BURHAN

Ondes électromagnétiques et modulation d'amplitude : exercices, niveau examen

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

Version en ligne : burhan.ma/2bac/pc/physique-chimie/ondes-electromagnetiques-et-modulation-d-amplitude/exercices/examen

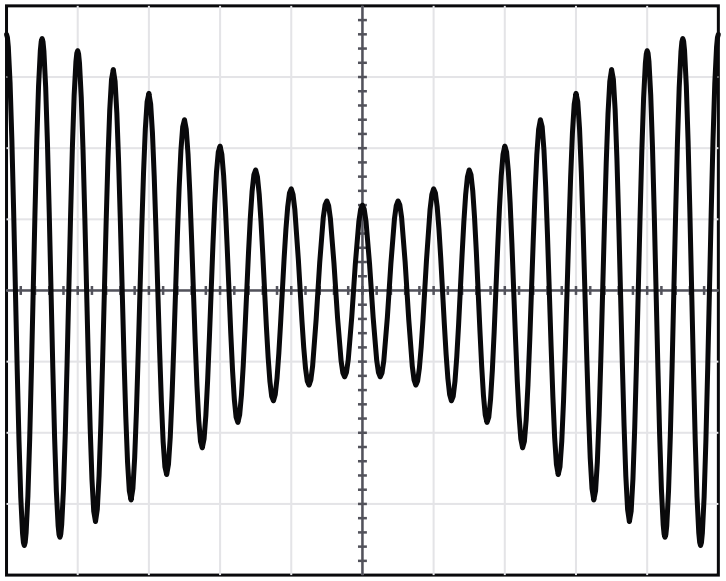
Chapitre	Palier	Exercices
Ondes électromagnétiques et modulation d'amplitude	Niveau examen	5

Exercice 1 6 pts

Une station en grandes ondes : maquette et spectre

Radio Saïss, station de radio fictive, émet en grandes ondes. Pour préparer la visite de l'émetteur, des élèves étudient d'abord une maquette de laboratoire qui reproduit son principe à fréquences réduites.

Document. Tension modulée u_s délivrée par la maquette : sensibilité verticale $1\,\mathrm{V/div}$, balayage $0{,}1\,\mathrm{ms/div}$.



Voie u_s : 1 V/div Balayage : 0,1 ms/div

Tension modulée délivrée par la maquette de l'émetteur

A.1. 0,75 pts

Partie A : la maquette de l'émetteur.

Déterminer la période T_s et la fréquence f_s de la modulante, puis la fréquence F_p de la porteuse.

INDICE

Début : l'enveloppe reprend la même forme après une période de la modulante. **Ensuite :** compte les oscillations rapides pendant cette durée.

CORRIGÉ

Modulante. Deux maximums successifs de l'enveloppe sont séparés de 10 divisions : $T_s \approx 10 \times 0{,}1 \approx 1{,}0\,\mathrm{ms}$, d'où $f_s \approx 1{,}0\,\mathrm{kHz}$.

Porteuse. On compte 20 oscillations pendant T_s : $T_p \approx 0{,}050\,\mathrm{ms}$ et $F_p \approx 20\,\mathrm{kHz}$.

Conclusion. $f_s \approx 1{,}0\,\mathrm{kHz}$ et $F_p \approx 20\,\mathrm{kHz}$: la porteuse est vingt fois plus rapide.

A.2. 0,5 pts

Lire les amplitudes extrêmes $U_{\max}$ et $U_{\min}$.

INDICE

Outil : mesure en divisions, depuis l'axe central, les sommets extrêmes de l'enveloppe.

CORRIGÉ

Lectures. Le sommet le plus haut est à $3{,}6$ divisions et le plus bas de l'enveloppe à $1{,}2$ division.

Conclusion. Avec $1\ \mathrm{V/div}$, $U_{\max} \approx 3{,}6\ \mathrm{V}$ et $U_{\min} \approx 1{,}2\ \mathrm{V}$.

A.3. 0,75 pts

Montrer que le taux de modulation vaut $m \approx 0{,}50$.

INDICE

Outil : l'expression du taux à partir des amplitudes extrêmes.

CORRIGÉ

Calcul.

$$\begin{aligned} m &= \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} \\ m &\approx \frac{3{,}6 - 1{,}2}{3{,}6 + 1{,}2} \\ m &\approx 0{,}50 \end{aligned}$$

Conclusion. Le taux de modulation de la maquette, sans unité, vaut environ $0{,}50$: il n'y a pas de surmodulation.

A.4. 0,75 pts

En déduire l'amplitude A de la tension modulée, puis écrire l'expression de $u_s(t)$ en volts et en secondes.

INDICE

Début : relie $U_{\max}$ à A et m. **Ensuite :** reporte A, m, f_s et F_p dans la forme de référence.

CORRIGÉ

Amplitude. $U_{\max} = A(1+m)$, donc $A = \dfrac{U_{\max}}{1+m} \approx \dfrac{3{,}6}{1{,}50} \approx 2{,}4\ \mathrm{V}$.

Expression.

$$\begin{aligned} u_s(t) = 2{,}4\,\big[1 + 0{,}50 \\ \times \cos(2 \times 10^{3}\pi\, t)\big] \\ \times \cos(4 \times 10^{4}\pi\, t) \end{aligned}$$

Conclusion. $A \approx 2{,}4\ \mathrm{V}$, et la tension de la maquette s'écrit ainsi, avec $2\pi f_s = 2 \times 10^{3}\pi$ et $2\pi F_p = 4 \times 10^{4}\pi$.

