

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

RAPPEL DES CONSIGNES

- Utiliser uniquement un stylo noir ou bleu foncé non effaçable pour la rédaction de votre composition ; d'autres couleurs, excepté le vert, peuvent être utilisées, mais exclusivement pour les schémas et la mise en évidence des résultats.
- Ne pas utiliser de correcteur
- Ecrire le mot FIN à la fin de votre composition.

Pb n°1 : Mines PSI 2018 le bioéthanol

Des données utiles pour la résolution du problème sont fournies à la fin de ce problème.

L'épuisement des ressources fossiles ainsi que l'augmentation de l'effet de serre impliquent de trouver des solutions économes en consommation de pétrole notamment dans le domaine des transports. Une voie consiste à mélanger l'essence à des biocarburants: le bioéthanol est ainsi présent à hauteur de 10% dans l'essence SP95-E10, et jusqu'à 85% dans le superethanol E85.

Les biocarburants de seconde génération sont issus de sources ligno-cellulosiques (bois, feuilles, pailles). Afin de fabriquer le biocarburant, la cellulose contenue dans ces végétaux est tout d'abord séparée de la lignine et de l'hémicellulose par cuisson acide puis par explosion à la vapeur. La cellulose, polymère de glucose, est ensuite transformée en glucose (sucre à six atomes carbone de formule brute $C_6H_{12}O_{6(s)}$) par hydrolyse enzymatique. Le glucose est enfin transformé en éthanol lors d'une étape de fermentation utilisant des levures.

- 1- Représenter la structure de Lewis de la molécule d'éthanol C_2H_5OH . Expliquer pourquoi l'eau et l'éthanol sont miscibles. Quelle est la conséquence sur les carburants à base de mélange d'essence et d'éthanol ?
- 2- Ecrire l'équation chimique (réaction (1)) de la synthèse de l'éthanol liquide à partir de la fermentation anaérobie d'une mole de glucose ($C_6H_{12}O_{6(s)}$), seul du dioxyde de carbone est produit en même temps que l'éthanol.
- 3- Calculer et commenter l'enthalpie standard de cette réaction à 298 K.

On cherche à présent à mesurer la quantité de chaleur libérée lors de la combustion complète de l'éthanol dans l'air. On brûle complètement 3,00 g d'éthanol à pression constante P^0 en le mettant au contact avec un volume d'eau 1000 mL. La température de départ est $T_i=298,0$ K. L'ensemble des constituants du mélange est dans une enceinte calorifugée (de volume variable). A la fin de l'expérience, l'eau est à la température $T_f= 318,0$ K. On néglige la capacité calorifique de l'enceinte par rapport à celle de l'eau.

- 4- Ecrire l'équation bilan de la réaction (notée (2)). Pourquoi dit-on que le bioéthanol est un carburant propre alors que sa combustion produit des gaz à effet de serre ?
- 5- Calculer grâce à l'expérience décrite plus haut l'enthalpie standard molaire de la réaction de combustion de l'éthanol (liquide) à 298 K.
- 6- Calculer grâce aux données fournies ci-dessous l'enthalpie standard molaire de la réaction de combustion de l'éthanol (liquide) à 298 K. Conclure.

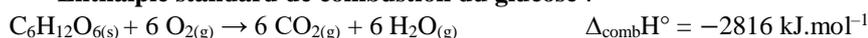
Données :

Masses molaires : $M(C) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(O) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(H) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$

Enthalpies standard de formation, entropies standard et capacités calorifiques molaires standard (à 298 K):

	$\Delta_f H^\circ$ (kJ.mol ⁻¹)	S_m° (J.K ⁻¹ .mol ⁻¹)	C_{Pm}^0 (J.K ⁻¹ .mol ⁻¹)
$C_2H_5OH(g)$	-235	283	-
$C_2H_5OH(l)$	-277	161	112
$O_2(g)$	0	205	29
$N_2(g)$	-	-	29
$CO_2(g)$	-394	214	37
$H_2O(g)$	-242	189	34
$H_2O(l)$	-286	70	75

Enthalpie standard de combustion du glucose :



Problème n°2 : d'après CC INP PSI 2021 Spectre d'un signal numérique

Nous nous proposons ici d'illustrer quelques impacts de la numérisation d'un signal sur son spectre. Cette étude est menée avec le matériel usuel du laboratoire de sciences physiques du lycée.

