BURHAN

Ondes électromagnétiques et modulation d'amplitude : exercices, entraînement

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

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

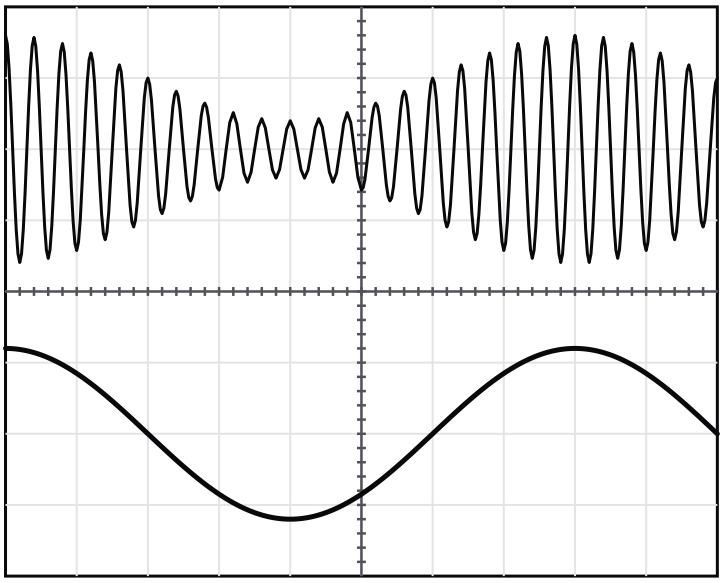
Chapitre	Palier	Exercices
Ondes électromagnétiques et modulation d'amplitude	Entraînement	7

Exercice 1

Montage de modulation et lecture des deux voies

Au laboratoire, on dispose de deux générateurs basses fréquences, d'une source de tension continue réglable, d'un multiplieur de constante $k = 0{,}25\ \mathrm{V}^{-1}$ et d'un oscilloscope à deux voies. La porteuse a pour amplitude $P_m = 4{,}0\ \mathrm{V}$.

Document. Voie 1 : tension $u_1 = U_0 + s(t)$, sensibilité $1\ \mathrm{V/div}$, zéro placé sur le bord inférieur de l'écran. Voie 2 : tension modulée u_s, sensibilité $2\ \mathrm{V/div}$, zéro placé deux divisions au-dessus de l'axe central. Balayage : $0{,}1\ \mathrm{ms/div}$.



Voie u_1 : 1 V/div, zéro 4 divisions au-dessous du centre — Voie u_s : 2 V/div, zéro 2 divisions au-dessus du centre

Balayage : 0,1 ms/div

Tension appliquée au multiplieur et tension modulée

1.

Proposer le montage qui permet d'obtenir ces deux courbes : rôle de chaque générateur et de la source continue, entrées du multiplieur, branchements des deux voies de l'oscilloscope.

INDICE

Outil : la tension u_1 est une somme de deux tensions. **Point délicat :** toutes les tensions sont mesurées par rapport à une même masse.

CORRIGÉ

Sources. Un premier générateur délivre la porteuse $p(t)$, de haute fréquence. Le second délivre la modulante $s(t)$, mise en série avec la source continue U_0 pour former $u_1 = U_0 + s(t)$.

Multiplieur. u_1 est appliquée sur une entrée, $p(t)$ sur l'autre ; la sortie délivre $u_s = k\,u_1\,p$.

Oscilloscope. La voie 1 est reliée à l'entrée qui reçoit u_1, la voie 2 à la sortie du multiplieur, la masse de l'oscilloscope à la masse commune.

Conclusion. Le montage associe deux générateurs, une source continue, le multiplieur et l'oscilloscope, tous reliés à une masse commune.

2.

À partir de la voie 1, déterminer la tension de décalage U_0 et l'amplitude S_m de la modulante.

INDICE

Début : lis les valeurs la plus grande et la plus petite de u_1, depuis son zéro. **Ensuite :** u_1 oscille autour de U_0.

CORRIGÉ

Lectures. u_1 varie entre $0{,}8$ et $3{,}2$ divisions au-dessus de son zéro, soit entre $0{,}8\ \mathrm{V}$ et $3{,}2\ \mathrm{V}$.

Décalage. $U_0 \approx \dfrac{3{,}2 + 0{,}8}{2} \approx 2{,}0\ \mathrm{V}$.

Amplitude. $S_m \approx \dfrac{3{,}2 - 0{,}8}{2} \approx 1{,}2\ \mathrm{V}$.

Conclusion. On lit $U_0 \approx 2{,}0\ \mathrm{V}$ et $S_m \approx 1{,}2\ \mathrm{V}$.

3.

À partir de la voie 2, déterminer $U_{\max}$, $U_{\min}$, puis le taux de modulation m. Comparer à $\dfrac{S_m}{U_0}$.