B.1. 0,5 pts

Partie B : l'émission réelle de la station. La station émet une porteuse de fréquence $F_p = 198\,\text{kHz}$. À la sortie de son modulateur, pour un son de fréquence $f_s = 4{,}5\,\text{kHz}$, la tension modulée a la forme $A\,[1 + m\cos(2\pi f_s\,t)]\cos(2\pi F_p\,t)$, avec $A = 6{,}0\,\text{V}$ et $m = 0{,}80$. On prend $c = 3{,}00 \times 10^{8}\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Calculer la longueur d'onde de l'onde émise.

INDICE

Outil : la longueur d'onde dans le vide d'une onde électromagnétique de fréquence donnée.

CORRIGÉ

Calcul.

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{c}{F_p}\\ \lambda &= \frac{3{,}00\times10^{8}}{1{,}98\times10^{5}}\\ \lambda &\approx 1{,}52\times10^{3}\,\text{m}\end{aligned}$$

Conclusion. L'onde émise a une longueur d'onde d'environ $1{,}52\,\text{km}$.

B.2. 1 pts

On rappelle la formule de transformation

$$\cos a\cos b = \frac{1}{2}\big[\cos(a+b) + \cos(a-b)\big]$$

Montrer que $u_s(t)$ est la somme de trois tensions sinusoïdales dont on donnera les fréquences et les amplitudes en fonction de A, m, F_p et f_s.

INDICE

Début : développe le crochet. **Ensuite :** applique la formule au produit des deux cosinus.

CORRIGÉ

Développement. $u_s(t) = A\cos(2\pi F_p\,t) + A\,m\cos(2\pi f_s\,t)\cos(2\pi F_p\,t)$.

Transformation. On pose $a = 2\pi F_p\,t$ et $b = 2\pi f_s\,t$; alors $a+b = 2\pi(F_p+f_s)\,t$ et $a-b = 2\pi(F_p-f_s)\,t$:

$$\begin{aligned}&A\,m\cos a\cos b\\ &= \frac{m\,A}{2}\cos(a+b)\\ &\quad + \frac{m\,A}{2}\cos(a-b)\end{aligned}$$

Conclusion. $u_s(t)$ est la somme de trois tensions sinusoïdales : fréquence F_p et amplitude A, fréquences $F_p + f_s$ et $F_p - f_s$ et amplitude $\dfrac{m\,A}{2}$.

B.3. 0,75 pts

Donner les fréquences et les hauteurs des trois raies du spectre de u_s.

INDICE

Outil : le résultat de la question précédente, avec les valeurs de la partie B.

CORRIGÉ

Fréquences. $F_p - f_s = 193{,}5\,\text{kHz}$, $F_p = 198\,\text{kHz}$ et $F_p + f_s = 202{,}5\,\text{kHz}$.

Hauteurs. La raie centrale mesure $A = 6{,}0\,\text{V}$; chaque raie latérale mesure $\dfrac{m\,A}{2} = \dfrac{0{,}80 \times 6{,}0}{2} = 2{,}4\,\text{V}$.

Conclusion. Le spectre compte une raie de $6{,}0\,\text{V}$ à $198\,\text{kHz}$, encadrée par deux raies de $2{,}4\,\text{V}$ à $193{,}5\,\text{kHz}$ et $202{,}5\,\text{kHz}$.

B.4. 0,5 pts

Calculer la largeur de la bande de fréquences occupée.

INDICE

Outil : l'écart entre les raies latérales extrêmes.

CORRIGÉ

Calcul. $\Delta f = 2 f_s = 2 \times 4{,}5 = 9{,}0\,\text{kHz}$.

Conclusion. La station occupe une bande de $9{,}0\,\text{kHz}$, de $193{,}5\,\text{kHz}$ à $202{,}5\,\text{kHz}$.

B.5. 0,5 pts

Une autre station fictive voudrait émettre avec une porteuse de $205\,\text{kHz}$ et des sons de même fréquence maximale. Montrer que les deux émissions se gêneraient, puis donner la plus petite fréquence porteuse acceptable au-dessus de $198\,\text{kHz}$.

INDICE

Début : écris la bande de chaque station. **Point délicat :** deux bandes voisines ne doivent pas se chevaucher.

CORRIGÉ

Bandes. La première occupe $[193{,}5\,;\,202{,}5]$ en kilohertz, la seconde $[200{,}5\,;\,209{,}5]$.

Recouvrement. Les fréquences de $200{,}5$ à $202{,}5\,\text{kHz}$ appartiennent aux deux bandes : un récepteur accordé sur l'une entendrait aussi l'autre.

Écart minimal. Les porteuses doivent différer d'au moins $2 f_s = 9{,}0\,\text{kHz}$.

Conclusion. Les deux émissions se gêneraient ; plus petite porteuse acceptable, bandes simplement jointes en $202{,}5\,\text{kHz}$: $207\,\text{kHz}$.

Exercice 2 6 pts

Travaux pratiques : trapèze de modulation et détecteur

Lors d'une séance de travaux pratiques, des élèves étudient la modulation d'amplitude par un multiplieur, puis la démodulation de la tension obtenue. Le multiplieur, de constante k, reçoit la porteuse d'amplitude P_m et la tension $U_0 + s(t)$.

Document. Figure obtenue à l'oscilloscope en mode XY, les deux voies ayant la même sensibilité ; elle est graduée en volts.