Informations sur le fonctionnement de l'oscilloscope numérique utilisé ici

- Lors d'un enregistrement, l'oscilloscope numérique discrétise et enregistre un signal sur une durée égale à la durée de balayage, soit 10 carreaux x base de temps.
- Le nombre d'échantillons enregistrés est toujours le même et égal à 2 480. La période d'échantillonnage dépend ainsi de la durée d'enregistrement et donc de la base de temps.
- Un menu permet l'affichage du spectre du signal échantillonné. Pour tous les spectres fournis dans cet énoncé, les amplitudes relatives des différentes composantes en fréquence sont représentées sur une échelle en dB en ordonnées. L'échelle des abscisses est linéaire, graduée de $f = 0$ Hz jusqu'à une fréquence f_{max} qui dépend de la base de temps. Deux curseurs verticaux, dénommés X1 et X2, permettent de pointer deux fréquences pour une lecture aisée de leur valeur sur l'écran.

Expérience 1

Un signal sinusoïdal est délivré par le GBF et est envoyé sur l'oscilloscope numérique. Il a été enregistré avec une base de temps de 250 μ s par division comme indiqué en bas de l'écran. Il est à la fois représenté dans le domaine temporel et dans le domaine fréquentiel sur l'oscillogramme 1 de la figure 3. X1 correspond au pointillé vertical à gauche, et X2 correspond au trait vertical à droite

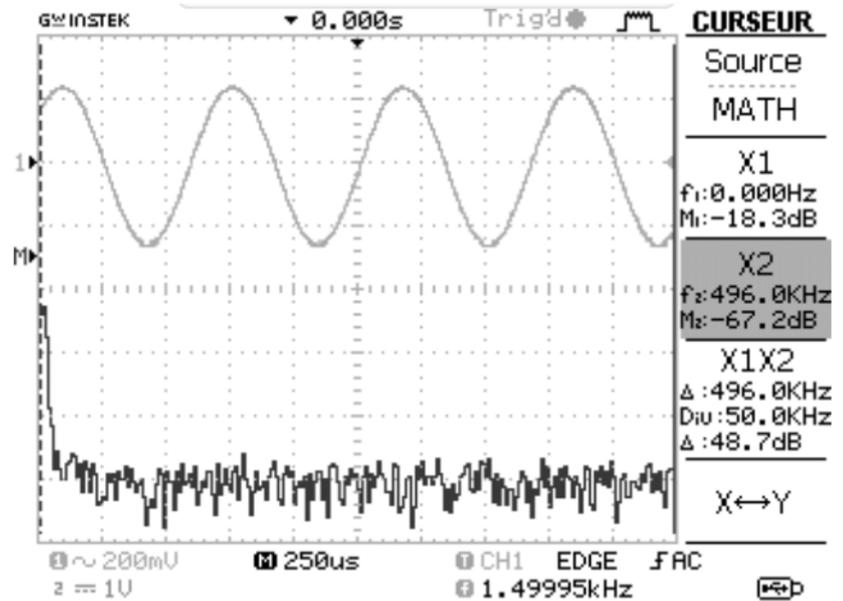


Figure 3 - Oscillogramme 1

Q1. Déterminer la période et la fréquence du signal sinusoïdal.

Compte tenu de l'échelle horizontale temporelle, donner une valeur approchée de la fréquence d'échantillonnage de cet enregistrement. Quel lien existe-t-il entre la plus haute fréquence $f_{max} = 496$ kHz, repérée par le curseur X2, et la fréquence d'échantillonnage ?

Q2. Pour un repérage aisé du pic en fréquence au moyen du curseur X1, il faut dilater l'échelle des fréquences. Faut-il alors remplacer l'échelle temporelle horizontale (250 μ s/div) par une valeur plus grande ou plus petite ? Est-ce cohérent avec le nouvel oscillogramme 2 de la figure 4 (X1 trait vertical, et X2 pointillé à droite) ?

