

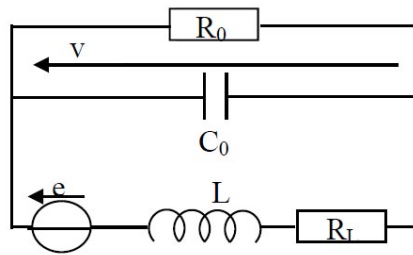
Exercice 1 Étude du microphone d'une guitare électrique

A Description d'un microphone

Situés sous les cordes, les microphones sont l'un des éléments des plus fondamentaux d'une guitare électrique, car c'est sur eux que repose toute production du son, même en l'absence totale de caisse de résonance.



Le microphone est réalisé à partir d'un bobinage à l'intérieur duquel on place un aimant permanent. Le schéma électrique est donné sur la figure ci-dessous avec $e(t) = E_m \cos \omega t$, $C_0 = 100 \text{ pF}$, $R_0 = 1 \text{ M}\Omega$, $R_L = 3 \text{ k}\Omega$



A.1 Déterminer, en fonction des données et de l'inductance de la bobine L , la fonction de transfert complexe $\underline{H}(\omega) = \frac{\underline{v}}{\underline{e}}$ où $\underline{v}$ et $\underline{e}$ sont les tensions complexes associées à $v(t)$ et $e(t)$.

A.2 On rappelle les formes canoniques pour deux types de filtres d'ordre deux : $\underline{H}_a = \frac{H_0}{1+jQ(x-\frac{1}{x})}$ et $\underline{H}_b = \frac{H_0}{1+j\frac{x}{Q}-x^2}$ avec $x = \frac{\omega}{\omega_0}$ la pulsation réduite et Q le facteur de qualité. Écrire $\underline{H}$ sous la forme canonique appropriée, en déduire le facteur de qualité et la pulsation propre ω_0 .

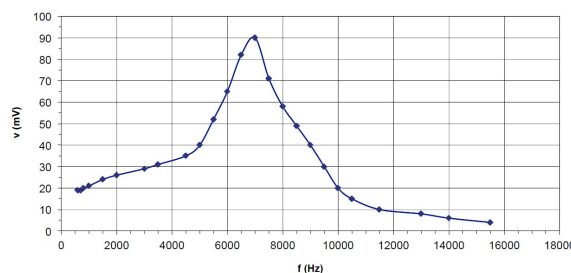
A.3 Établir la condition d'existence d'une résonance et déterminer la pulsation de résonance en fonction du facteur de qualité et de la pulsation propre.

A.4 Tracer l'allure de $|H(\omega)|$.

A.5 Rappeler la définition de la pulsation de coupure à -3 dB.

Dans les questions **A.6** à **A.8**, on suppose que le facteur de qualité est grand devant 1.

La réponse expérimentale du microphone est donnée par la courbe de la figure ci-dessous. On propose trois méthodes pour estimer le facteur de qualité à l'aide de cette courbe. On donnera deux chiffres significatifs si cela est nécessaire.



A.6 Estimer le facteur de qualité en l'interprétant comme le facteur de surtension à la résonance.

A.7 Estimer le facteur de qualité en déterminant graphiquement la bande passante. On supposera la relation $Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega}$.

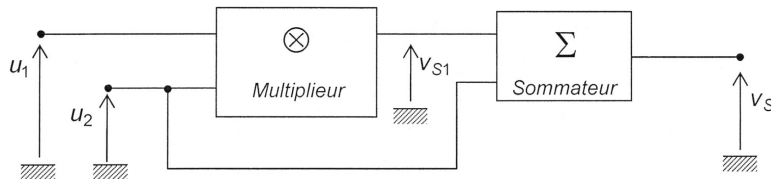
A.8 Donner une estimation de la valeur de l'inductance L . On expliquera clairement la méthode employée. En déduire le facteur de qualité. Commenter.

A.9 La fréquence de résonance varie selon le type de microphone utilisé. Quel est l'effet sur le son restitué ?

Exercice 2 De la phase à l'amplitude...

A Modulation d'amplitude

Le montage de la figure ci-dessous représente schématiquement un modulateur d'amplitude ; il comprend un multiplieur, qui délivre une tension de sortie $v_{s1} = k \times u_1 \times u_2$ (k étant une constante) et un sommateur qui délivre en sortie une tension v_s , égale à la somme des tensions d'entrée.