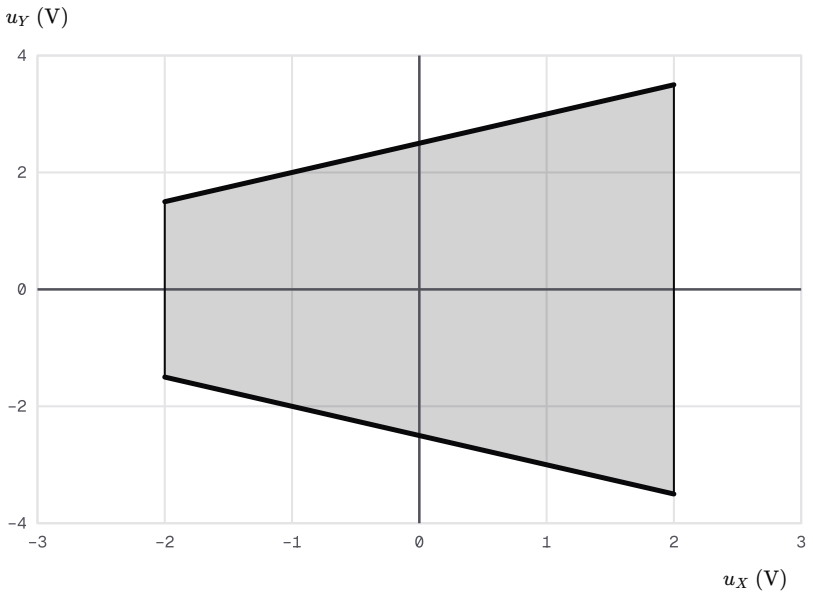


Figure observée en mode XY pendant la séance

A.1. 0,75 pts

Partie A : méthode du trapèze.

Proposer un protocole pour obtenir cette figure à partir du montage de modulation : tensions appliquées aux voies, réglage de l'oscilloscope, précaution sur les masses.

INDICE

Outil : la méthode du trapèze ; précise, pour chaque voie, la tension reçue, puis le réglage de l'oscilloscope.

CORRIGÉ

Branchements. La voie X reçoit la modulante $s(t)$, prise aux bornes du générateur basses fréquences ; la voie Y reçoit la tension modulée u_s, à la sortie du multiplieur.

Réglages. On passe l'oscilloscope en mode XY, avec la même sensibilité sur les deux voies, et on centre le spot.

Masses. Les masses du montage et de l'oscilloscope sont reliées en un même point.

Conclusion. Modulante en X, tension modulée en Y, mode XY et masse commune : la figure obtenue est le trapèze du document.

A.2. 0,5 pts

Lire les longueurs L et ℓ des deux côtés verticaux.

INDICE

Outil : lis les ordonnées des extrémités de chaque côté vertical.

CORRIGÉ

Grand côté. Il s'étend de $-3{,}5\ \mathrm{V}$ à $3{,}5\ \mathrm{V}$: $L \approx 7{,}0\ \mathrm{V}$.

Petit côté. Il s'étend de $-1{,}5\ \mathrm{V}$ à $1{,}5\ \mathrm{V}$: $\ell \approx 3{,}0\ \mathrm{V}$.

Conclusion. Les bases mesurent environ $7{,}0\ \mathrm{V}$ et $3{,}0\ \mathrm{V}$.

A.3. 0,75 pts

Les bases valent $L = 2U_{\max}$ et $\ell = 2U_{\min}$. Montrer que $m = \dfrac{L-\ell}{L+\ell}$, puis calculer m.

INDICE

Outil : l'expression du taux de modulation à partir de $U_{\max}$ et $U_{\min}$.

CORRIGÉ

Substitution. $U_{\max} = \dfrac{L}{2}$ et $U_{\min} = \dfrac{\ell}{2}$, donc $m = \dfrac{U_{\max}-U_{\min}}{U_{\max}+U_{\min}} = \dfrac{L-\ell}{L+\ell}$, le facteur $\dfrac{1}{2}$ se simplifiant.

Calcul.

$$m \approx \frac{7{,}0-3{,}0}{7{,}0+3{,}0}$$
$$m \approx 0{,}40$$

Conclusion. Le taux de modulation vaut environ $0{,}40$, nombre sans unité.

A.4. 0,75 pts

Lire sur l'axe horizontal l'amplitude S_m de la modulante, puis en déduire la tension de décalage U_0.

INDICE

Début : les côtés verticaux sont placés aux valeurs extrêmes de la modulante. **Ensuite :** relie m, S_m et U_0.

CORRIGÉ

Lecture. Les côtés verticaux sont à $u_X \approx -2{,}0\ \text{V}$ et $u_X \approx 2{,}0\ \text{V}$: $S_m \approx 2{,}0\ \text{V}$.

Décalage. $m = \dfrac{S_m}{U_0}$, donc $U_0 = \dfrac{S_m}{m} \approx \dfrac{2{,}0}{0{,}40} \approx 5{,}0\ \text{V}$.

Conclusion. La tension de décalage vaut environ $5{,}0\ \text{V}$.

A.5. 0,5 pts

Un élève abaisse la tension de décalage à $1{,}4\ \text{V}$ sans toucher à la modulante. Prévoir le nouveau taux de modulation et l'allure de la figure.

INDICE

Début : calcule le nouveau taux. **Ensuite :** cherche où les deux bords obliques se rejoignent.

CORRIGÉ

Taux. $m' = \dfrac{2{,}0}{1{,}4} \approx 1{,}4$, supérieur à 1 : surmodulation.

Allure. Les bords obliques ont pour équations $u_Y = \pm k\,P_m(u_X + U_0)$; ils se coupent en $u_X = -1{,}4\ \text{V}$, à l'intérieur de l'intervalle balayé.

Conclusion. Les bords obliques se croisent avant le côté gauche : la figure devient deux triangles opposés par un sommet, signe de la surmodulation.

B.1. 0,5 pts

Partie B : démodulation. On admet que la tension modulée a une porteuse de fréquence $F_p = 60\,\text{kHz}$ et une modulante de fréquence $f_s = 1{,}5\,\text{kHz}$. Le détecteur associe une diode à un résistor $R = 5{,}6\,\text{k}\Omega$ et à un condensateur $C = 33\,\text{nF}$ montés en parallèle ; il est suivi d'un filtre passe-haut.

Calculer les périodes T_p et T_s.

INDICE

Outil : une période est l'inverse de la fréquence correspondante.

