

1¹ ETUDE D'UN CORRECTEUR PHYSIOLOGIQUE « LOUDNESS »

On considère le schéma de la figure 1 dans lequel la tension u est produite par un générateur de tension sinusoïdale parfait, de pulsation ω variable.

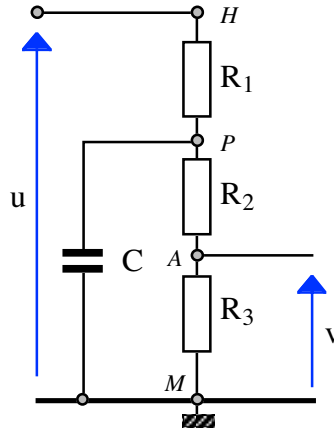


Figure 1

1. Montrer que $\underline{A}(\omega) = \frac{v}{u}$ peut se mettre sous la forme : $\underline{A}(\omega) = K_0 \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}}$ et donner les expressions littérales de K_0 et ω_0 .
2. Sachant que $R_1 = 30 \text{ k}\Omega$, $R_2 = R_3 = 5 \text{ k}\Omega$ et $C = 100 \text{ nF}$
 - a. Calculer K_0 et ω_0 (ou f_0).
 - b. Représenter, suivant le graphe de Bode, les variations du module de A en dB et de l'argument $\Phi(A)$ en fonction de la fréquence.

Dans le schéma de la figure 2, le générateur de tension est identique à celui de la question précédente.

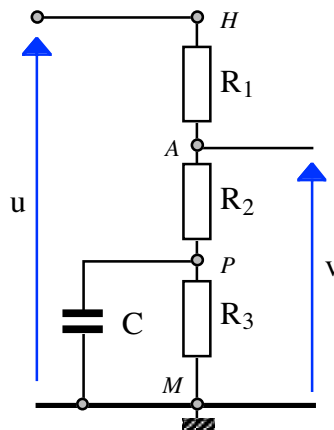


Figure 2

3. Montrer que $\underline{A}(\omega) = \frac{v}{u}$ peut se mettre sous la forme : $\underline{A}(\omega) = K \frac{1 + j\frac{\omega}{\omega_1}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_2}}$ et donner les expressions littérales de K , ω_1 et ω_2 .

4. En utilisant exclusivement les expressions littérales, déterminer si : $\omega_1 < \omega_2$ ou $\omega_1 > \omega_2$.

5. Sachant que $R_1 = 26 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 4 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ et $C = 100 \text{ nF}$

a. Calculer K , ω_1 et ω_2 (ou f_1 et f_2).

b. Représenter, suivant le graphe de Bode, les variations du module de A en dB et de l'argument $\Phi(A)$ en fonction de la fréquence f .

En fait, l'ensemble R_1 , R_2 et R_3 , constitue un potentiomètre dont A est le curseur (partie mobile). Ce potentiomètre (figure 3) comporte une prise fixe P où se trouve branché le condensateur C .

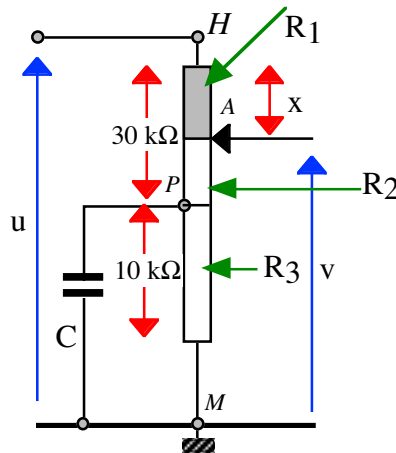


Figure 3

Cet ensemble constitue un correcteur physiologique de type « loudness » simplifié utilisé dans les amplificateurs Hi Fi.

