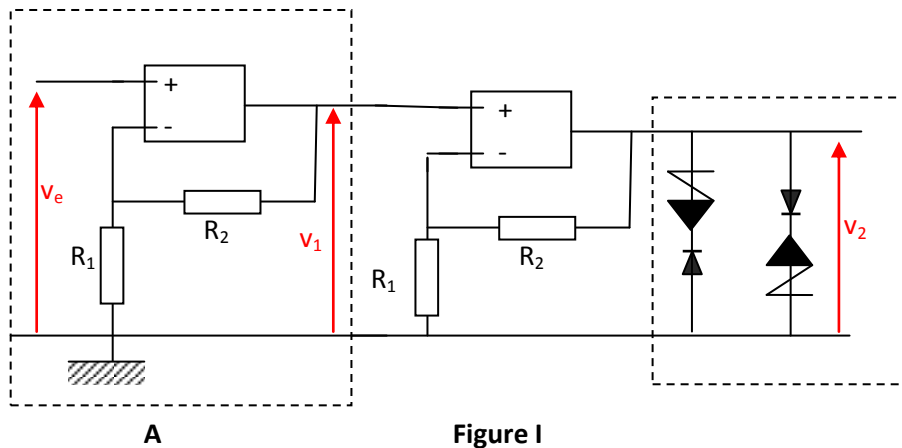


Le but du problème est d'évoquer la mesure de la vitesse d'écoulement du sang dans les vaisseaux sanguins par effet Doppler. Dans une première partie on étudiera trois montages de base qui interviennent dans le dispositif de mesure, puis on étudiera le dispositif proprement dit.

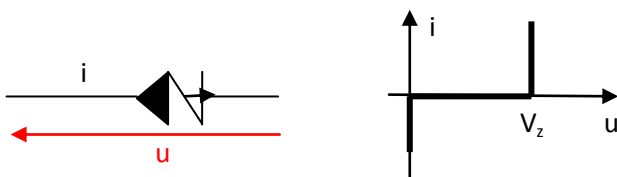
## A- Les trois dispositifs de base

### I- Amplificateur à saturation :



Les amplificateurs opérationnels sont supposés parfaits et fonctionnant en régime linéaire.

- 1)- Donner l'expression, en fonction de  $R_1$  et  $R_2$ , du gain  $G$  de l'amplificateur A.
- 2)- On donne  $R_1 = 12 \text{ k}\Omega$  et  $R_2 = 470 \text{ k}\Omega$ . Déterminer la valeur numérique du gain  $G_1$ , ainsi que la valeur du gain  $G$  obtenu avec les deux amplificateurs A, en l'absence de l'étage écrêteur constitué par les deux diodes et les deux diodes zener.
- 3)- Les deux diodes de l'étage écrêteur sont supposées parfaites, c'est-à-dire qu'elles se comportent



comme un interrupteur fermé dans le sens passant, et comme un interrupteur ouvert dans le sens inverse. Les diodes Zener sont également supposées parfaites, c'est-à-dire avec une caractéristique telle qu'indiquée sur les figures ci-contre. On applique à l'entrée du

montage de la figure 1 une tension :

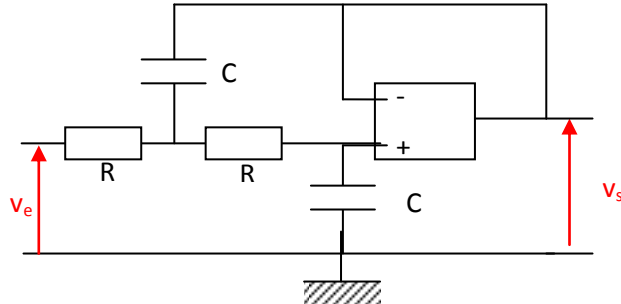
$$v = v_0 \sin \frac{2\pi}{T_0} t = v_0 \cdot \sin \omega_0 t, \text{ avec } v_0 = 10 \text{ mV}$$

- a)- Quelle serait l'expression et l'amplitude de la tension de sortie en régime linéaire, c'est-à-dire s'il n'y avait aucun écrêtage ? (Le signal passe dans les deux amplificateurs A, mais il n'y a pas les diodes en sortie).

b)- Les diodes zener ont toutes les deux une tension caractéristique  $V_z = 6V$ . Le premier écrêtage est obtenu à 6V au temps  $t_0$ . Déterminer la valeur numérique du rapport  $\frac{t_0}{T_0}$ . En déduire que la tension obtenue à la sortie de l'écrêteur est assimilable à un créneau de période T.

