

Devoir surveillé de physique n°1

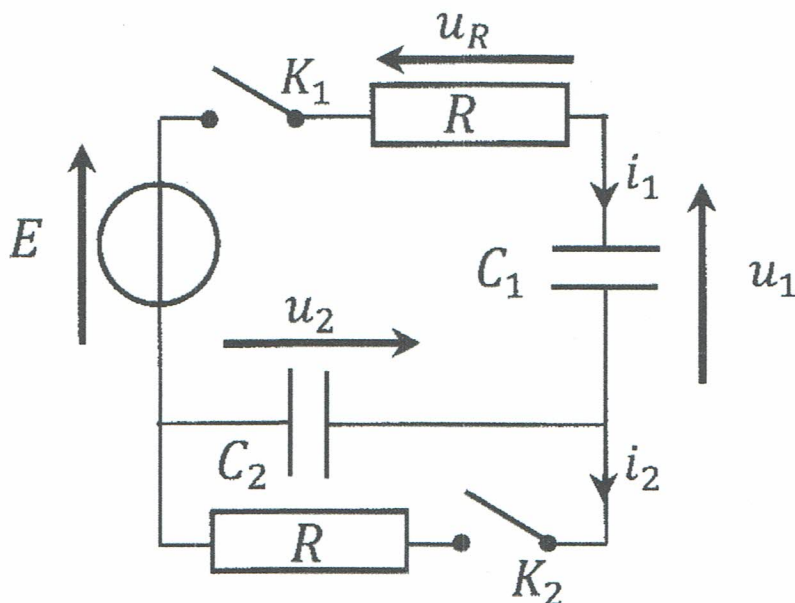
Durée : 3 heures mais vous pouvez rester 4 heures

Calculatrice : autorisée

Trois problèmes indépendants

Problème 1 : Régimes transitoires (ENAC 2025)

Le circuit représenté sur la figure ci-dessous est constitué d'un générateur de tension continue idéal de tension à vide E , de deux résistances R identiques et de deux condensateurs de capacités C_1 et C_2 . Les deux interrupteurs K_1 et K_2 sont initialement ouverts, le condensateur C_2 est déchargé, tandis que C_1 a été chargé préalablement de sorte que la tension à ses bornes vaut initialement $u_1 = E/2$. A l'instant pris comme origine des temps, on ferme K_1 tout en maintenant K_2 ouvert



- 1) Déterminer à la date $t = 0+$ c'est-à-dire juste après la fermeture de K_1 , l'expression de la tension $u_R(0+)$.
- 2) Déterminer l'expression de l'intensité $i_1(t)$ du courant électrique pour $t > 0$ en précisant l'expression des constantes d'intégration.
- 3) Déterminer l'expression de $u_1(t)$ pour $t > 0$ en précisant les constantes d'intégration.
- 4) Même question pour $u_2(t)$.

On attend suffisamment longtemps pour que le circuit atteigne un régime établi puis on ferme K_2 (tout en laissant K_1 fermé) à un instant pris comme nouvelle origine des temps.

- 5) Déterminer, à la date $t = 0+$, c'est-à-dire juste après la fermeture de K_2 , l'expression de l'intensité $i_2(0+)$ d'une part et déterminer également sa valeur $i_2(\infty)$ lorsque le nouveau régime établi est atteint.
- 6) On suppose que $C_1 = C_2$. Après la fermeture de K_2 , déterminer l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_2(t)$.
- 7) Tracer l'allure de la courbe $u_2(t)$ en justifiant son tracé.

DM n°8 : Étude d'une cellule de filtrage

De nombreux circuits électroniques sont alimentés avec une tension continue de 5V. Une «alimentation à découpage» transforme, en plusieurs étapes, la tension alternative sinusoïdale du réseau électrique en une tension continue. La dernière étape consiste à filtrer une tension rectangulaire représentée figure 2 par le filtre passif «L, C» (voir figure 1) dans lequel la résistance R symbolise l'ensemble des circuits que l'on souhaite alimenter sous une tension presque parfaitement continue. On se propose dans ce problème d'évaluer les performances du filtre.