- *La position du curseur A dans la région PM ($10 \text{ k}\Omega$) du potentiomètre correspond à la figure 1 et il lui est associé une pulsation de coupure ω_0 (ou f_0).*
- *Par contre, la position du curseur A dans la région HP ($30 \text{ k}\Omega$) du potentiomètre correspond à la figure 2 et il lui est associé deux pulsations de coupures ω_1 et ω_2 .*

6. On appelle R ($40 \text{ k}\Omega$) la valeur totale du potentiomètre ($R_1 + R_2 + R_3$). On pose de plus, x la résistance variable (de 0 à $30 \text{ k}\Omega$) entre le point H et le curseur A .

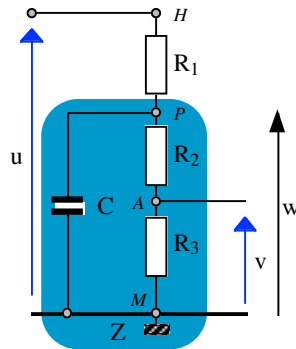
a. Donner la variation du coefficient K en fonction de x .

b. Représenter sur un même graphe, les variations des fréquences de coupures f_0 , f_1 et f_2 en fonction de x .

c. Quels commentaires peut-on faire sur les courbes de réponses en fonction de la résistance x ?

CORRECTION

Q1 : On propose de nommer Z l'ensemble constitué par C , R_2 et R_3 : $Z = \frac{R_2 + R_3}{1 + j\omega C(R_2 + R_3)}$



Le calcul se fait alors en deux étapes utilisant successivement un diviseur de tension : u/w puis v/w .

$$w = u \frac{Z}{R_1 + Z} \quad v = w \frac{R_3}{R_2 + R_3}$$

Il vient alors :

$$\frac{v}{u} = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \frac{1}{1 + j\omega C(R_1 \parallel (R_2 + R_3))}$$

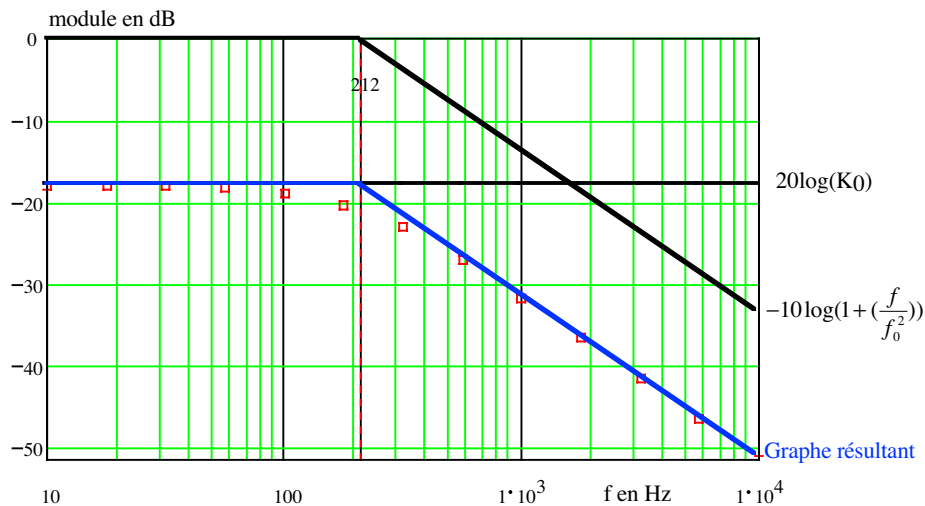
$$K_0 = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{C(R_1 \parallel (R_2 + R_3))}$$