CORRIGÉ

Porteuse. $T_p = \dfrac{1}{6{,}0 \times 10^{4}} \approx 1{,}7 \times 10^{-5}\ \text{s}$.

Modulante. $T_s = \dfrac{1}{1{,}5 \times 10^{3}} \approx 6{,}7 \times 10^{-4}\ \text{s}$.

Conclusion. $T_p \approx 17\ \mu\text{s}$ et $T_s \approx 0{,}67\ \text{ms}$.

B.2. 1 pts

Calculer la constante de temps du détecteur et vérifier qu'il convient.

INDICE

Outil : la condition d'une détection d'enveloppe de bonne qualité, en unités SI.

CORRIGÉ

Constante de temps.

$$\begin{aligned} RC &= 5{,}6 \times 10^{3} \\ &\quad \times 3{,}3 \times 10^{-8} \\ RC &\approx 1{,}8 \times 10^{-4}\,\mathrm{s} \end{aligned}$$

Comparaison. $RC \approx 11\,T_p$ et $RC < T_s$.

Conclusion. La condition $T_p \ll RC < T_s$, qui fixe un ordre de grandeur, est vérifiée : le détecteur convient.

B.3. 0,75 pts

Quel est le rôle du filtre passe-haut placé après le détecteur ?

INDICE

Outil : décompose la tension détectée, puis demande-toi ce que le condensateur en série laisse passer.

CORRIGÉ

Tension détectée. Elle suit à peu près l'enveloppe : une composante continue, plus une composante variable à la fréquence f_s.

Filtre. Son condensateur en série arrête la composante continue ; seule la composante variable atteint le résistor de sortie.

Conclusion. Le filtre passe-haut restitue une tension proportionnelle à la modulante, sans composante continue.

B.4. 0,5 pts

Un élève remplace le condensateur du détecteur par un condensateur de $470\,\mathrm{nF}$. Juger ce choix.

INDICE

Début : calcule la nouvelle constante de temps. **Ensuite :** compare-la à T_s.

CORRIGÉ

Constante de temps. $RC' = 5{,}6 \times 10^{3} \times 4{,}7 \times 10^{-7} \approx 2{,}6 \times 10^{-3}\,\mathrm{s}$, environ quatre fois T_s.

Effet. Le condensateur se décharge trop lentement : la tension détectée ne redescend pas quand l'enveloppe diminue.

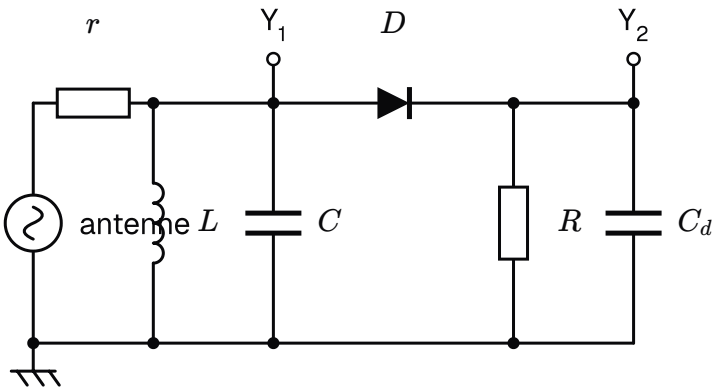
Conclusion. Ce choix est mauvais : le message restitué serait déformé et affaibli.

Exercice 3 6 pts

Capter une station en ondes moyennes

Une station de radio fictive, Radio Anfa Culture, émet en ondes moyennes avec une porteuse de fréquence $774\,\text{kHz}$. Un auditeur habite un village situé à $93\,\text{km}$ de l'émetteur. On prend $c = 3{,}00 \times 10^{8}\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Document. Étage d'accord et de détection du récepteur de l'auditeur. Le condensateur d'accord a une capacité C réglable de $50\,\text{pF}$ à $300\,\text{pF}$.



Étage d'accord et de détection du récepteur de l'auditeur ; le résistor r rend compte de l'antenne et de sa liaison

A.1. 0,75 pts

Partie A : l'onde captée.

Calculer la longueur d'onde de l'onde émise par la station, puis la durée de sa propagation jusqu'au village.

INDICE

Outil : le quotient de la célérité par la fréquence, exprimée en hertz. **Ensuite :** la durée de propagation à la célérité c, distance en mètres.

CORRIGÉ

Longueur d'onde.

$$\lambda = \frac{c}{F_p}$$
$$\lambda = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{7{,}74 \times 10^{5}}$$
$$\lambda \approx 3{,}88 \times 10^{2}\,\mathrm{m}$$

Durée de propagation.

$$\Delta t = \frac{d}{c}$$
$$\Delta t = \frac{9{,}3 \times 10^{4}}{3{,}00 \times 10^{8}}$$
$$\Delta t = 3{,}1 \times 10^{-4}\,\mathrm{s}$$

Conclusion. L'onde a une longueur d'onde d'environ $388\,\mathrm{m}$ et parvient au village en $0{,}31\,\mathrm{ms}$.

A.2. 0,5 pts

Citer deux propriétés de cette onde qui permettent de transmettre le programme sans câble entre l'émetteur et le village.

INDICE

Outil : la définition d'une onde électromagnétique.

CORRIGÉ

Propagation. Une onde électromagnétique se propage sans milieu matériel, dans le vide comme dans l'air.

Énergie. Elle transporte de l'énergie sans transporter de matière, ce qui permet de transmettre l'information.

Conclusion. L'onde atteint le village sans support matériel et lui apporte l'énergie qui porte le programme.

A.3. 0,5 pts

Quelle est la fréquence de la tension créée par cette onde dans l'antenne du récepteur ?

INDICE

Outil : le comportement d'une antenne réceptrice.

CORRIGÉ

Antenne réceptrice. Une onde électromagnétique de fréquence f engendre dans l'antenne un signal électrique de même fréquence.