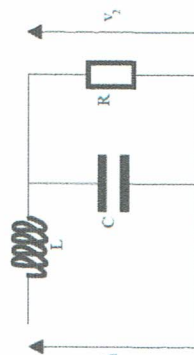


Figure 1

1 Étude du filtre :

On établit à l'entrée du filtre de la figure 1 une tension sinusoïdale $v_1(t)$ de pulsation ω . On adopte la notation complexe. On note : $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ et $Q = \frac{R}{L\omega_0}$

- Par une étude qualitative, prévoir la nature du filtre proposé.
- Déterminer la fonction de transfert complexe de ce montage : $H(jx) = \frac{v_2}{v_1}$ en fonction de Q et $x = \frac{\omega}{\omega_0}$. Que vaut le gain $G=|H|$? ~~En déduisant la pulsation de résonance~~ **le calcul est demandé**, indiquer quelle inégalité doit vérifier Q pour que la courbe représentative de G en fonction de x présente un extremum ?
- Quelle est alors la pulsation ω_r de l'extremum et la valeur de G_{max} ?
- Représenter les deux allures possibles de la courbe représentative de G en fonction de x en faisant clairement apparaître les points particuliers.

2 Analyse harmonique du signal d'entrée :

On applique au filtre le signal rectangulaire périodique $v_1(t)$ de hauteur V_0 , de période T , représenté à la figure 2. On appelle $\alpha = \frac{T_H}{T}$ le rapport cyclique variable ($0 < \alpha < 1$) de la tension $v_1(t)$. On pose $\omega = \frac{2\pi}{T}$.

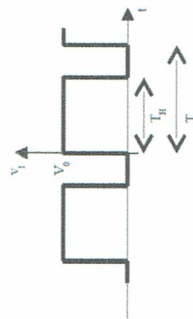


Figure 2

- Quelle est la valeur moyenne $V_{1,moy}$ de $v_1(t)$ (en fonction de V_0, α).
- On décompose $v_1(t)$ en série de Fourier et l'on obtient :

$$v_1(t) = V_{1,moy} + \frac{V_0}{\pi} \left(\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(2\pi n \alpha t)}{n} \cos(n\omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} 2 \frac{\sin^2(\pi n \alpha)}{n} \sin(n\omega t) \right)$$

Déterminer :

- la pulsation ω_{fond} du fondamental (harmonique 1) en fonction de ω .
- l'amplitude V'_{fond} du fondamental de $v_1(t)$.
- la pulsation ω_{harm} de l'harmonique suivant (harmonique 2) (on suppose $\alpha \neq 1/2$)
- l'amplitude V_{harm} de l'harmonique 2.

3 Signal de sortie :

On admet que le signal rectangulaire $v_1(t)$ est correctement représenté par la superposition de sa composante continue $V_{1,moy}$, de son terme fondamental d'amplitude V'_{fond} et de l'harmonique suivant d'amplitude V_{harm} .

- Calculer la valeur moyenne $V_{2,moy}$ du signal $v_2(t)$ à la sortie du filtre.
- Application numérique : Le signal rectangulaire a une fréquence f de 5 kHz, une amplitude $V_0=15V$, un rapport cyclique $\alpha = 1/3$. On a $R = 100 \Omega$, $C = 10,0 \mu F$, $L=200 mH$. Calculer f_0 (fréquence correspondant à la pulsation ω_0), Q , $V_{2,moy}$.
- Exprimer les amplitudes des deux harmoniques considérés, en sortie de filtre. Justifier l'utilisation d'une formule approchée pour le gain. Application numérique.
- Pour obtenir un ordre de grandeur convenable de l'amplitude $V_{2,att}$ de la composante alternative de $v_2(t)$ en sortie du filtre, on décide de ne considérer que le fondamental.
- Comparer les amplitudes des deux harmoniques en sortie et commenter.
- Donner la valeur de $V_{2,att}$.
- On désigne par ΔV_2 l'amplitude crête à crête de l'ondulation résiduelle en sortie. Déterminer littéralement en fonction de α, f_0, f , puis numériquement, le taux d'ondulation $\frac{(\Delta V_2/2)}{V_{2,moy}}$.