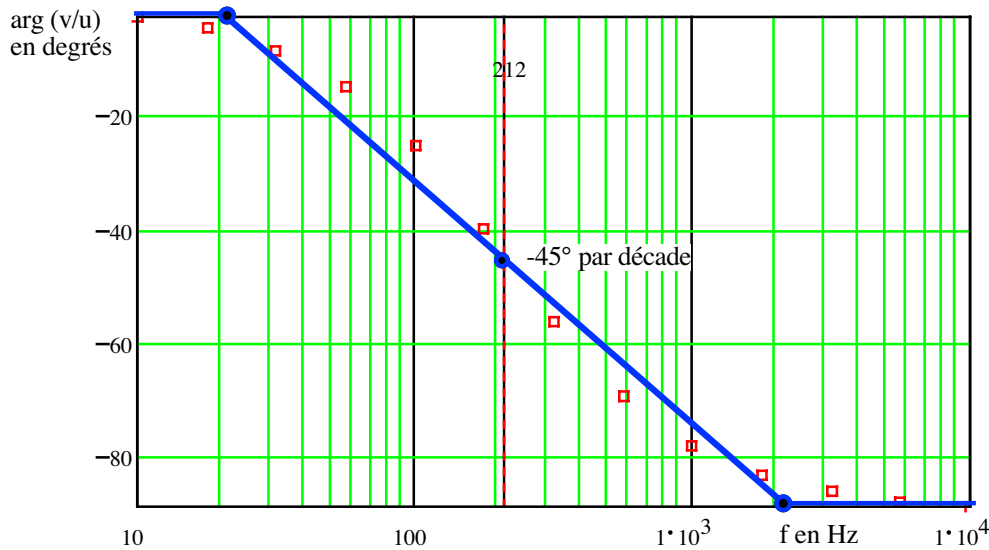
Q2a : $K_0 = 0,125$ $f_0 = 212$ Hz

Q2b : $\left| \frac{v}{u} \right|_{dB} = 20\log(K_0) - 10\log\left(1 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)$ $\Phi\left(\frac{v}{u}\right) = -\text{Arc tan}\left(\frac{f}{f_0}\right)$

Graphes asymptotiques de Bode du module (les carrés rouges correspondent aux points calculés). On remarquera la bonne approximation du graphe asymptotique.



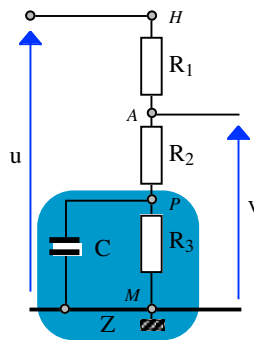
Grphe asymptotique de Bode du dphasage de la sortie par rapport à l'entrée (les carrés rouges correspondent aux points calculés). On remarquera la bonne approximation du graphe asymptotique.



Les carrés rouges correspondent à des points calculés. Le graphe asymptotique de Bode est représenté en bleu.

Q3 : On propose de nommer Z , l'ensemble constitué par C et R_3 : $Z = \frac{R_3}{1 + j\omega CR_3}$. Dans ces

conditions : $v = u \frac{R_2 + Z}{R_1 + R_2 + Z}$



On obtient alors l'expression suivante :

$$\frac{v}{u} = \frac{R_3 + R_2}{R_1 + R_3 + R_2} \frac{1 + j\omega C \frac{R_3 R_2}{R_3 + R_2}}{1 + j\omega C \frac{R_3 (R_1 + R_2)}{R_1 + R_3 + R_2}}$$