Conclusion. La tension créée dans l'antenne par cette station a pour fréquence $774\,\mathrm{kHz}$.

B.1. 0,5 pts

Partie B : l'accord du récepteur. On admet que la porteuse de la station a pour fréquence $F_p = 774\,\mathrm{kHz}$ et que la bobine du document a pour inductance $L = 0{,}30\,\mathrm{mH}$.

Quel est le rôle du circuit formé par la bobine et le condensateur réglable ?

INDICE

Outil : le rôle sélectif du circuit bouchon.

CORRIGÉ

Sélection. L'antenne capte toutes les stations. La tension aux bornes du circuit bouchon n'est importante que pour la station dont la porteuse est voisine de sa fréquence propre.

Conclusion. Le circuit bouchon sélectionne une station ; le condensateur réglable permet de choisir laquelle.

B.2. 0,75 pts

Montrer que la capacité qui accorde le récepteur sur la station s'écrit

$$C = \frac{1}{4\pi^2 L\, F_p^2}$$

INDICE

Début : écris la condition d'accord avec la fréquence propre du circuit. **Ensuite :** élève au carré.

CORRIGÉ

Accord. Le récepteur est accordé quand $f_0 = F_p$, soit $\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = F_p$.

Carré. $\dfrac{1}{4\pi^2 LC} = F_p^2$, donc $4\pi^2 L\, C\, F_p^2 = 1$.

Conclusion. En isolant C, on obtient $C = \dfrac{1}{4\pi^2 L\, F_p^2}$.

B.3. 0,75 pts

Calculer cette capacité et vérifier qu'elle appartient à la plage du condensateur.

INDICE

Outil : la relation précédente en unités SI, inductance en henrys et fréquence en hertz.

CORRIGÉ

Valeurs. $L = 3{,}0 \times 10^{-4}\,\mathrm{H}$ et $F_p = 7{,}74 \times 10^{5}\,\mathrm{Hz}$.

Calcul.

$$C = \frac{1}{4\pi^2 L\, F_p^2}$$
$$C \approx 1{,}4 \times 10^{-10}\,\mathrm{F}$$

Conclusion. Il faut environ $1{,}4 \times 10^{2}\,\mathrm{pF}$, valeur comprise entre $50\,\mathrm{pF}$ et $300\,\mathrm{pF}$: la station peut être captée.

B.4. 0,5 pts

Le récepteur est accordé sur la station ; on admet que le détecteur vérifie la condition de détection. Décrire l'allure des tensions observées sur la voie 1 et sur la voie 2 de l'oscilloscope.

INDICE

Outil : repère, sur le schéma, l'étage aux bornes duquel chaque voie est branchée.

CORRIGÉ

Voie 1. Elle est branchée aux bornes du circuit bouchon : elle montre la tension modulée de la station, une oscillation rapide de fréquence $774\,\mathrm{kHz}$ dont l'enveloppe varie au rythme du son.

Voie 2. Elle est branchée aux bornes du dipôle formé par R et C_d : la tension détectée reste positive et suit à peu près l'enveloppe.

Conclusion. La voie 1 affiche la tension modulée sélectionnée, la voie 2 la tension détectée, image de l'enveloppe avec sa composante continue.

B.5. 0,75 pts

Calculer les fréquences extrêmes que ce récepteur peut capter.

INDICE

Outil : la fréquence propre du circuit bouchon, calculée pour chaque borne de la plage.

CORRIGÉ

Avec $300\,\mathrm{pF}$.

$$f_{\min} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\,C_{\max}}}$$
$$f_{\min} \approx 5{,}3 \times 10^{5}\,\mathrm{Hz}$$

Avec $50\,\mathrm{pF}$.

$$f_{\max} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\,C_{\min}}}$$
$$f_{\max} \approx 1{,}3 \times 10^{6}\,\mathrm{Hz}$$

Conclusion. Le récepteur capte les stations de $5{,}3 \times 10^{2}\,\mathrm{kHz}$ à $1{,}3\,\mathrm{MHz}$ environ, dans les ondes moyennes.

B.6. 1 pts

L'auditeur veut aussi écouter une station fictive de porteuse $1\,548\,\mathrm{kHz}$. Montrer que c'est impossible avec cette bobine. On la remplace par une bobine de $0{,}20\,\mathrm{mH}$: vérifier que les deux stations deviennent accessibles.

INDICE

Début : la fréquence est doublée ; regarde comment varie la capacité. **Ensuite :** refais les deux calculs avec la nouvelle bobine.

CORRIGÉ

Bobine de départ. C varie comme $\dfrac{1}{F_p^2}$: pour une fréquence double, il faut une capacité quatre fois plus petite, environ $35\,\mathrm{pF}$, sous la borne de $50\,\mathrm{pF}$.

Nouvelle bobine. Avec $0{,}20\,\mathrm{mH}$, la station de $1\,548\,\mathrm{kHz}$ demande environ $53\,\mathrm{pF}$, et celle de $774\,\mathrm{kHz}$ environ $2{,}1 \times 10^{2}\,\mathrm{pF}$.

Conclusion. La seconde station est inaccessible avec la première bobine ; avec la bobine de $0{,}20\,\mathrm{mH}$, les deux capacités sont dans la plage et les deux stations peuvent être captées.

Exercice 4 6 pts

Multiplieur d'une radio associative et surmodulation

Le modulateur d'une radio associative est un multiplieur de constante k, qui délivre $u_s = k\,u_1\,u_2$. Il reçoit la porteuse $u_2(t) = P_m\cos(2\pi F_p\,t)$ et la tension $u_1(t) = U_0 + S_m\cos(2\pi f_s\,t)$, où $U_0 > 0$ est une tension continue de décalage.

A.1. 1 pts

Partie A : expression de la tension modulée.