Les tensions sont sinusoïdales : $u_1(t) = U_m \cos(\omega_m t)$ et $u_2(t) = U_0 \cos(\omega_p t)$, avec $\omega_p \gg \omega_m$. $u_1(t)$ est appelé « signal modulant » et $u_2(t)$ « signal de porteuse ».

A.1 Montrer que la tension de sortie $v_s(t)$ peut s'écrire sous la forme $v_s(t) = U_0 \cos(\omega_p t) [1 + m \cos \omega_m t]$, et déterminer m en fonction de k et U_m .

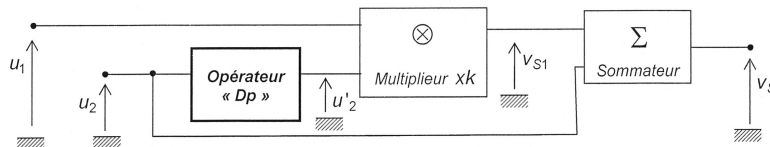
A.2 Représenter graphiquement, de façon schématique, la tension $v_s(t)$ en supposant que $m < 1$.

B Modulation de phase - Méthode d'Armstrong

Pour certaines applications, il est souhaitable de moduler la phase du signal de porteuse, pour obtenir une tension de la forme $v_p(t) = U_0 \cos[\omega_p t + m \cos \omega_m t]$. Une approche, imaginée par l'inventeur E. Armstrong en 1933, permet très simplement d'obtenir un signal de ce type (pour les faibles modulations) en modifiant légèrement le montage de la figure précédente. Dans toute la suite, le taux de modulation m vérifie $m \ll 1$.

B.1 Montrer que le signal de porteuse modulé en phase peut s'écrire : $v_p(t) = U_0 \cos \omega_p t + f(t) \sin \omega_p t$, où $f(t)$ sera exprimée en fonction de m , U_0 , ω_m et t .

Pour obtenir la tension $v_p(t)$, un opérateur « Dp » est introduit dans le montage, comme indiqué sur la figure ci-dessous :

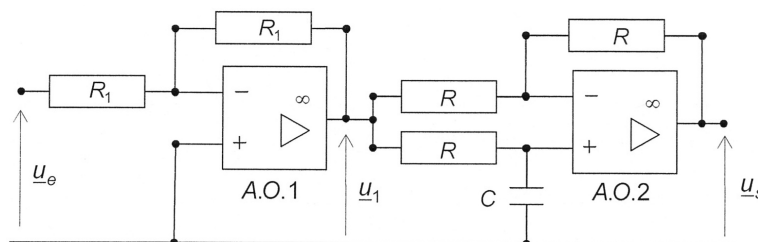


Les tensions $u_1(t)$ et $u_2(t)$ sont inchangées par rapport à la sous partie A.

B.2 Quelle doit être la tension $u'_2(t)$ en sortie de l'opérateur « Dp » pour obtenir $v_s(t) = v_p(t)$, le taux de modulation m restant inchangé par rapport à sa valeur de la question A.1 ? Quelle transformation l'opérateur « Dp » doit-il réaliser sur la tension $u_2(t)$?

C Réalisation de l'opérateur « Dp »

Le montage étudié pour réaliser l'opérateur « Dp » est représenté sur la figure ci-dessous :



Les ALI (A.O.1 et A.O.2) sont idéaux et fonctionnent en régime linéaire. Les tensions sont sinusoïdales de pulsation ω ; les grandeurs soulignées indiquées sur la figure ci-dessus désignent les représentations complexes de ces tensions.

- C.1** Exprimer la tension $\underline{u}_1$ en fonction de la tension $\underline{u}_e$. Préciser le rôle de l'ensemble formé par l'ALI A.O.1 et les deux résistances identiques de valeurs R_1 .
- C.2** Déterminer la fonction de transfert $\underline{H}_1(j\omega) = \frac{\underline{u}_s}{\underline{u}_1}$, en fonction de R , C et ω . En déduire la fonction de transfert globale du montage $\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{u}_s}{\underline{u}_e}$.
- C.3** Montrer que le seul effet de cet opérateur est d'introduire un déphasage φ_D entre la sortie $u_s(t)$ et l'entrée $u_e(t)$. Exprimer φ_D en fonction de R , C et ω .
- C.4** Comment doit-on choisir le produit RC , en fonction de ω_p , pour que l'opérateur « Dp » délivre effectivement le signal modulé en phase $v_p(t)$?