$$K = \frac{R_3 + R_2}{R_1 + R_3 + R_2}$$

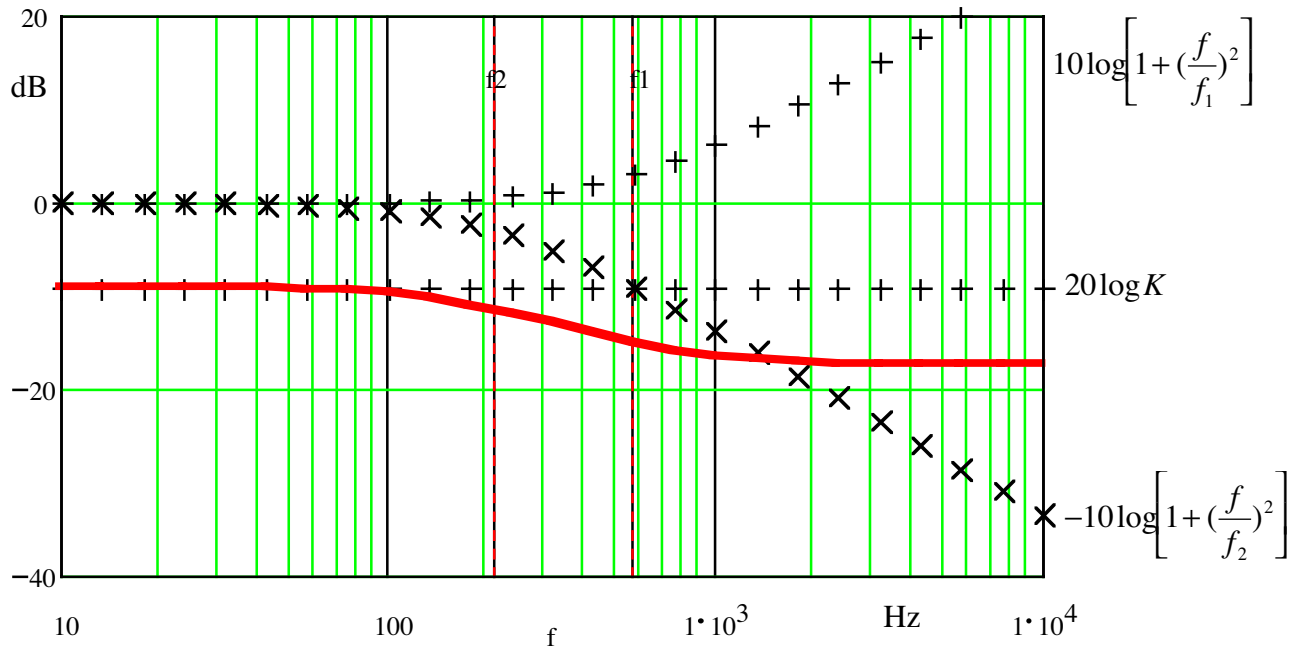
$$\omega_1 = \frac{1}{C(R_3 // R_2)}$$

$$\omega_2 = \frac{1}{C(R_3 // (R_1 + R_2))}$$

Q4 : $\omega_1 = \frac{1}{C(R_3 // R_2)} > \omega_2 = \frac{1}{C(R_3 // (R_1 + R_2))}$ soit $f_1 > f_2$