Problème 3

Modulation d'amplitude et démodulation (CCP 2005 PSI)

PARTIE 1. FABRICATION D'UN SIGNAL MODULÉ EN AMPLITUDE

La modulation d'amplitude est une technique intervenant dans la transmission, via une onde électromagnétique, d'un signal informatif (téléphonie, radio, télévision...).

Généralités sur la modulation d'amplitude

Pour transmettre une onde sonore (un signal informatif supposé sinusoïdal de pulsation ω), on module l'amplitude d'une porteuse de pulsation Ω très supérieure à ω .

1.1) À quel intervalle de fréquences correspond le domaine audible ?
Quelle est la célérité de l'onde modulée transmise par voie hertzienne ?

1.2) Donner deux raisons essentielles justifiant la nécessité de la modulation (en amplitude ou en fréquence, par exemple) pour transporter un signal par voie hertzienne par l'intermédiaire d'une onde électromagnétique.

1.3) Le signal modulé $s(t)$ obtenu est mis sous la forme usuelle $s(t) = s_0(1 + m \cos \omega t) \cos \Omega t$, dans laquelle m est un réel positif, appelé taux de modulation. L'image électrique de ce signal pourra être obtenue sous forme d'une tension (on écrira alors $s(t) = v(t)$, grandeur exprimée en volt) ou sous forme d'une intensité (on écrira alors $s(t) = i(t)$, grandeur exprimée en ampère).

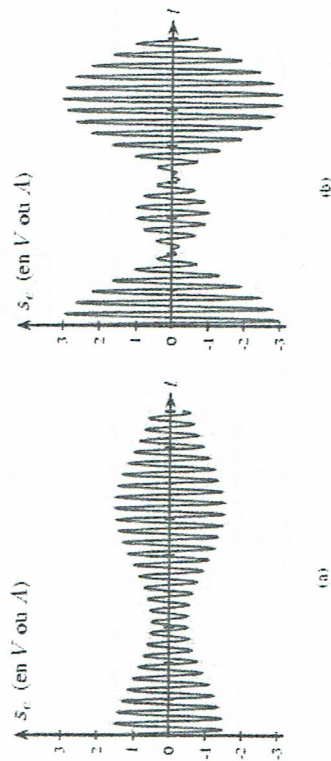


FIG. 1 - Signaux obtenus avec différents taux de modulation

1.3.a) Soient $s_{\max}$ et $s_{\min}$ les valeurs maximale et minimale de l'amplitude de $s(t)$. En faisant apparaître clairement $s_{\max}$ et $s_{\min}$ sur l'une ou l'autre des figures précédentes (qui sera reproduite sur la copie), exprimer le taux de modulation m en fonction de $s_{\max}$ et $s_{\min}$.

1.3.b) Calculer les taux de modulation correspondant aux deux graphes proposés.

1.3.c) Représenter le signal modulé dans le cas $m = 1$.

Fabrication d'un signal modulé en amplitude

Pour réaliser l'émission, nous allons utiliser un courant électrique modulé en amplitude, d'intensité $i(t) = I_0(1 + m \cos \omega t) \cos \Omega t$, où $\Omega \gg \omega$.

L'intensité électrique délivrée par la source de courant circule dans un dipôle oscillant, l'émetteur, qui réalise l'émission. L'ensemble est représenté sur la figure 2.

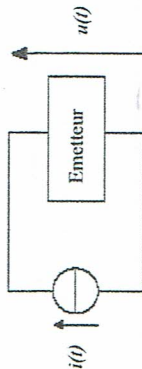


FIG. 2 - Schéma de l'émetteur

Nous ne nous intéressons pas à l'émetteur, mais seulement à la source de courant, que nous allons tenter de fabriquer.

1.4) Représenter, en le justifiant, le spectre fréquentiel de l'intensité délivrée par la source (on notera $f = \frac{\omega}{2\pi}$ et $F = \frac{\Omega}{2\pi}$).

1.5) En déduire que la source de courant peut être théoriquement fabriquée à l'aide de trois sources de courant sinusoïdales idéales, associées de façon très simple. Préciser
- les expressions complètes (amplitude et pulsation) des intensités $i_1(t)$, $i_2(t)$ et $i_3(t)$ délivrées par chacune des sources ;
- le montage réel de la source équivalente.