Montrer que $u_s(t) = A\,[1 + m\cos(2\pi f_s\,t)]\cos(2\pi F_p\,t)$, en exprimant A et m.

INDICE

Début : écris la relation du multiplieur avec les deux entrées. **Ensuite :** transforme le premier facteur pour retrouver la forme demandée.

CORRIGÉ

Relation du multiplieur. $u_s(t) = k\,[U_0 + S_m\cos(2\pi f_s\,t)]\,P_m\cos(2\pi F_p\,t)$.

Mise en facteur. Comme $U_0 \neq 0$, on pose $m = \dfrac{S_m}{U_0}$:

$$\begin{aligned} &U_0 + S_m\cos(2\pi f_s\,t) \\ &= U_0\,[1 + m\cos(2\pi f_s\,t)] \end{aligned}$$

Conclusion. $u_s(t) = A\,[1 + m\cos(2\pi f_s\,t)]\cos(2\pi F_p\,t)$, avec $A = k\,P_m\,U_0$ et $m = \dfrac{S_m}{U_0}$.

A.2. 0,75 pts

Les réglages sont $k = 0{,}40\ \mathrm{V^{-1}}$, $P_m = 5{,}0\ \mathrm{V}$, $U_0 = 1{,}5\ \mathrm{V}$ et $S_m = 1{,}2\ \mathrm{V}$. Calculer A et m.

INDICE

Outil : les expressions obtenues à la question précédente.

CORRIGÉ

Amplitude. $A = k\,P_m\,U_0 = 0{,}40 \times 5{,}0 \times 1{,}5 = 3{,}0\ \mathrm{V}$.

Taux. $m = \dfrac{S_m}{U_0} = \dfrac{1{,}2}{1{,}5} = 0{,}80$.

Conclusion. $A = 3{,}0\ \mathrm{V}$ et $m = 0{,}80$.

A.3. 0,5 pts

Justifier qu'il s'agit d'une modulation d'amplitude.

INDICE

Outil : la définition de la modulation d'amplitude, appliquée au facteur qui multiplie $\cos(2\pi F_p\,t)$.

CORRIGÉ

Amplitude. $U_m(t) = A + A\,m\cos(2\pi f_s\,t) = A + k\,P_m\,s(t)$, avec $s(t) = S_m\cos(2\pi f_s\,t)$.

Forme affine. $U_m(t) = a\,s(t) + b$ avec $a = k\,P_m = 2{,}0$ et $b = A = 3{,}0\ \mathrm{V}$, deux constantes.

Conclusion. L'amplitude est une fonction affine de la modulante : c'est une modulation d'amplitude.

A.4. 0,5 pts

Calculer les amplitudes extrêmes $U_{\max}$ et $U_{\min}$ de la tension modulée.

INDICE

Outil : les amplitudes extrêmes en fonction de A et de m.

CORRIGÉ

Plus grande. $U_{\max} = A(1+m) = 3{,}0 \times 1{,}80 = 5{,}4\,\text{V}$.

Plus petite. $U_{\min} = A(1-m) = 3{,}0 \times 0{,}20 = 0{,}60\,\text{V}$.

Conclusion. L'amplitude varie entre $0{,}60\,\text{V}$ et $5{,}4\,\text{V}$.

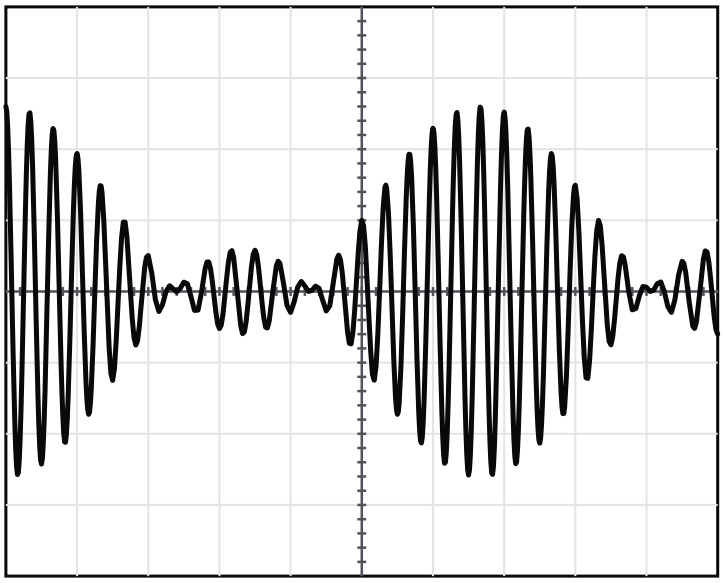
B.1. `0,5 pts`

Partie B : un réglage à corriger. Sur un second émetteur de la radio, on règle $k = 0{,}20\ \mathrm{V}^{-1}$, $P_m = 10\ \mathrm{V}$, $U_0 = 1{,}0\ \mathrm{V}$ et $S_m = 1{,}6\ \mathrm{V}$. On admet que la tension modulée a la forme $A\,[1 + m\cos(2\pi f_s\,t)]\cos(2\pi F_p\,t)$ avec

$$A = k\,P_m\,U_0$$
$$m = \frac{S_m}{U_0}$$

Document. Tension modulée observée : sensibilité $2\ \mathrm{V/div}$, balayage $0{,}2\ \mathrm{ms/div}$.

Décrire l'enveloppe observée. Que révèle-t-elle ?



Voie u_s : 2 V/div Balayage : 0,2 ms/div

Tension modulée du second émetteur

INDICE

Outil : compare la forme de l'enveloppe à celle d'une sinusoïde.

CORRIGÉ

Observation. Les bords supérieur et inférieur de l'enveloppe se croisent : elle forme des lobes séparés par des étranglements, au lieu d'une sinusoïde.

Conclusion. L'enveloppe ne reproduit pas la modulante : le document révèle une surmodulation.