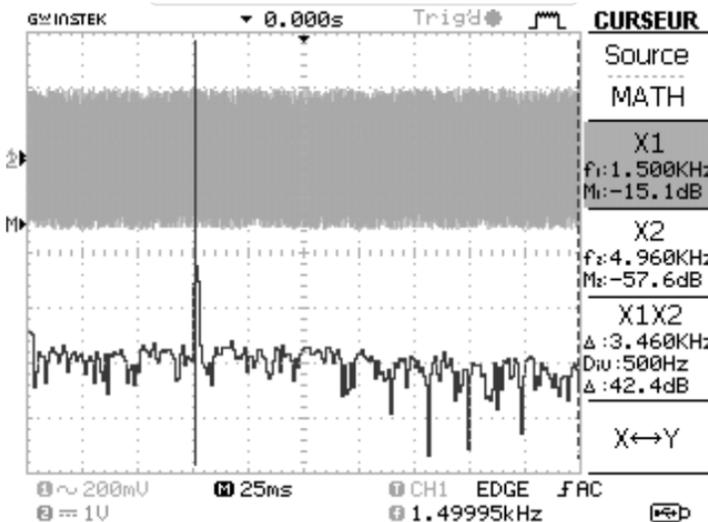


Figure 4 - Oscillogramme 2

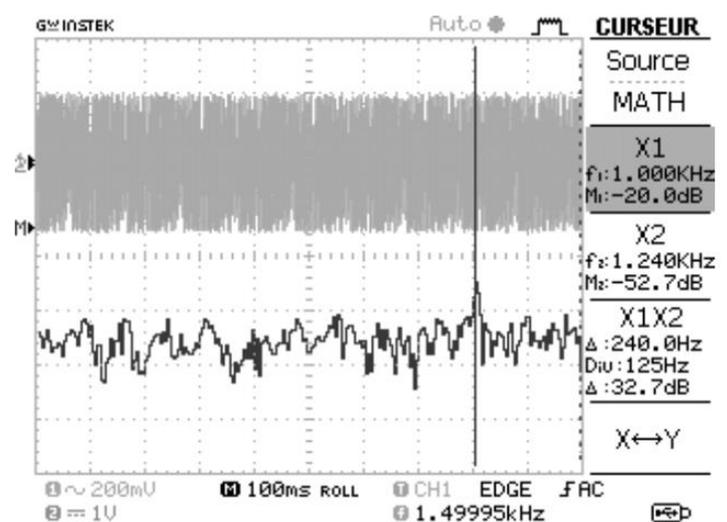


Figure 5 - Oscillogramme 3

La nouvelle valeur de la plus grande fréquence f_{max} de ce spectre était-elle prévisible ? Si oui comment ?

Q3. On renouvelle cette opération et on obtient l'oscillogramme 3 de la figure 5. Expliquez la valeur $f = 1 \text{ kHz}$ de la fréquence donnée par le curseur X1.

Expérience 2

On considère le montage électronique 1 (figure 6) où l'A.Li. est considéré comme parfait et fonctionne en régime linéaire. V_1 , V_2 , V_3 correspondent aux trois tensions d'entrée et V_s est la tension de sortie.

Q4. Déterminer l'expression de V_s en fonction de V_1 , V_2 , V_3 , R_0 , R_1 , R_2 et R_3 . Proposer un nom à ce montage.