Q5a : Application numérique : $K = 0,35$ $f_1 = 557$ Hz $f_2 = 212$ Hz

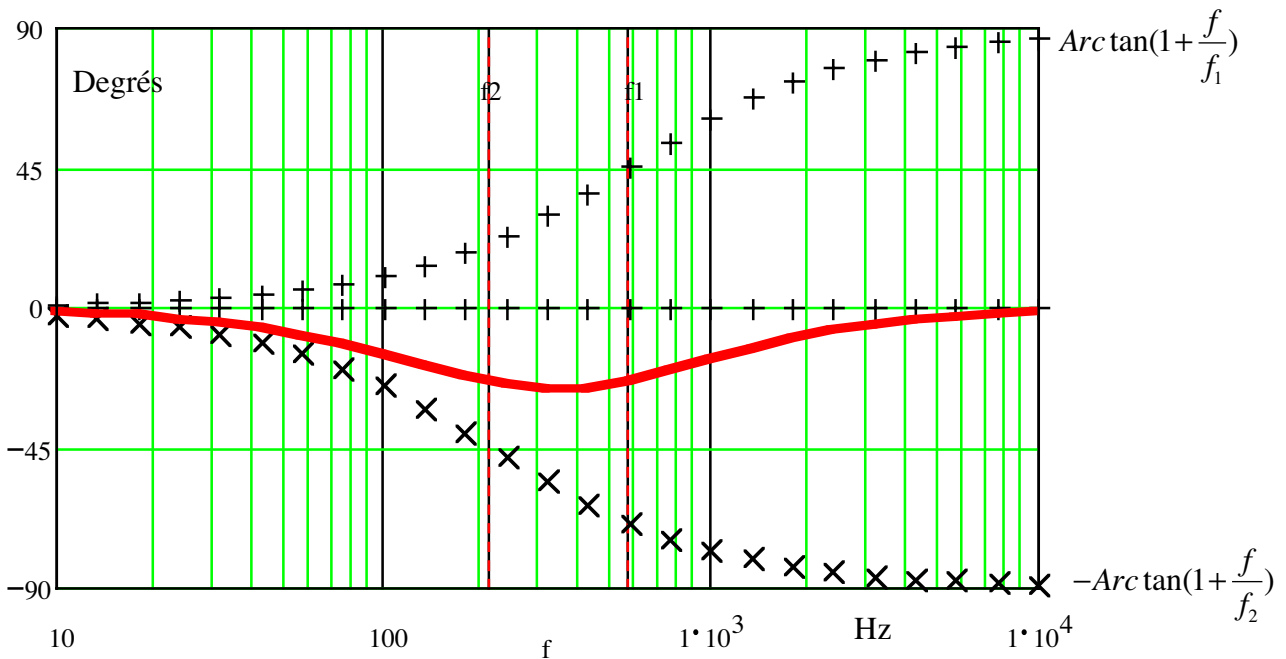
Q5b



Graphe des 3 fonctions de la relation (1), leur somme est représentée en rouge. Les basses fréquences sont favorisées par rapport aux hautes fréquences.

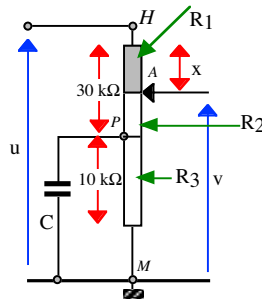
Graphes de Bode du déphasage de la sortie v par rapport à l'entrée u.

$$\Phi = 0 + \text{Arc tan}\left(\frac{f}{f_1}\right) - \text{Arc tan}\left(\frac{f}{f_2}\right) \quad (2)$$



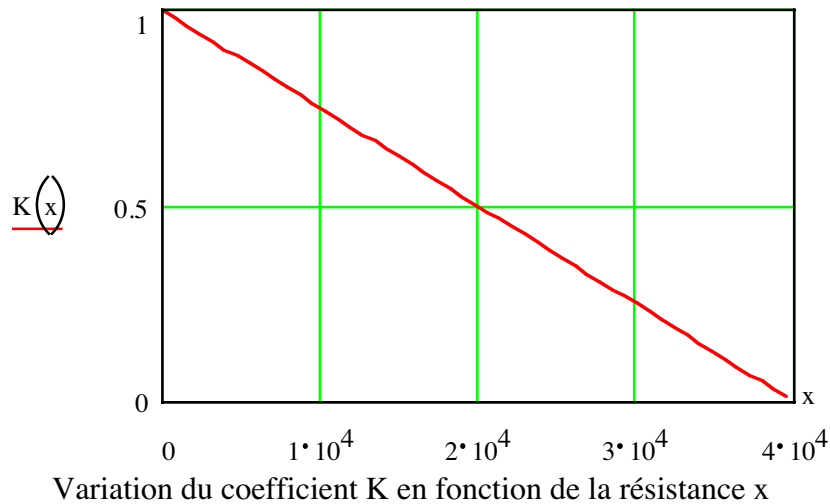
Graphe des 3 fonctions de la relation (2). Leur somme est en représentée en rouge.

Q6a : Schéma du potentiomètre :



Le coefficient K dépend de la position du curseur A est lié à un diviseur de tension. Aux très basses fréquences où l'impédance du condensateur C est négligeable devant les autres résistances :

$$K = \left[\frac{v}{u} \right]_{TBF} = \frac{R-x}{R}$$



Q6b :

Le curseur se trouve entre H et P soit $0 < x < 30 \text{ k}\Omega$.