B.2. 0,5 pts

Calculer le taux de modulation de ce second émetteur.

INDICE

Outil : l'expression de m rappelée dans la partie B.

CORRIGÉ

Calcul. $m = \dfrac{S_m}{U_0} = \dfrac{1{,}6}{1{,}0} = 1{,}6$.

Conclusion. Le taux vaut $1{,}6$, supérieur à 1 : le calcul confirme la surmodulation.

B.3. 0,75 pts

Montrer que le facteur $A\,[1 + m\cos(2\pi f_s\,t)]$ prend des valeurs négatives, et calculer sa valeur la plus petite.

INDICE

Début : encadre le cosinus. **Ensuite :** calcule A avec les réglages de la partie B.

CORRIGÉ

Minimum. Le cosinus vaut au plus petit -1 : le facteur vaut au plus petit $A(1 - m)$.

Valeurs. $A = 0{,}20 \times 10 \times 1{,}0 = 2{,}0\,\text{V}$, donc $A(1 - m) = 2{,}0 \times (1 - 1{,}6) = -1{,}2\,\text{V}$.

Conclusion. Le facteur descend jusqu'à $-1{,}2\,\text{V}$: il change de signe, ce qui déforme l'enveloppe.

B.4. 0,75 pts

Sans changer la modulante, proposer une valeur de U_0 qui donne un taux de modulation de $0{,}50$.

INDICE

Outil : la condition d'absence de surmodulation, puis l'expression de m résolue pour U_0.

CORRIGÉ

Condition. Il faut $U_0 > S_m = 1{,}6\,\text{V}$.

Valeur. $U_0 = \dfrac{S_m}{m} = \dfrac{1{,}6}{0{,}50} = 3{,}2\,\text{V}$, qui respecte la condition.

Conclusion. Il faut porter la tension de décalage à $3{,}2\,\text{V}$.

B.5. 0,75 pts

Calculer, pour ce nouveau réglage, l'amplitude A et les amplitudes extrêmes de la tension modulée.

INDICE

Outil : les expressions de A, de $U_{\max}$ et de $U_{\min}$, avec $U_0 = 3{,}2\,\text{V}$.

CORRIGÉ

Amplitude. $A = 0{,}20 \times 10 \times 3{,}2 = 6{,}4\,\text{V}$.

Extrêmes. $U_{\max} = 6{,}4 \times 1{,}50 = 9{,}6\,\text{V}$ et $U_{\min} = 6{,}4 \times 0{,}50 = 3{,}2\,\text{V}$.

Conclusion. Après correction, l'amplitude varie entre $3{,}2\,\text{V}$ et $9{,}6\,\text{V}$, autour de $A = 6{,}4\,\text{V}$.

Exercice 5 6 pts

Démodulation complète : détecteur puis filtre

Au laboratoire, on démodule la tension modulée fournie par un émetteur de travaux pratiques : porteuse de fréquence $F_p = 100\,\text{kHz}$, modulante de fréquence $f_s = 5{,}0\,\text{kHz}$.

Le détecteur associe une diode à un résistor $R = 12\,\text{k}\Omega$ et à un condensateur C montés en parallèle. Un filtre passe-haut, formé d'un condensateur C' en série et d'un résistor R', le suit.

A.1. 0,5 pts

Partie A : le détecteur d'enveloppe.

Quel est le rôle de la diode dans le détecteur ?

INDICE

Outil : une diode idéalisée ne conduit que dans un sens.

CORRIGÉ

Diode. Elle ne laisse passer que les alternances positives de la tension modulée.

Conclusion. La diode supprime les alternances négatives ; le dipôle RC peut alors conserver les sommets positifs.

A.2. 0,5 pts

Calculer les périodes T_p de la porteuse et T_s de la modulante.

INDICE

Outil : une période est l'inverse de la fréquence, en hertz.

CORRIGÉ

Porteuse. $T_p = \dfrac{1}{1{,}00 \times 10^{5}} = 1{,}00 \times 10^{-5}\,\text{s}$.

Modulante. $T_s = \dfrac{1}{5{,}0 \times 10^{3}} = 2{,}0 \times 10^{-4}\,\text{s}$.

Conclusion. $T_p = 10\,\mu\text{s}$ et $T_s = 0{,}20\,\text{ms}$.

A.3. 0,75 pts

On dispose de condensateurs de $0{,}39\,\mathrm{nF}$, $10\,\mathrm{nF}$ et $82\,\mathrm{nF}$. Lequel faut-il choisir ?

INDICE

Début : calcule les trois constantes de temps. **Ensuite :** applique la condition d'une détection de bonne qualité.

CORRIGÉ

Constantes de temps. Avec $R = 1{,}2 \times 10^{4}\,\Omega$: $4{,}7 \times 10^{-6}\,\mathrm{s}$, $1{,}2 \times 10^{-4}\,\mathrm{s}$ et $9{,}8 \times 10^{-4}\,\mathrm{s}$.

Comparaison. La première est inférieure à T_p ; la troisième dépasse T_s ; la deuxième vaut $12\,T_p$ et reste sous T_s.

Conclusion. Il faut choisir le condensateur de $10\,\mathrm{nF}$, qui vérifie $T_p \ll RC < T_s$, condition d'ordre de grandeur.

A.4. 0,75 pts

Décrire la tension détectée si l'on utilisait le condensateur de $82\,\mathrm{nF}$.

INDICE

Outil : compare la durée de décharge du condensateur à la durée d'une baisse de l'enveloppe.

CORRIGÉ

Constante de temps. $RC \approx 9{,}8 \times 10^{-4}\,\mathrm{s}$, près de cinq fois T_s.

Effet. Pendant les baisses de l'enveloppe, la décharge est trop lente : la tension détectée reste au-dessus de l'enveloppe et ne la rejoint qu'aux sommets.