INDICE

Outil : mesure l'enveloppe à partir du zéro de la voie 2, avec sa propre sensibilité.

CORRIGÉ

Lectures. Les sommets extrêmes sont à $1{,}6$ et $0{,}4$ division du zéro de la voie 2 : $U_{\max} \approx 1{,}6 \times 2 \approx 3{,}2\,\text{V}$ et $U_{\min} \approx 0{,}4 \times 2 \approx 0{,}8\,\text{V}$.

Taux.

$$m \approx \frac{3{,}2 - 0{,}8}{3{,}2 + 0{,}8}$$
$$m \approx 0{,}60$$

Comparaison. $\dfrac{S_m}{U_0} \approx \dfrac{1{,}2}{2{,}0} \approx 0{,}60$.

Conclusion. Le taux de modulation, sans unité, vaut environ $0{,}60$, en accord avec le rapport $\dfrac{S_m}{U_0}$.

4.

Calculer $A = k\,P_m\,U_0$ et vérifier ce résultat sur la voie 2.

INDICE

Outil : sur l'enveloppe, A est la moyenne des deux amplitudes extrêmes.

CORRIGÉ

Calcul. $A = 0{,}25 \times 4{,}0 \times 2{,}0 = 2{,}0\,\text{V}$.

Vérification. $\dfrac{U_{\max} + U_{\min}}{2} \approx \dfrac{3{,}2 + 0{,}8}{2} \approx 2{,}0\,\text{V}$.

Conclusion. Les deux valeurs concordent : $A \approx 2{,}0\,\text{V}$.

5.

Déterminer la fréquence f_s de la modulante et la fréquence F_p de la porteuse. La condition $F_p \gg f_s$ est-elle remplie ?

INDICE

Début : une période de u_1 occupe un nombre entier de divisions. **Ensuite :** compte les oscillations de u_s pendant cette période.

CORRIGÉ

Modulante. Une période de u_1 occupe 8 divisions : $T_s \approx 8 \times 0{,}1 \approx 0{,}80\,\text{ms}$, d'où $f_s = \dfrac{1}{T_s} \approx 1{,}25 \times 10^{3}\,\text{Hz}$.

Porteuse. On compte 20 oscillations de u_s pendant T_s : $F_p \approx 20\,f_s \approx 25\,\text{kHz}$.

Conclusion. $f_s \approx 1{,}25\,\text{kHz}$ et $F_p \approx 25\,\text{kHz}$: la porteuse est vingt fois plus rapide, la condition $F_p \gg f_s$ est remplie.

6.

Quelle condition la tension de décalage doit-elle respecter pour éviter la surmodulation avec cette modulante ?

INDICE

Outil : la condition d'absence de surmodulation, écrite avec U_0 et S_m.

CORRIGÉ

Condition. Il faut $m = \dfrac{S_m}{U_0} < 1$, soit $U_0 > S_m$.

Conclusion. Avec $S_m \approx 1{,}2\ \mathrm{V}$, la tension de décalage doit rester supérieure à $1{,}2\ \mathrm{V}$.

Exercice 2

Influence de la tension de décalage sur le taux

Un club scientifique construit l'émetteur d'une radio scolaire. Le multiplieur a pour constante $k = 0{,}50\,\mathrm{V}^{-1}$, la porteuse a pour amplitude $P_m = 2{,}0\,\mathrm{V}$ et la modulante a pour amplitude $S_m = 1{,}8\,\mathrm{V}$. On change la tension de décalage U_0 et on relève les amplitudes extrêmes de la tension modulée.

Document. Relevés pour quatre tensions de décalage.

U_0 (V)	$U_{\max}$ (V)	$U_{\min}$ (V)
$1{,}5$	$3{,}3$	enveloppe déformée
$2{,}0$	$3{,}8$	$0{,}20$
$3{,}0$	$4{,}8$	$1{,}2$
$4{,}5$	$6{,}3$	$2{,}7$

1.

Sans surmodulation, $U_{\max} = A(1+m)$ et $U_{\min} = A(1-m)$. Montrer que $m = \dfrac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}}$.

INDICE

Début : cherche une combinaison des deux amplitudes où m disparaît, puis une autre où il reste.

CORRIGÉ

Différence. $U_{\max} - U_{\min} = A(1+m) - A(1-m) = 2A\,m$.

Somme. $U_{\max} + U_{\min} = A(1+m) + A(1-m) = 2A$.

Quotient. $\dfrac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} = \dfrac{2A\,m}{2A} = m$, car $A \neq 0$.

Conclusion. Le taux de modulation s'écrit bien $m = \dfrac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}}$.

2.

Calculer m pour les trois dernières lignes du tableau.

INDICE

Outil : la relation de la question 1, ligne par ligne.