Exercice 3 Étude et production du vide

Les techniques d'élaboration de produits et de matériaux qui font appel au « vide » sont de plus en plus nombreuses. Les basses pressions couvrent un très large domaine allant du vide grossier (10^{-1} à 10^{-3} fois la pression atmosphérique), jusqu'au vide extrême (10^{-13} à 10^{-17} fois la pression atmosphérique). Le choix du matériel à utiliser pour atteindre et maintenir le vide dépend du niveau de pression. Ainsi, les pompes à transfert assurant l'extraction du gaz ou des vapeurs du réservoir et capables de refouler directement à la pression atmosphérique sont appelées pompes primaires : elles permettent d'atteindre le vide grossier ou moyen. Pour l'obtention d'un vide plus poussé, elles doivent être suivies de pompes dites à fixation, qui piègent par condensation les molécules à extraire.

A L'air et sa pression

- A.1** Donner les principaux composants de l'air et leur proportion dans les conditions habituelles de l'atmosphère.
- A.2** À quoi est due la pression cinétique des gaz ?
- A.3** Donner la valeur de la pression atmosphérique normale P_{atm} dans une unité du système S.I. que l'on précisera et dans un autre système d'unités.
- A.4** Dans le cas où leur pression est faible, les gaz peuvent être considérés comme parfaits : justifier cette hypothèse.
- A.5** Combien y a-t-il de molécules dans 1 mm^3 d'air, assimilé à un gaz parfait, dans les conditions normales de température et de pression ? Combien en reste-t-il lorsque la pression est diminuée d'un facteur 10^6 à température constante ? Exprimer le volume disponible pour une molécule de gaz dans ce dernier cas et comparer le avec le volume propre d'une molécule (de l'ordre de 10^{-27} m^3). Quelle remarque peut-on faire ?
- Données :* Dans les conditions normales de température et de pression, $T = 273,15 \text{ K}$ et la pression est égale à la pression atmosphérique ; $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ et $N_A = 6,02.10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

B Définition statistique de la pression dans la théorie cinétique des gaz

- B.1** À quoi est due la pression cinétique des gaz ?
- B.2** Soit n^* la densité volumique moléculaire à la température T d'un gaz supposé parfait. Montrer que la pression du gaz est donnée en fonction de n^* , T et k_B la constante de Boltzmann par la relation $P = n^* k_B T$. Exprimer k_B en fonction de R et N_A et donner sa valeur numérique.
- B.3** Un gaz parfait, en équilibre thermique dans une enceinte à la température T est constitué de N molécules de masse m . Les chocs moléculaires se traduisent par une répartition aléatoire des vitesses des molécules suivant la distribution de Maxwell. À partir de cette distribution on peut établir l'expression de la vitesse modulaire moyenne : $\bar{v} = \sqrt{\frac{8k_B T}{\pi m}}$ et de la vitesse quadratique moyenne : $v^* = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}}$. Donner la valeur numérique de $\bar{v}$ et v^* pour du diazote dans les conditions normales de température et de pression. Quelle remarque peut-on faire ?
- Donnée :* $M_N = 14 \text{ g.mol}^{-1}$.
- B.4** En déduire l'énergie cinétique moyenne d'une molécule en fonction de k et T .
- B.5** En utilisant la loi des gaz parfaits, montrer que la pression est donnée par : $P = \frac{1}{3} n^* m v^{*2}$.
- B.6** Le trajet en ligne droite effectué par une molécule de gaz entre deux chocs s'appelle le libre parcours moyen. Il est donné par la relation suivante : $l_m = \frac{1}{\pi \sqrt{2} \sigma^2 n^*}$ où σ est le diamètre des molécules (en m).
- Exprimer l_m en fonction de P et T . On donne $\sigma_{N_2} = 3,77.10^{-10} \text{ m}$. Calculer l_m pour du diazote dans les conditions normales de température et de pression. Que devient cette valeur si la pression est réduite d'un facteur 10^8 ? Pourquoi dit-on qu'à très basse pression, les phénomènes de paroi sont prépondérants ?

C Pompe à condensation

Parmi les différents types de pompe à fixation, on trouve les pompes à condensation. Par abaissement de la température d'une partie de la paroi de l'enceinte à vider, on condense le gaz ou la vapeur à éliminer. Le produit condensé est ensuite éliminé.