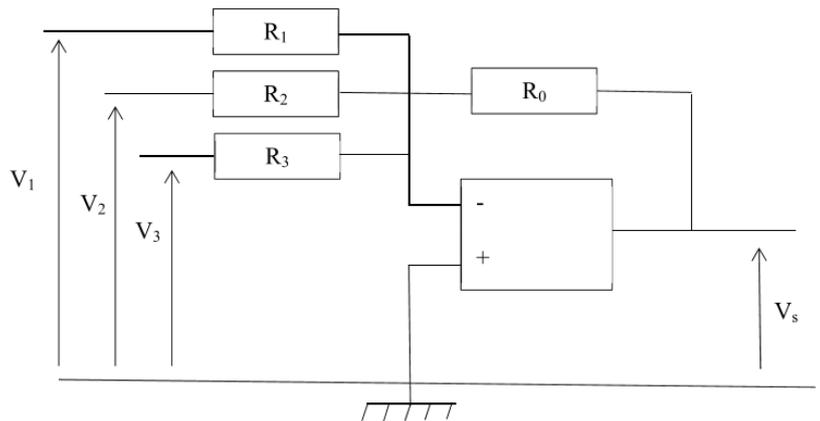


Figure 6 - Montage électronique 1

On associe au montage précédent un multiplieur dont les deux tensions d'entrée sont V_1 et V_2 . Il délivre en sortie la tension V_m avec : $V_m(t) = k V_1(t) V_2(t)$ où $k = 0,10 \text{ V}^{-1}$. On aboutit au montage électronique 2 de la figure 7.

$V_1(t)$ et $V_2(t)$ sont respectivement deux tensions sinusoïdales de même amplitude maximale V_0 et de fréquence f_1 et f_2 .

On pose, avec $f_1 > f_2$:

$$V_1(t) = V_0 \cos(2\pi f_1 t)$$

$$\text{et } V_2(t) = V_0 \cos(2\pi f_2 t).$$

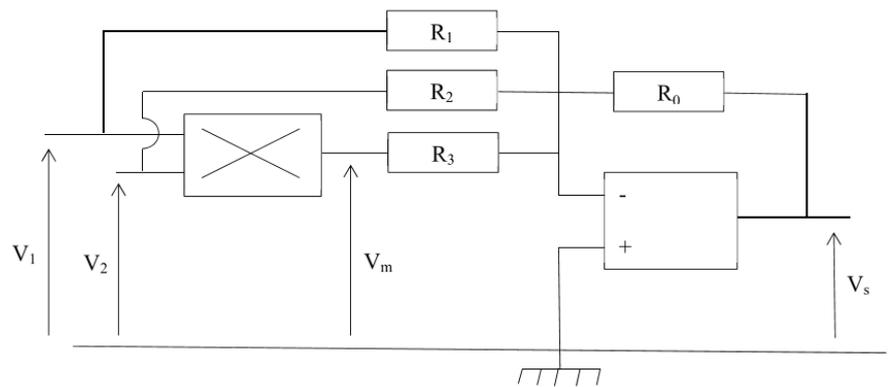


Figure 7 - Montage électronique 2

Q5. On suppose ici que $R_0 = R_1 = R_2 = R_3$

Tracer l'allure du spectre théorique (en amplitude) de la tension de sortie V_s .

Q6. Comment est modifié ce spectre lorsque $R_0 = R_1 = R_2 = 2R_3$?

Q7. L'enregistrement du signal V_s et la détermination de son spectre par l'oscilloscope numérique sont donnés sur l'oscillogramme 4 de la figure 8.

Déterminer les valeurs des fréquences f_1 et f_2 .