CORRIGÉ

Ligne $U_0 = 2{,}0\,\mathrm{V}$**.** $m = \dfrac{3{,}8 - 0{,}20}{3{,}8 + 0{,}20} = 0{,}90$.

Ligne $U_0 = 3{,}0\,\mathrm{V}$**.** $m = \dfrac{4{,}8 - 1{,}2}{4{,}8 + 1{,}2} = 0{,}60$.

Ligne $U_0 = 4{,}5\,\mathrm{V}$**.** $m = \dfrac{6{,}3 - 2{,}7}{6{,}3 + 2{,}7} = 0{,}40$.

Conclusion. Le taux vaut $0{,}90$, puis $0{,}60$, puis $0{,}40$: il diminue quand U_0 augmente.

3.

Vérifier que ces valeurs sont égales à $\dfrac{S_m}{U_0}$.

INDICE

Outil : l'expression du taux de modulation d'un multiplieur.

CORRIGÉ

Calculs. $\dfrac{1{,}8}{2{,}0} = 0{,}90$; $\dfrac{1{,}8}{3{,}0} = 0{,}60$; $\dfrac{1{,}8}{4{,}5} = 0{,}40$.

Conclusion. Les trois valeurs coïncident avec celles de la question 2 : le relevé confirme $m = \dfrac{S_m}{U_0}$.

4.

Pour la première ligne du tableau, l'enveloppe est déformée. Expliquer ce constat par le calcul de m.

INDICE

Outil : compare le taux de modulation à 1.

CORRIGÉ

Taux. $m = \dfrac{S_m}{U_0} = \dfrac{1{,}8}{1{,}5} = 1{,}2$, supérieur à 1.

Interprétation. Le facteur $A\,[1 + m\cos(2\pi f_s\, t)]$ devient négatif à certains instants : l'enveloppe ne reproduit plus la modulante.

Conclusion. Pour $U_0 = 1{,}5\ \text{V}$, il y a surmodulation, ce qui explique l'enveloppe déformée.

5.

Le club veut un taux de modulation de $0{,}75$. Quelle tension de décalage faut-il choisir ? Calculer alors A, puis les amplitudes extrêmes attendues.

INDICE

Début : isole U_0 dans l'expression du taux. **Ensuite :** reprends les expressions de $U_{\max}$ et de $U_{\min}$.

CORRIGÉ

Décalage. $U_0 = \dfrac{S_m}{m} = \dfrac{1{,}8}{0{,}75} = 2{,}4\ \text{V}$.

Amplitude. $A = k\,P_m\,U_0 = 0{,}50 \times 2{,}0 \times 2{,}4 = 2{,}4\ \text{V}$.

Extrêmes. $U_{\max} = A(1+m) = 2{,}4 \times 1{,}75 = 4{,}2\ \text{V}$ et $U_{\min} = A(1-m) = 2{,}4 \times 0{,}25 = 0{,}60\ \text{V}$.

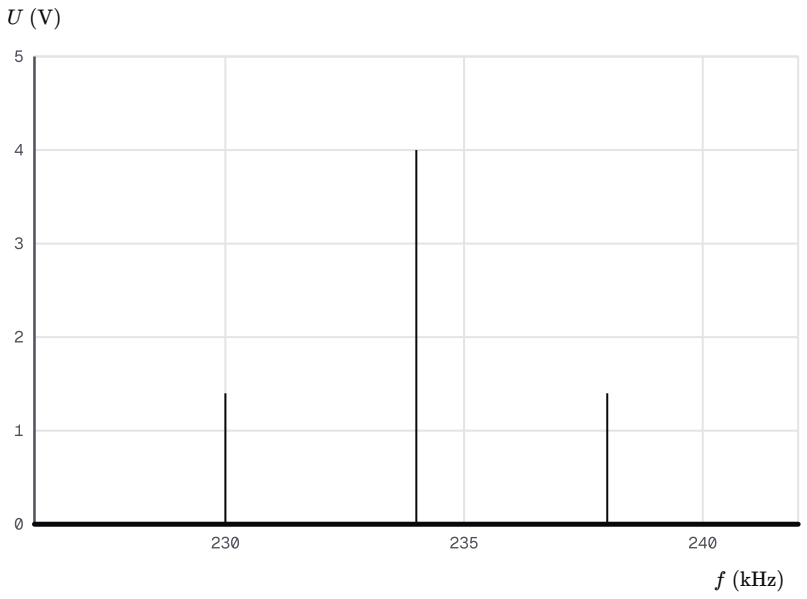
Conclusion. Il faut régler $U_0 = 2{,}4\ \text{V}$; l'amplitude varie alors de $0{,}60\ \text{V}$ à $4{,}2\ \text{V}$, autour de $A = 2{,}4\ \text{V}$.