Soit une enceinte sphérique de diamètre $D = 20 \text{ cm}$, maintenue à une température constante $T = 273 \text{ K}$ sauf au niveau d'un élément de surface s représentant $0,1\%$ de la surface totale, maintenu à une température T_s inférieure à T et permettant la condensation du diazote. Cette enceinte est initialement remplie d'air dans les conditions normales de température et de pression. L'air et ses constituants sont supposés se comporter comme des gaz parfaits.

D'après la théorie cinétique des gaz, le nombre de molécules qui frappent l'unité de surface pendant l'unité de temps est donné par : $N_s = \frac{1}{4}n^*\bar{v}$ où n^* est la densité volumique de molécules, $\bar{v}$ leur vitesse moyenne. On donne $\bar{v} = 454 \text{ m s}^{-1}$ dans les conditions de l'expérience.

C.1 En admettant que les molécules de diazote, qui frappe la surface s , y restent collés, montrer que la variation temporelle du nombre de molécule de ce gaz contenues dans l'enceinte est donnée par une relation du type : $N_{N_2} = N_{N_2}^0 \exp(-\frac{t}{\tau})$ où t est le temps en seconde et $N_{N_2}^0$ le nombre de molécules de diazote dans le réservoir à l'instant initial. Exprimer τ en fonction de D et de la vitesse $\bar{v}_{N_2}$ d'une molécule de diazote puis donner sa valeur numérique.

Donnée : On rappelle que la surface d'une sphère de rayon R est égale à $4\pi R^2$ et que son volume est $\frac{4}{3}\pi R^3$.

Exercice 4 Un peu d'eau fraîche

Un utilisateur place un verre d'eau dans un réfrigérateur. Il constate au bout de quelques jours que le niveau de l'eau dans le verre a baissé.

A Questions préliminaires

A.1 Tracer le diagramme pression-température de l'eau en faisant apparaître et en définissant les points caractéristiques du diagramme et en indiquant le nom des phases dans chacune des zones du diagramme.

A.2 Comment évolue la température de fusion de l'eau avec la pression ?

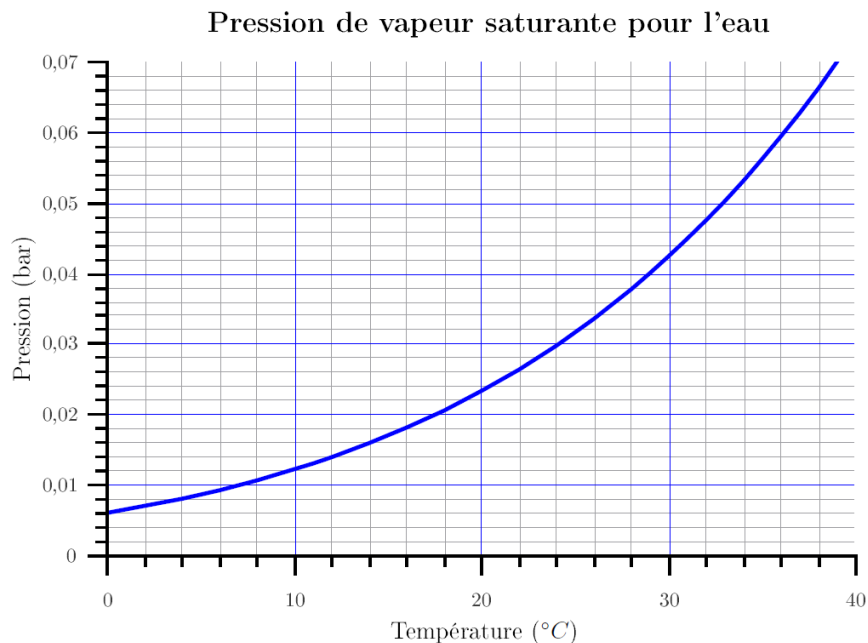
A.3 Définir la pression de vapeur saturante.

A.4 Représenter le diagramme de Clapeyron d'équilibre liquide-vapeur de l'eau en faisant apparaître les courbes caractéristiques et en indiquant le nom des phases dans chacune des zones du diagramme. Tracer sur ce diagramme une isotherme en justifiant son allure.

A.5 Quelle distinction peut-on faire entre ébullition et évaporation et quel critère permet de prédire si de l'eau liquide peut s'évaporer ?

B Résolution de problème

On donne ci-dessous la courbe représentant l'évolution de la pression de vapeur saturante en fonction de la température :



Dans le cadre d'une utilisation normale du réfrigérateur, au bout de combien de temps le verre sera-t-il vide ?