- La résistance R_2 de la figure 2 devient alors : $(R-R_3-x)$.
- La somme R_1+R_2 qui se trouve remplacée par $(R-R_3)$, est fixe.

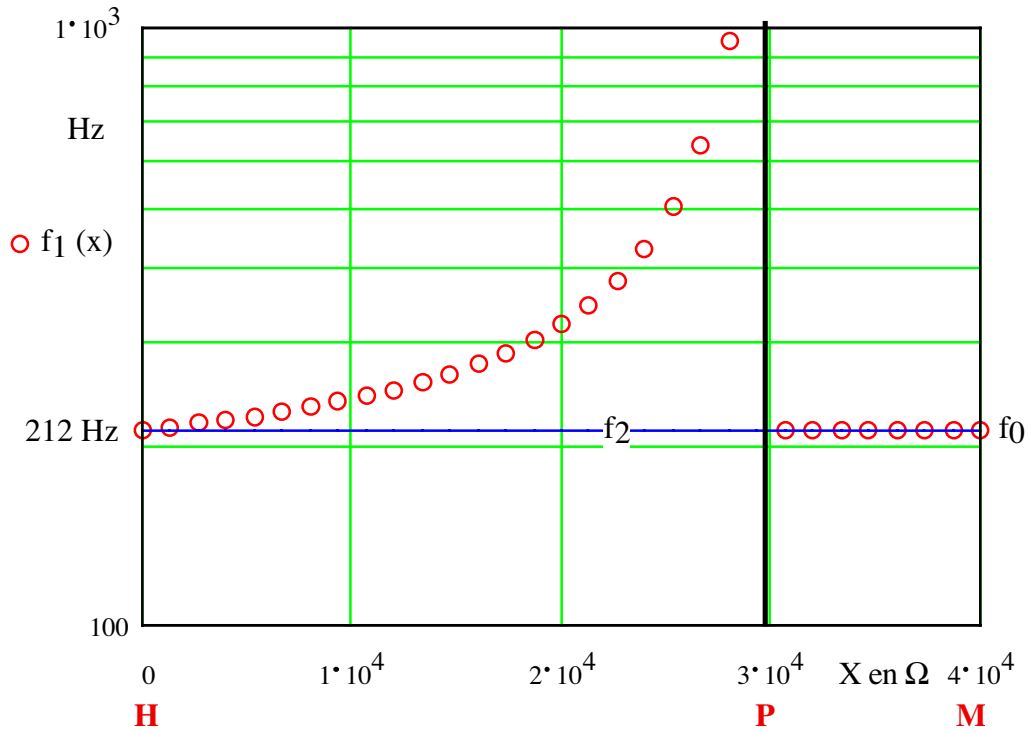
Dans ces conditions la fréquence de coupure : $f_2 = \frac{1}{2\pi.C[R_3 \parallel (R-R_3)]} = 212 \text{ Hz}$ est fixe.

Seule la fréquence de coupure f_1 avec x varie selon :

$$f_1 = \frac{1}{2\pi.C[R_3 \parallel (R-R_3-x)]}$$

Le curseur se trouve entre P et M : $30 < x < 40 \text{ k}\Omega$

La fréquence de coupure $f_0 = \frac{1}{2\pi.C(R_1 \parallel (R_2 + R_3))} = 212 \text{ Hz}$ est fixe et égale à f_2 .



Evolution des fréquences de coupures en fonction de $0 < x < 30 \text{ k}\Omega$ et $30 < x < 40 \text{ k}\Omega$

Q6c : La variation de la fréquence f_1 avec la position du curseur du potentiomètre entraîne d'une part une atténuation et corrélativement, un relèvement des fréquences basses vis à vis des fréquences aigues.