Exercice 3

Exploiter le spectre d'une station en grandes ondes

Un analyseur de spectre est branché à la sortie du modulateur d'une station fictive, Radio Tafilalet, qui émet en grandes ondes.

Document. Spectre de fréquences de la tension modulée u_s.



Spectre de la tension modulée de la station

1.

Lire la fréquence F_p de la porteuse et la fréquence f_s de la modulante.

INDICE

Outil : la raie centrale correspond à la porteuse ; l'écart entre deux raies voisines correspond à la modulante.

CORRIGÉ

Porteuse. La raie centrale est à $F_p \approx 234\,\text{kHz}$.

Modulante. Les raies latérales sont à $230\,\text{kHz}$ et $238\,\text{kHz}$: $f_s \approx 238 - 234 \approx 4\,\text{kHz}$.

Conclusion. On lit $F_p \approx 234\,\text{kHz}$ et $f_s \approx 4\,\text{kHz}$.

2.

Lire les hauteurs des raies et en déduire l'amplitude A et le taux de modulation m.

INDICE

Outil : la raie centrale a pour hauteur A, chaque raie latérale $\dfrac{m\,A}{2}$.

CORRIGÉ

Lectures. La raie centrale mesure $4{,}0\ \text{V}$, chaque raie latérale $1{,}4\ \text{V}$: $A \approx 4{,}0\ \text{V}$.

Taux.

$$m = \frac{2 \times 1{,}4}{A}$$
$$m \approx \frac{2{,}8}{4{,}0} \approx 0{,}70$$

Conclusion. $A \approx 4{,}0\ \text{V}$ et $m \approx 0{,}70$, taux sans unité : la modulation est sans surmodulation.

3.

Écrire l'expression de la tension modulée $u_s(t)$, en volts et en secondes.

INDICE

Outil : la forme $u_s(t) = A\,[1 + m\cos(2\pi f_s\,t)]\cos(2\pi F_p\,t)$, avec les fréquences en hertz.

CORRIGÉ

Valeurs. $A \approx 4{,}0\ \text{V}$, $m \approx 0{,}70$, $f_s \approx 4 \times 10^{3}\ \text{Hz}$ et $F_p \approx 2{,}34 \times 10^{5}\ \text{Hz}$.

Expression.

$$\begin{aligned} u_s(t) = 4{,}0\,\big[1 + 0{,}70 \\ \times \cos(8 \times 10^{3}\pi\,t)\big] \\ \times \cos(4{,}68 \times 10^{5}\pi\,t) \end{aligned}$$

Conclusion. La tension modulée s'écrit ainsi, avec $2\pi f_s = 8 \times 10^{3}\pi$ et $2\pi F_p = 4{,}68 \times 10^{5}\pi$.

4.

Quelle largeur de bande de fréquences la station occupe-t-elle ?

INDICE

Outil : l'écart entre les deux raies latérales.

CORRIGÉ

Calcul. $\Delta f = 2f_s \approx 238 - 230 \approx 8\,\text{kHz}$.

Conclusion. La station occupe une bande d'environ $8\,\text{kHz}$, de $230\,\text{kHz}$ à $238\,\text{kHz}$.

5.

Une autre station fictive émet avec une porteuse de $243\,\mathrm{kHz}$ et module des sons de même fréquence maximale f_s. Les deux spectres se recouvrent-ils ? Quel écart minimal faut-il entre les deux porteuses ?

INDICE

Début : écris la bande occupée par chaque station. **Ensuite :** compare la borne haute de l'une à la borne basse de l'autre.

CORRIGÉ

Bandes. La première occupe $[230\,;\,238]$ en kilohertz, la seconde $[239\,;\,247]$.

Comparaison. $238\,\mathrm{kHz} < 239\,\mathrm{kHz}$: les deux bandes ne se recouvrent pas.

Écart minimal. Chaque bande s'étend de f_s de part et d'autre de sa porteuse : les porteuses doivent différer d'au moins $2f_s \approx 8\,\mathrm{kHz}$.

Conclusion. Les spectres ne se recouvrent pas, puisque $243 - 234 = 9\,\mathrm{kHz}$ dépasse l'écart minimal de $8\,\mathrm{kHz}$.