Tournez la page S.V.P.

PARTIE 2. DÉMODULATION D'AMPLITUDE

Pour récupérer l'information contenue dans un signal modulé en amplitude, plusieurs approches sont possibles, dont les deux suivantes. La première exploite les possibilités d'un circuit passif à base de diode, la seconde repose sur l'emploi d'un multiplicateur.

On n'étudie que la 2e méthode.

Démodulation synchrone (à l'aide d'un multiplicateur)

L'utilisation d'un multiplicateur va permettre de résoudre quelques-unes des limitations rencontrées par le démodulateur à diode.

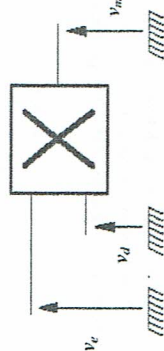


FIG. 4 - Schéma de principe d'un multiplicateur

Le montage représenté sur la figure 4 est câblé de façon à ce que $v_m(t) = k v_e(t) v_d(t)$, où k est une constante positive caractéristique du multiplicateur.

On place, sur la première entrée, le signal à démoduler, réceptionné par voie hertzienne, dont l'équation est $v_e(t) = V_e(1 + m \cos \omega t) \cos \Omega t$ et on impose, sur la seconde entrée, la tension $v_d(t) = V_d \cos \Omega t$.

En sortie du multiplicateur, le signal traverse un filtre qui peut être de type passe-haut ou passe-bas, selon le traitement souhaité (voir figure 5).

Les diverses caractéristiques de chacun des filtres sont fournies en annexe.

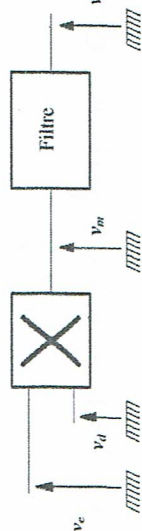


FIG. 5 - Filtrage

2.6) Représenter, en le justifiant, le spectre du signal v_m en sortie du multiplicateur, en indiquant l'amplitude des différentes composantes spectrales.

2.7) Une partie du signal v_m représente l'information recherchée.

2.7.a) Parmi les filtres 1 et 2 fournis en annexe, justifier quel est celui qui doit être employé pour sélectionner cette information.

Ce choix sera maintenu dans toute la suite du problème.

2.7.b) Déduire des documents disponibles la fréquence de coupure du filtre choisi.

2.8) Pour tester le montage ainsi réalisé, on place sur son entrée v_e le signal $x_e(t)$ de la figure 1(b).

2.8.a) Exprimer la tension v_e en sortie du filtre. *Soit que $\omega = 3,14 \cdot 10^4 \text{ rads}^{-1}$ et que $\Omega = 100 \omega$.*

2.8.b) Représenter v_e .

2.8.c) Citer au moins un avantage de la démodulation par un multiplicateur par rapport à celle à diode.

2.9) Les paramètres du filtre employé (l'ordre n et le gain H_0) étaient inconnus jusqu'à ce que l'on mesure la valeur absolue du gain, à une fréquence donnée. Ainsi, à 100 kHz, on a trouvé $|G| = 50 \text{ dB}$.

2.9.a) En exploitant cette mesure et les documents fournis en annexe, déterminer H_0 .

2.9.b) Calculer, de la même façon, l'ordre n de ce filtre.

2.10) Pour parfaire le filtrage, un condensateur, de capacité C , est placé en série en sortie du filtre. Le signal alors démodulé est transformé en onde sonore par l'intermédiaire d'un haut-parleur (voir figure 6).



FIG. 6 - Chaîne de réception

2.10.a) En assimilant le haut-parleur à une résistance R_0 , préciser le rôle du condensateur.

2.10.b) En prenant pour v_e sa représentation déterminée à la question 2.8.b, représenter l'allure du signal v_s .

Mesure de la puissance moyenne consommée et du rendement

3.8) De façon à confronter le bilan théorique de puissance à l'expérience, le montage suivant a été réalisé.