Conclusion. La tension détectée varierait beaucoup moins que l'enveloppe : le message serait affaibli et déformé.

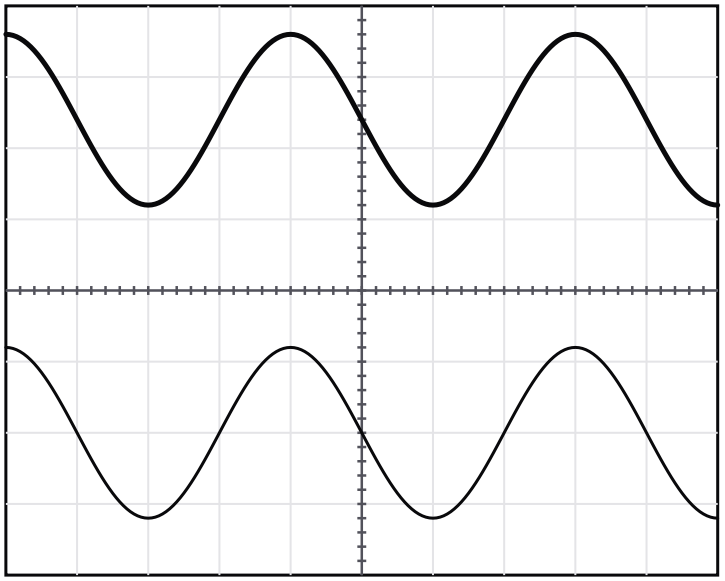
B.1. 0,5 pts

Partie B : le filtre passe-haut. On observe simultanément la tension u_D à la sortie du détecteur et la tension u_F aux bornes du résistor R'.

Le détecteur vérifie la condition de détection ; sa tension est représentée par son modèle idéal, l'enveloppe. Ondulations et léger retard sur les descentes ne sont pas tracés.

Document. Voie 1 et voie 2 : sensibilité $1\,\mathrm{V/div}$; zéro de la voie 1 au centre de l'écran, zéro de la voie 2 deux divisions au-dessous ; balayage $0{,}05\,\mathrm{ms/div}$.

Identifier la voie qui affiche u_D et celle qui affiche u_F.



Voie Y_1 : 1 V/div — Voie Y_2 : 1 V/div, zéro 2 divisions au-dessous du centre — Balayage : 0,05 ms/div

Tensions à la sortie du détecteur et à la sortie du filtre

INDICE

Outil : l'une des deux tensions garde une composante continue.

CORRIGÉ

Voie 1. Elle reste toujours au-dessus de son zéro : elle contient une composante continue. C'est u_D.

Voie 2. Elle oscille de part et d'autre de son zéro, sans composante continue. C'est u_F.

Conclusion. La voie 1 affiche la tension détectée u_D, la voie 2 la tension filtrée u_F.

B.2. 1 pts

Lire, sur la voie 1, la composante continue U_c et l'amplitude de la composante variable de u_D ; lire, sur la voie 2, l'amplitude et la période de u_F.

INDICE

Début : la composante continue est la valeur moyenne entre le plus haut et le plus bas de la voie 1.

Ensuite : compte les divisions d'une période sur la voie 2.

CORRIGÉ

Voie 1. u_D varie entre $1{,}2$ et $3{,}6$ divisions : $U_c \approx 2{,}4\,\mathrm{V}$ et l'amplitude variable vaut $\dfrac{3{,}6-1{,}2}{2} \approx 1{,}2\,\mathrm{V}$.

Voie 2. u_F varie de $-1{,}2$ à $1{,}2$ division autour de son zéro : amplitude $1{,}2\,\mathrm{V}$; une période occupe 4 divisions, soit $0{,}20\,\mathrm{ms}$.

Conclusion. $U_c \approx 2{,}4\,\mathrm{V}$; la composante variable et u_F ont la même amplitude, $1{,}2\,\mathrm{V}$, et une période de $0{,}20\,\mathrm{ms}$.

B.3. 1 pts

La tension détectée s'écrit $u_D(t) = A + A\,m\cos(2\pi f_s\,t)$. Montrer que le taux de modulation de la tension reçue vaut $m \approx 0{,}50$.

INDICE

Outil : identifie chaque terme de u_D avec une grandeur lue à la question précédente.

CORRIGÉ

Identification. La composante continue est $A \approx 2{,}4\,\mathrm{V}$; l'amplitude de la composante variable est $A\,m \approx 1{,}2\,\mathrm{V}$.

Taux. $m = \dfrac{A\,m}{A} \approx \dfrac{1{,}2}{2{,}4} \approx 0{,}50$.

Conclusion. La tension reçue a un taux de modulation d'environ $0{,}50$, sans surmodulation.

B.4. 0,5 pts

Expliquer pourquoi on place ce filtre avant l'amplificateur et le haut-parleur.

INDICE

Outil : demande-toi ce que le haut-parleur ferait de chacune des deux composantes de u_D.

CORRIGÉ

Composante continue. Elle vaut A et ne porte aucune information : elle ne ferait que décaler la membrane du haut-parleur.

Composante variable. Elle a la fréquence et la forme de la modulante : c'est le message.

Conclusion. Le filtre passe-haut ne transmet que le message à l'amplificateur et au haut-parleur.

B.5. 0,5 pts

Un élève propose de retirer le condensateur C' et de relier directement le résistor R' à la sortie du détecteur. Discuter cette proposition.

INDICE

Outil : reprends le rôle de chacun des deux éléments du filtre passe-haut.

CORRIGÉ

Sans C'. Le résistor R' serait soumis à toute la tension u_D, composante continue comprise.

Effet. La voie 2 afficherait la même courbe que la voie 1 : la composante de $2{,}4\,\mathrm{V}$ ne serait plus éliminée.

Conclusion. La proposition est à rejeter : c'est le condensateur en série qui bloque la composante continue.