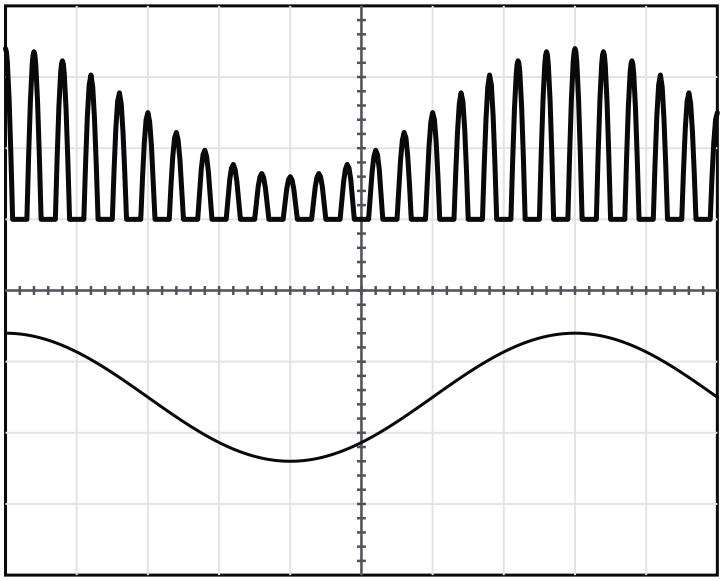
Exercice 4

Juger deux détecteurs d'enveloppe

Le récepteur d'une télécommande de portail reçoit une tension modulée de porteuse $F_p = 50\,\mathrm{kHz}$ et de modulante $f_s = 2{,}5\,\mathrm{kHz}$. Pour la détection, on associe une diode et un dipôle RC parallèle, avec $R = 33\,\mathrm{k\Omega}$. On essaie deux condensateurs : $C_1 = 0{,}10\,\mathrm{nF}$, puis $C_2 = 6{,}8\,\mathrm{nF}$.

Document. Les deux tensions détectées, sur le même écran : voie 1 à $1\,\mathrm{V/div}$, zéro une division au-dessus du centre ; voie 2 à $1\,\mathrm{V/div}$, zéro trois divisions au-dessous du centre ; balayage $0{,}05\,\mathrm{ms/div}$.

Chaque tracé est un modèle. Voie 1 : redressement simple, décharge du condensateur après chaque sommet non tracée. Voie 2 : enveloppe idéale, ondulations non tracées.



Voie u_{D1} : 1 V/div, zéro 1 division au-dessus du centre — Voie u_{D2} : 1 V/div, zéro 3 divisions au-dessous du centre
Balayage : 0,05 ms/div

Tensions détectées avec les deux condensateurs, modèles idéalisés

1.

Calculer la période T_p de la porteuse et la période T_s de la modulante.

INDICE

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

CORRIGÉ

Porteuse. $T_p = \dfrac{1}{5{,}0 \times 10^{4}} = 2{,}0 \times 10^{-5}\,\mathrm{s}$.

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

Conclusion. $T_p = 20\,\mu\mathrm{s}$ et $T_s = 0{,}40\,\mathrm{ms}$.

2.

Calculer la constante de temps de chaque détecteur.

INDICE

Point délicat : R en ohms et C en farads.

CORRIGÉ

Avec C_1. $\tau_1 = 3{,}3 \times 10^{4} \times 1{,}0 \times 10^{-10} = 3{,}3 \times 10^{-6}\,\text{s}$.

Avec C_2. $\tau_2 = 3{,}3 \times 10^{4} \times 6{,}8 \times 10^{-9} \approx 2{,}2 \times 10^{-4}\,\text{s}$.

Conclusion. $\tau_1 \approx 3{,}3\,\mu\text{s}$ et $\tau_2 \approx 0{,}22\,\text{ms}$.

3.

Associer chaque voie de l'écran à un condensateur. Justifier à l'aide des constantes de temps.

INDICE

Outil : la condition d'une détection de bonne qualité. **Ensuite :** relie chaque cas à l'allure d'une voie.

CORRIGÉ

Condensateur C_1. $\tau_1 < T_p$: le condensateur se décharge avant l'alternance suivante, la tension retombe à zéro entre deux sommets. C'est la voie 1.

Condensateur C_2. $\tau_2 \approx 11\,T_p$ et $\tau_2 < T_s$: la tension reste proche des sommets et suit à peu près l'enveloppe. C'est la voie 2.

Modèle. La condition est d'ordre de grandeur : avec F_p vingt fois f_s seulement, la tension réelle traîne un peu sur les descentes, et l'écran trace le modèle idéal.

Conclusion. La voie 1 correspond à C_1, mal choisi, et la voie 2 à C_2, qui vérifie $T_p \ll RC < T_s$.

4.

On remplace C_2 par un condensateur de $1{,}0\,\mu\text{F}$. Prévoir l'allure de la tension détectée.

INDICE

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

CORRIGÉ

Constante de temps. $\tau_3 = 3{,}3 \times 10^{4} \times 1{,}0 \times 10^{-6} = 3{,}3 \times 10^{-2}\,\text{s}$, bien supérieure à T_s.

Allure. Le condensateur se décharge trop lentement. Quand l'enveloppe baisse, il garde sa charge et la tension détectée stagne près du plus grand sommet atteint.

Conclusion. La tension détectée ne suit plus l'enveloppe : le message restitué serait très affaibli et déformé.