Données

Formules trigonométriques

$$\cos(a + b) = \cos(a) \cos(b) - \sin(a) \sin(b)$$

$$\cos(a) \cos(b) = \frac{\cos(a + b) + \cos(a - b)}{2}$$

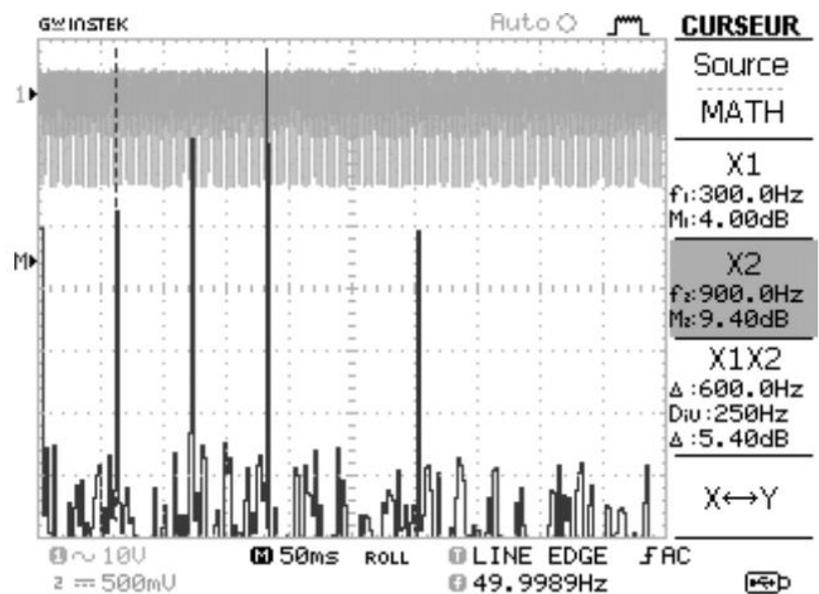


Figure 8 - Oscillogramme 4

Problème n°3 : Thermodynamique : Climatisation d'une voiture

Pour un confort optimal en été, on se propose de maintenir la température dans la voiture à une valeur de 20°C . On considère que la pression dans le véhicule est constante et égale à $P_0 = 1,0$ bar. Le volume d'air dans le véhicule est constant et de valeur $V = 4,0$ m³.

L'air est assimilé à un gaz parfait. On rappelle que la constante des gaz parfaits est $R = 8,31$ J. K⁻¹. mol⁻¹.

La température extérieure est $\theta_2 = 35^\circ\text{C}$.

1°) L'air est-il assimilable à un gaz parfait monoatomique ou bien diatomique ? Justifier.

2°) En déduire la valeur de γ , rapport de sa capacité thermique molaire à pression constante sur sa capacité thermique molaire à volume constant.

3°) Quel est le nombre n_i de moles d'air contenu dans le véhicule de volume V , lorsque la température intérieure est $\theta_i = 20^\circ\text{C}$?

4°) Un véhicule automobile présente des ouvertures d'aération, qui lui permettent de garder en permanence une pression intérieure égale à la pression extérieure. Quand la température intérieure passe de $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ à $\theta_f = 21,5^\circ\text{C}$, de combien varie, en pourcentage, le nombre de moles d'air à l'intérieur ?

On considérera dans la suite que cette variation est négligeable et que le nombre de moles d'air dans la voiture est constamment n_i .

Dimensionnement du système de climatisation

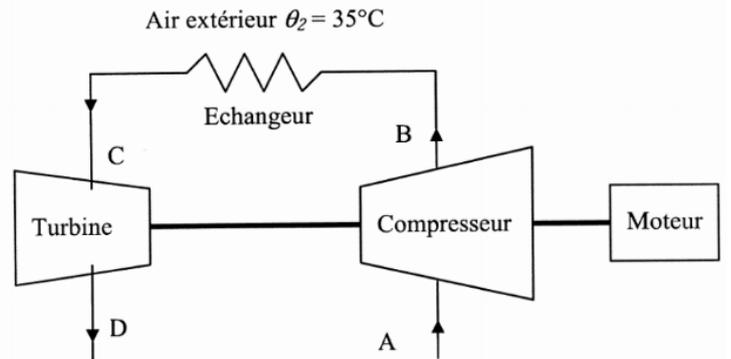
5°) Si on coupe la climatisation (et le système de ventilation intérieure), on constate que la température passe de $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ à $\theta_f = 21,5^\circ\text{C}$ en une durée $\Delta t = 1,0$ minute, sans changement de pression. Exprimer puis calculer le transfert thermique reçu par l'air de la voiture pendant cette durée. On prendra, dans toute la suite, $\gamma = 1,4$

6°) En déduire la puissance thermique que doit absorber le climatiseur pour maintenir la température dans le véhicule à 20°C .

7°) En réalité, on installe un climatiseur de puissance thermique de réfrigération égale à 500 W. Expliquer ce choix.