## II- Filtre passe bas

L'amplificateur opérationnel est parfait et fonctionne en régime linéaire.



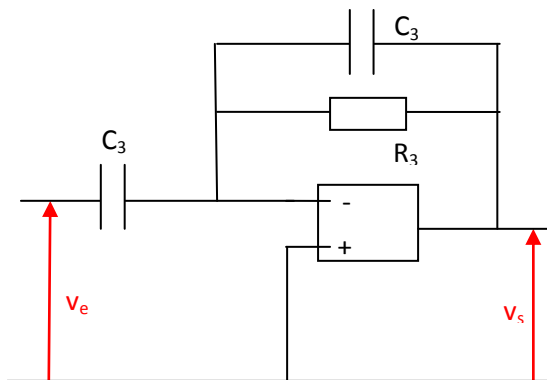
1)- déterminer la fonction de transfert  $H(j\omega)$  du filtre. Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme :

$$H(j\omega) = \frac{1}{\left(1 + j\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}$$

Et exprimer la pulsation caractéristique  $\omega_c$  en fonction de R et de C.

2)- Tracer le diagramme de Bode asymptotique du gain. En abscisse, on prendra pour variable  $\log \frac{\omega}{\omega_c}$

## III Dérivateur :



Dans le montage ci-contre, l'amplificateur opérationnel est toujours parfait, et fonctionne en régime linéaire.

1)-Etablir, en régime sinusoïdal forcé, la fonction de transfert  $H(j\omega)$  de ce montage.

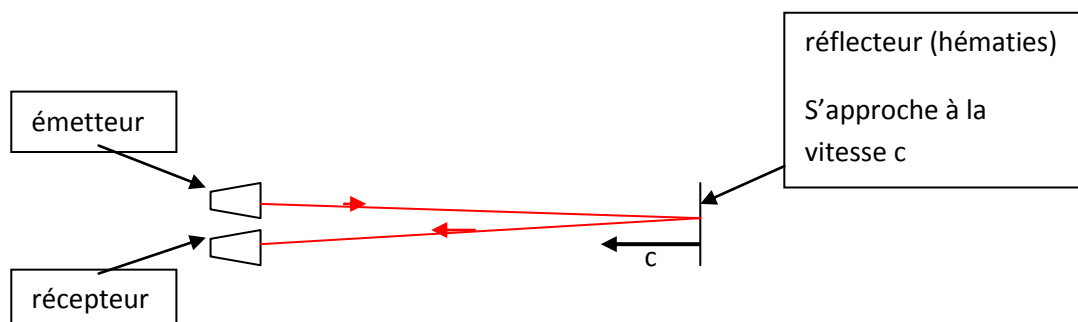
2)- En déduire que, si  $R_3 C_3 \omega \ll 1$ , l'équation différentielle reliant  $v_s$  à  $v_e$  peut s'écrire :

$$v_s = -K \frac{dv_e}{dt}$$

Déterminer l'expression de K en fonction de  $R_3$  et  $C_3$ .

3)- On donne  $R_3 = 1000 \Omega$ , et  $C_3 = 2 \text{ nF}$ . La fréquence maximum de la tension  $v_e$  est de 100 Hz. Le montage peut-il être considéré comme dérivateur ?

## B- Dispositif de mesure



On dispose côte à côte un émetteur d'ultra sons de fréquence  $f_0 = 40 \text{ kHz}$  et de pulsation  $\omega_0$ . Il est alimenté par la tension :

$$v = a \cos \omega_0 t$$

Le récepteur reçoit, à cause de l'effet Doppler, l'onde ultrasonore de fréquence  $f_0 + \delta f$ , avec:

$$\frac{\delta f}{f_0} = \frac{2c}{c_0} = \frac{\delta \omega}{\omega_0}$$

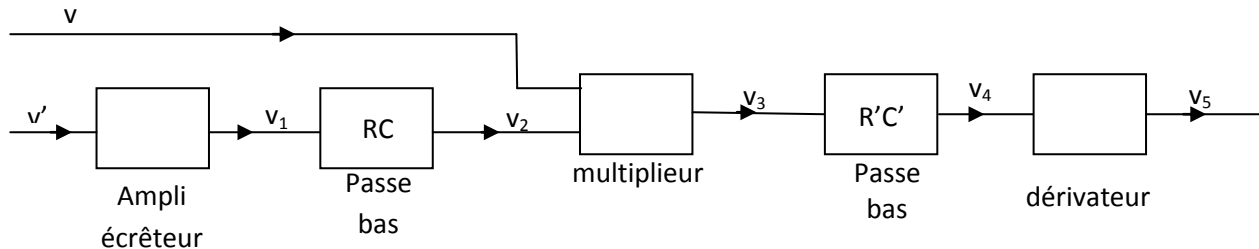
Où  $c_0$  représente la vitesse de propagation du son dans l'air. Numériquement, on prendra  $c_0 = 340 \text{ m/s}$ .

Il délivre alors une tension :

$$v' = a' \cos((\omega_0 + \delta\omega)t + \varphi)$$

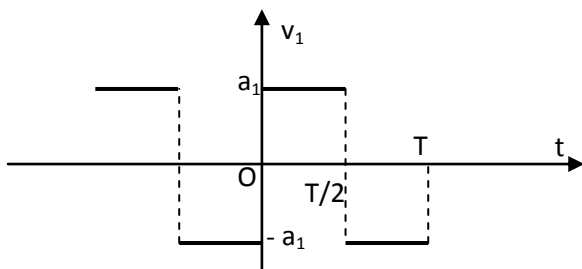
D'amplitude  $a'$  comprise entre 10 et 20 mV, suivant les conditions de réflexion.

Les deux tensions  $v$  et  $v'$  sont alors envoyées dans un montage dont le synoptique est décrit ci-dessous.



### Ensemble du traitement des deux tensions

1)-On introduit la tension  $v'$  à l'entrée du montage I- ( amplificateur à saturation). Rappeler les caractéristiques de la tension créneau  $v_1$  (amplitude et fréquence) qui en sort.



2)-On considère la fonction créneau  $v'(t)$  représentée ci-contre, d'amplitude  $-a_1, a_1$ , et de période  $T$ .

a)- Justifier que son développement en série de Fourier peut s'écrire :

$$v_1(t) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(\frac{2n\pi}{T} t\right) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\omega t) \text{ avec } \omega = \omega_0 + \delta\omega$$

b)- Donner l'expression du coefficient  $b_n$ .

c)- Exprimer la valeur numérique des coefficients  $b_1$  et  $b_3$  en fonction de  $a_1$

3)- Ce créneau est envoyé dans le filtre passe bas (montage II-), pour lequel on a :

$$R = 1,2 \text{ k}\Omega \text{ et } C = 2,2 \text{ nF}$$

a) Donner la valeur numérique de la pulsation caractéristique  $\omega_c$  du filtre, ainsi que de la fréquence caractéristique correspondante  $f_c$ .

b) Donner, à la sortie du filtre, l'amplitude  $b$  du fondamental, et celle,  $d$ , de la première harmonique non nulle. Conclusion ?

4)-A la sortie du filtre, la tension  $v_2$  peut être considérée comme sinusoïdale d'amplitude  $b$  et de pulsation  $\omega_0 + \delta\omega$ . On l'envoie, ainsi que la tension  $v$  sur le multiplieur : on obtient à la sortie du multiplieur une tension  $v_3 = v * v_2$ . Ecrire la tension  $v_3$  sous la forme d'une somme de deux tensions.

5)- la tension  $v_3$  est envoyée sur un filtre passe bas du même type que celui du montage II-, dans lequel la résistance  $R$  et la capacité  $C$  prennent les valeurs numériques  $R'$  et  $C'$  :

$$R' = 1 \text{ k}\Omega \text{ et } C' = 22 \text{ nF}$$

Déterminer la nouvelle valeur de la pulsation caractéristique du filtre. En déduire que la tension de sortie  $v_4$  du filtre est pratiquement une tension sinusoïdale dont on précisera l'expression littérale.

6)-La tension  $v_4$  est envoyée sur le dérivateur étudié dans la première partie, et sa fréquence est inférieure à 100 Hz.

a)- Donner l'expression de l'amplitude de la tension  $v_5$  sortant du dérivateur en fonction de  $a$ ,  $b$  et  $\delta\omega$ .

b)- On donne  $a = 10$  V. Dans les gros vaisseaux sanguins, le sang s'écoule à une vitesse de 40 cm/seconde. Donner la valeur numérique de l'amplitude de la tension  $v_5$ .