5.

Lire, sur la voie 2, la composante continue de la tension détectée. Quel filtre faut-il placer ensuite, et que délivre-t-il ?

INDICE

Outil : la composante continue est la valeur autour de laquelle la voie 2 oscille.

CORRIGÉ

Lecture. La voie 2 varie entre $0{,}6$ et $2{,}4$ divisions au-dessus de son zéro : sa composante continue vaut $\dfrac{2{,}4+0{,}6}{2} \approx 1{,}5\ \mathrm{V}$.

Filtre. Un filtre passe-haut, condensateur en série puis résistor, bloque cette composante continue.

Conclusion. Après le filtre passe-haut reste une tension sinusoïdale d'amplitude $0{,}9\ \mathrm{V}$ environ, de fréquence $2{,}5\ \mathrm{kHz}$, image de la modulante.

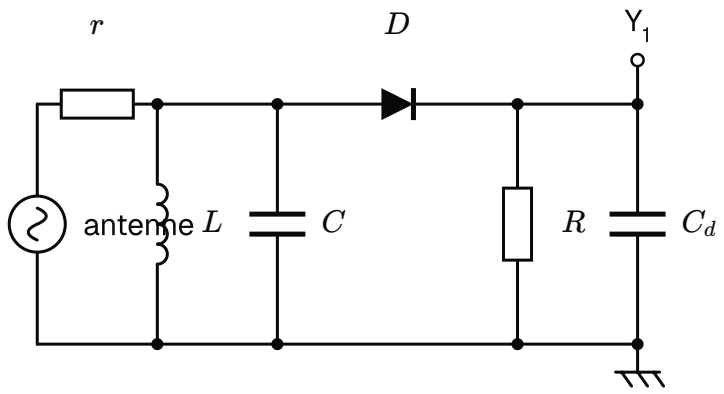
Exercice 5

Plage d'accord du récepteur d'un voilier

Le récepteur d'un voilier doit capter les bulletins de météo marine de trois émetteurs côtiers fictifs, de porteuses $171\,\text{kHz}$, $252\,\text{kHz}$ et $345\,\text{kHz}$.

Son circuit d'accord associe une bobine d'inductance $L = 2{,}0\,\text{mH}$ et un condensateur de capacité C réglable de $120\,\text{pF}$ à $480\,\text{pF}$. Le détecteur comporte une diode, un résistor $R = 47\,\text{k}\Omega$ et un condensateur $C_d = 1{,}0\,\text{nF}$.

Document. Schéma de l'étage de réception.



Étage de réception du poste du voilier ; le résistor r représente l'antenne et sa liaison

1.

Indiquer le rôle de l'antenne, du circuit formé par L et C, et de l'ensemble formé par la diode, R et C_d.

INDICE

Outil : les constituants d'un récepteur radio AM, dans l'ordre du schéma.

CORRIGÉ

Antenne. Elle capte les ondes de tous les émetteurs et les transforme en tensions de mêmes fréquences.

Circuit bouchon. La bobine et le condensateur en parallèle sélectionnent la station dont la porteuse est égale à leur fréquence propre.

Détecteur. La diode et le dipôle RC parallèle extraient l'enveloppe de la tension modulée.

Conclusion. L'antenne capte, le circuit bouchon sélectionne, le détecteur commence la démodulation.

2.

Calculer les fréquences propres extrêmes du circuit bouchon.

INDICE

Début : écris f_0 pour chaque borne de la plage. **Point délicat :** la plus grande capacité donne la plus petite fréquence.

CORRIGÉ

Capacité de $480\,\mathrm{pF}$**.**

$$f_{\min} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\,C_{\max}}}$$
$$f_{\min} \approx 1{,}6 \times 10^{5}\,\mathrm{Hz}$$

Capacité de $120\,\mathrm{pF}$**.**

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

Conclusion. Le récepteur s'accorde de $1{,}6 \times 10^{2}\,\mathrm{kHz}$ à $3{,}2 \times 10^{2}\,\mathrm{kHz}$ environ.

3.

Quels émetteurs le voilier peut-il capter ?

INDICE

Outil : compare chaque porteuse à la plage d'accord.

CORRIGÉ

Comparaison. $171\,\mathrm{kHz}$ et $252\,\mathrm{kHz}$ sont dans la plage ; $345\,\mathrm{kHz}$ dépasse $3{,}2 \times 10^{2}\,\mathrm{kHz}$.

Conclusion. Le voilier capte les émetteurs de $171\,\mathrm{kHz}$ et de $252\,\mathrm{kHz}$, pas celui de $345\,\mathrm{kHz}$.

4.

Calculer la capacité à régler pour écouter l'émetteur de $252\,\mathrm{kHz}$.

INDICE

Outil : la condition d'accord $f_0 = F_p$, résolue pour C.

