le timbre de ce son serait-il le même ? Justifier.



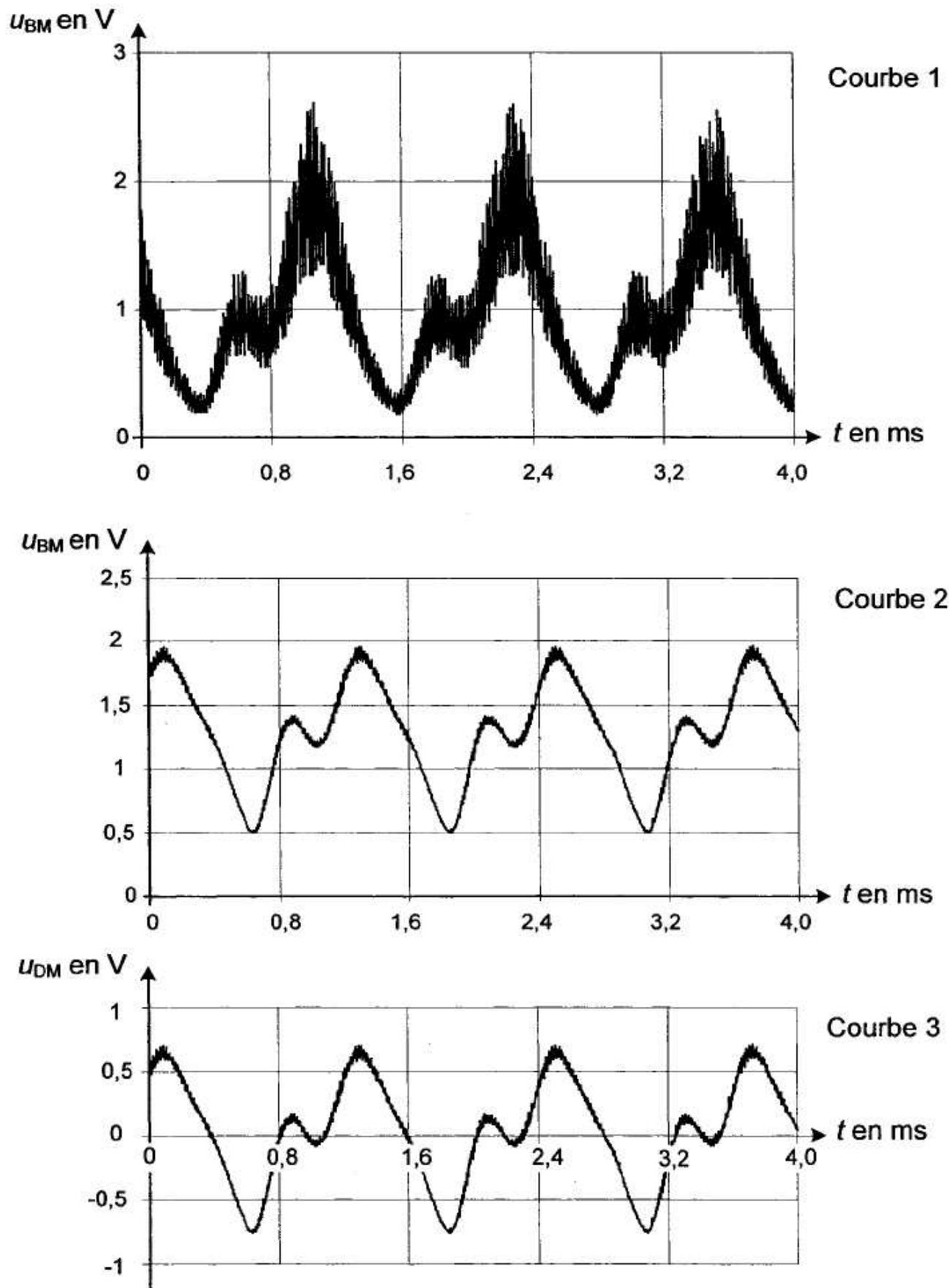


FIG. 5 – courbes 1,2 et 3