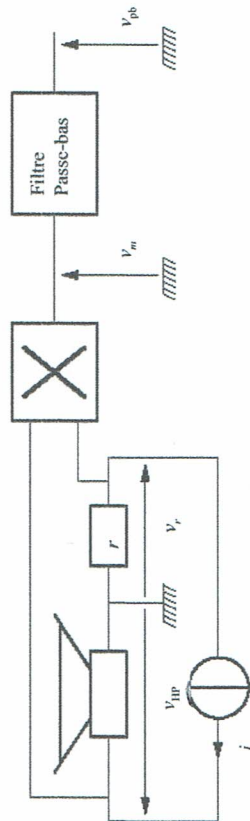


FIG. 8 - Mesure de puissance moyenne

Les caractéristiques du multiplieur sont celles décrites dans la partie 2 (figure 4). Le haut-parleur est placé en série avec une résistance r de valeur 1 ohm. Un générateur de courant alimente le tout. On note $i(t) = i_0 \cos \omega t$ l'intensité qu'il délivre, et par souci de simplification, on prendra $v_{wp} = v_0 \cos(\omega t + \varphi)$.

3.8.a) Pour la mesure de puissance, aurait-on pu se contenter d'employer un voltmètre et un ampèremètre ? Justifier.

3.8.b) Établir l'expression de la tension v_m et représenter son spectre fréquentiel. À quelle grandeur énergétique est-elle proportionnelle ? Justifier.

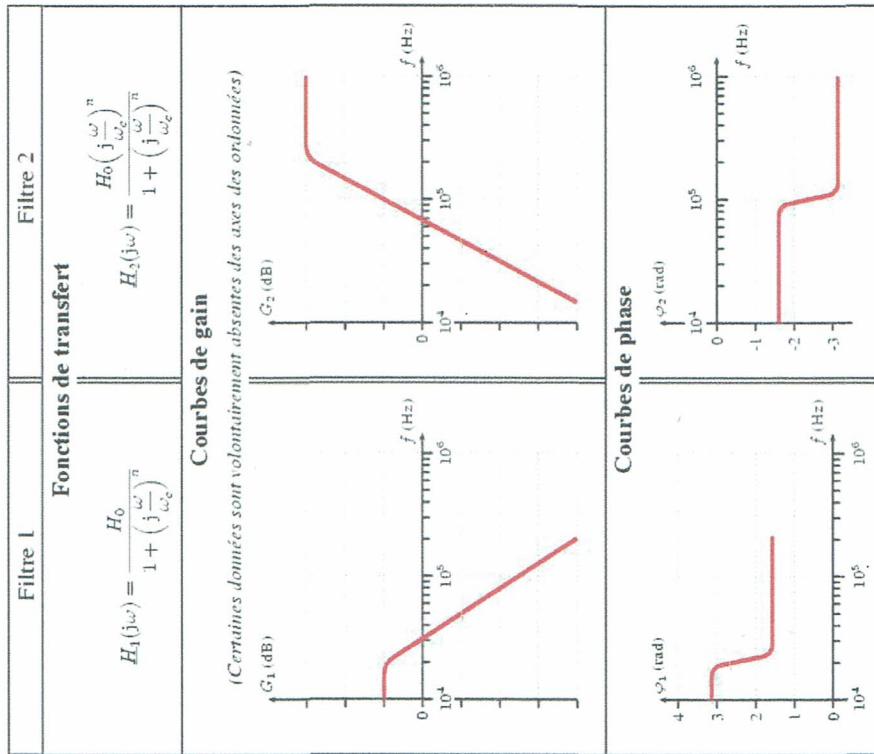
3.8.c) La tension v_m est filtrée par un circuit de type passe-bas. En sortie de celui-ci, on récupère le signal de plus basse fréquence, de tension v_{pb} .

Justifier que la tension v_{pb} est bien proportionnelle à la puissance moyenne consommée par le haut-parleur.

3.8.d) Pour une fréquence donnée, la puissance moyenne délivrée par le générateur de courant a été mesurée à 70 mW et celle dissipée par effet Joule vaut 25 mW.

En déduire la puissance moyenne associée à l'émission sonore et le rendement du haut-parleur.

ANNEXE



Fin du problème de physique

Retournez la page S.V.P.

$\omega_c = \text{pulsation de coupure}$