CORRIGÉ

Expression. $C = \dfrac{1}{4\pi^2 L\,F_p^2}$, avec $L = 2{,}0 \times 10^{-3}\,\mathrm{H}$ et $F_p = 2{,}52 \times 10^{5}\,\mathrm{Hz}$.

Application numérique.

$$C = \frac{1}{4\pi^2 L\,F_p^2}$$
$$C \approx 2{,}0 \times 10^{-10}\,\mathrm{F}$$

Conclusion. Il faut régler le condensateur sur environ $2{,}0 \times 10^{2}\,\mathrm{pF}$.

5.

Les bulletins contiennent des sons de fréquence au plus égale à $3{,}5\,\mathrm{kHz}$. Le détecteur convient-il pour l'émetteur de $252\,\mathrm{kHz}$?

INDICE

Début : calcule RC, T_p et la plus courte période T_s de la modulante. **Ensuite :** applique la condition de détection.

CORRIGÉ

Constante de temps. $RC = 4{,}7\times10^{4}\times1{,}0\times10^{-9} = 4{,}7\times10^{-5}\,\mathrm{s}$.

Périodes. $T_p = \dfrac{1}{2{,}52\times10^{5}} \approx 4{,}0\times10^{-6}\,\mathrm{s}$ et $T_s = \dfrac{1}{3{,}5\times10^{3}} \approx 2{,}9\times10^{-4}\,\mathrm{s}$.

Comparaison. $RC \approx 12\,T_p$ et $RC < T_s$.

Conclusion. La condition $T_p \ll RC < T_s$ est vérifiée : le détecteur convient.

Exercice 6

Pourquoi un talkie-walkie module sa voix

Deux randonneurs communiquent avec des talkies-walkies distants de $3{,}6\,\mathrm{km}$. On admet qu'une antenne efficace mesure environ le quart de la longueur d'onde de l'onde émise. On prend $c = 3{,}00 \times 10^{8}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

Document. Fréquences en jeu.

Signal	Fréquence
voix (son aigu)	$1{,}7\,\mathrm{kHz}$
porteuse	$27{,}0\,\mathrm{MHz}$

1.

Si l'on émettait directement une onde électromagnétique de la fréquence du son, quelle longueur d'antenne faudrait-il ?

INDICE

Début : calcule la longueur d'onde associée. **Ensuite :** prends-en le quart.

CORRIGÉ

Longueur d'onde.

$$\lambda_1 = \frac{c}{f}$$
$$\lambda_1 = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}7 \times 10^{3}}$$
$$\lambda_1 \approx 1{,}8 \times 10^{5}\,\mathrm{m}$$

Antenne. $\dfrac{\lambda_1}{4} \approx 4{,}4 \times 10^{4}\,\mathrm{m}$, soit $44\,\mathrm{km}$ environ.

Conclusion. Il faudrait une antenne d'environ $44\,\mathrm{km}$: c'est impossible pour un appareil portatif.

2.

Calculer la longueur d'antenne adaptée à la porteuse.

INDICE

Outil : la même démarche, avec la fréquence de la porteuse en hertz.

CORRIGÉ

Longueur d'onde. $\lambda_2 = \dfrac{3{,}00 \times 10^{8}}{2{,}70 \times 10^{7}} \approx 11{,}1\,\mathrm{m}$.

Antenne. $\dfrac{\lambda_2}{4} \approx 2{,}78\,\mathrm{m}$.

Conclusion. Avec la porteuse, une antenne d'environ $2{,}78\,\mathrm{m}$ suffit, qu'on peut même enrouler dans l'appareil.

3.

Calculer la durée de propagation de l'onde d'un talkie-walkie à l'autre.

INDICE

Outil : la durée de propagation à la célérité c, distance en mètres.

CORRIGÉ

Calcul.

$$\Delta t = \frac{d}{c}$$
$$\Delta t = \frac{3{,}6 \times 10^{3}}{3{,}00 \times 10^{8}}$$
$$\Delta t = 1{,}2 \times 10^{-5}\,\text{s}$$

Conclusion. L'onde met $12\,\mu\text{s}$: la conversation n'a aucun retard perceptible.

4.

Donner une autre raison de confier la voix à une porteuse de haute fréquence.

INDICE

Outil : pense à ce qui arriverait si tous les talkies-walkies de la région émettaient la voix directement.

CORRIGÉ

Même domaine. Toutes les voix ont des fréquences du même domaine : émises directement, les ondes de plusieurs utilisateurs se mêleraient.

Porteuses distinctes. Chaque canal reçoit sa propre porteuse ; le récepteur choisit celle qu'il veut entendre.

Conclusion. La modulation permet aussi de faire coexister plusieurs communications, chacune sur sa porteuse.

5.

La liaison entre les deux talkies-walkies est une chaîne de transmission. Associer chacune de ses quatre opérations, codage, émission, propagation et décodage, à un élément de la liaison.

INDICE

Outil : suis le message de la bouche du premier randonneur jusqu'à l'oreille du second.

CORRIGÉ

Codage. Le microphone du premier appareil transforme la voix en signal électrique.

Émission. L'émetteur confie ce signal à la porteuse ; l'antenne du premier appareil rayonne l'onde électromagnétique.

Propagation. L'onde traverse l'air, qui joue le rôle de canal, à la célérité c.

Décodage. Le récepteur du second appareil reconstitue le signal électrique, et son haut-parleur restitue la voix.

Conclusion. Microphone, émetteur et antenne, air, puis récepteur et haut-parleur réalisent les quatre opérations de la chaîne.

6.

Le courant dans l'antenne du premier appareil varie à la fréquence de la porteuse. Quelle est la fréquence de l'onde émise ? Quelle est la fréquence de la tension que cette onde crée dans l'antenne du second appareil ?

INDICE

Outil : les propriétés d'une antenne émettrice et d'une antenne réceptrice.

CORRIGÉ

Antenne émettrice. Parcourue par un courant variable, elle émet une onde de même fréquence que ce courant : $27{,}0\,\mathrm{MHz}$.

Antenne réceptrice. L'onde y engendre une tension de même fréquence, $27{,}0\,\mathrm{MHz}$, que le récepteur va traiter.

Même antenne. Chaque appareil émet puis écoute à tour de rôle : sa seule antenne sert d'émettrice, puis de réceptrice.

Conclusion. L'onde et la tension captée ont la fréquence de la porteuse, $27{,}0\,\mathrm{MHz}$.

Exercice 7

Chaîne de modulation et de démodulation au laboratoire

Au laboratoire, des élèves réalisent toute la chaîne : modulation par un multiplieur, puis démodulation par une diode, un dipôle RC parallèle et un filtre passe-haut.

Document. Matériel retenu.

Élément	Valeur
porteuse	$80\,\text{kHz}$
modulante	$4{,}0\,\text{kHz}$
résistor du détecteur	$10\,\text{k}\Omega$
condensateurs	$1{,}5\,\text{nF}$; $15\,\text{nF}$; $150\,\text{nF}$

1.

La condition sur les fréquences d'une modulation de bonne qualité est-elle remplie ?

INDICE

Outil : compare la fréquence de la porteuse à celle de la modulante.

CORRIGÉ

Rapport. $\dfrac{F_p}{f_s} = \dfrac{80}{4{,}0} = 20.$

Conclusion. La porteuse est vingt fois plus rapide que la modulante : la condition $F_p \gg f_s$ est remplie, avec un rapport d'au moins dix.

2.

Donner, dans l'ordre, les étapes que subit la tension modulée dans la partie démodulation.

INDICE

Outil : les deux étapes de la démodulation d'amplitude.

CORRIGÉ

Détection d'enveloppe. La diode ne garde que les alternances positives ; le dipôle RC parallèle conserve les sommets.

Filtrage. Le filtre passe-haut retire la composante continue de la tension détectée.

Conclusion. La tension modulée subit une détection d'enveloppe puis l'élimination de sa composante continue.

3.

Quel condensateur faut-il associer au résistor du détecteur ? Justifier par le calcul.

INDICE

Début : calcule T_p, T_s et les trois constantes de temps. **Ensuite :** applique la condition de détection.

CORRIGÉ

Périodes. $T_p = \dfrac{1}{8{,}0 \times 10^{4}} = 1{,}25 \times 10^{-5}\,\text{s}$ et $T_s = \dfrac{1}{4{,}0 \times 10^{3}} = 2{,}5 \times 10^{-4}\,\text{s}$.

Constantes de temps. Avec $R = 1{,}0 \times 10^{4}\,\Omega$: $1{,}5 \times 10^{-5}\,\text{s}$, $1{,}5 \times 10^{-4}\,\text{s}$ et $1{,}5 \times 10^{-3}\,\text{s}$.

Choix. La première est à peine supérieure 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 $15\,\text{nF}$.

4.

Comment brancher l'oscilloscope pour vérifier que le message restitué a la forme et la fréquence de la modulante ?

INDICE

Outil : compare simultanément deux tensions, avec une masse commune.

CORRIGÉ

Voie 1. Elle est reliée à la sortie du générateur qui délivre la modulante.

Voie 2. Elle est reliée aux bornes du résistor du filtre passe-haut, en sortie de chaîne.

Lecture. On compare les deux courbes : même forme sinusoïdale et même période, $0{,}25\,\text{ms}$, si la chaîne fonctionne.

Conclusion. Deux voies, une masse commune : la superposition des courbes montre si le message est restitué fidèlement.