Etude du système de climatisation en circuit fermé (figure ci-contre)

Le fluide frigorigène du véhicule entre dans le compresseur (point A) à $\theta_A = 20^\circ\text{C}$ et $P_A = 1,0$ bar. Il en ressort, après compression adiabatique réversible à P_B et θ_B . Puis il passe dans un échangeur thermique où il reçoit une puissance thermique ϕ_{BC} de façon isobare, par échange avec l'air extérieur, de température $\theta_2 = 35^\circ\text{C}$. À la sortie de cet échangeur, le fluide interne est à une température θ_C . Il subit ensuite une détente adiabatique réversible dans la turbine, ce qui l'amène à $\theta_D = 5,0^\circ\text{C}$ et $P_D = P_A = 1,0$ bar. Il passe ensuite dans un autre échangeur thermique où il reçoit une puissance thermique ϕ_{DA} de façon isobare, par



Le moteur qui entraîne le compresseur est monté sur le même arbre que la turbine.

8°) Quels sont les signes des puissances thermiques algébriques ϕ_{BC} et ϕ_{DA} reçues par le fluide interne du climatiseur ? seules des réponses justifiées seront acceptées.

9°) En présence d'un écoulement de fluide pas trop rapide au sein d'un dispositif qui lui fournit une puissance thermique ϕ_{th} et une puissance mécanique utile ϕ_u , le premier principe industriel de la thermodynamique peut s'écrire, en l'absence de variation significative de l'énergie potentielle macroscopique : $D_m \Delta h = \phi_{th} + \phi_u$. Démontrer cette relation en décrivant bien la démarche, et donner la signification de D_m et de Δh , en précisant leurs unités SI.

10°) Représenter l'allure du cycle de la machine dans un diagramme (P, v) pour le fluide interne. On suppose que ce fluide interne est un gaz parfait diatomique, de masse molaire $M = 29$ g. mol⁻¹. La pression P sera placée en ordonnée, et le volume massique v en abscisse.

11°) Quelle est la valeur minimale θ_{Cmin} de la température θ_C que le fluide interne peut atteindre en C ? Quelle contrainte sur la géométrie de l'échangeur permet de s'approcher au mieux de cette température ?

12°) En admettant que le fluide atteigne en C cette température $\theta_C = \theta_{Cmin}$, quelle doit être la pression du fluide interne en sortie de compresseur pour que $\theta_D = 5,0^\circ\text{C}$?

13°) Exprimer puis calculer de débit massique que doit avoir le fluide interne pour assurer une puissance thermique de réfrigération ϕ_{DA} de valeur absolue égale à 120 W.

14°) Exprimer puis calculer la puissance mécanique prélevée par le compresseur sur l'arbre du moteur.

15°) Exprimer puis calculer celle fournie à cet arbre par la turbine.

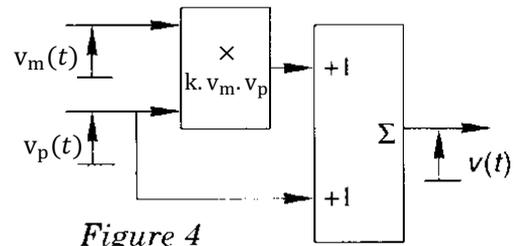
16°) Rappeler la définition de l'efficacité d'un climatiseur, en précisant la signification des différents termes. Puis déduire des questions précédentes l'efficacité globale de ce climatiseur.

Pb n°4 MODULATION ET DEMODULATION

III . A - Le champ électromagnétique rayonné par une antenne doit être modulé pour qu'il puisse être émis et véhiculer des informations. Supposons d'abord que le signal de modulation soit purement sinusoïdal $v_m(t) = V_m \cos(\omega_m t)$. Ce signal module la porteuse $v_p(t) = V_p \cos(\omega_p t)$, qui serait la tension appliquée à l'antenne d'émission en l'absence de modulation.

La porteuse est fournie par un oscillateur sinusoïdal de haute fréquence $f_p = \omega_p / 2\pi$ (avec $f_p \gg f_m = \omega_m / 2\pi$). La fréquence f_p est particulièrement stable.

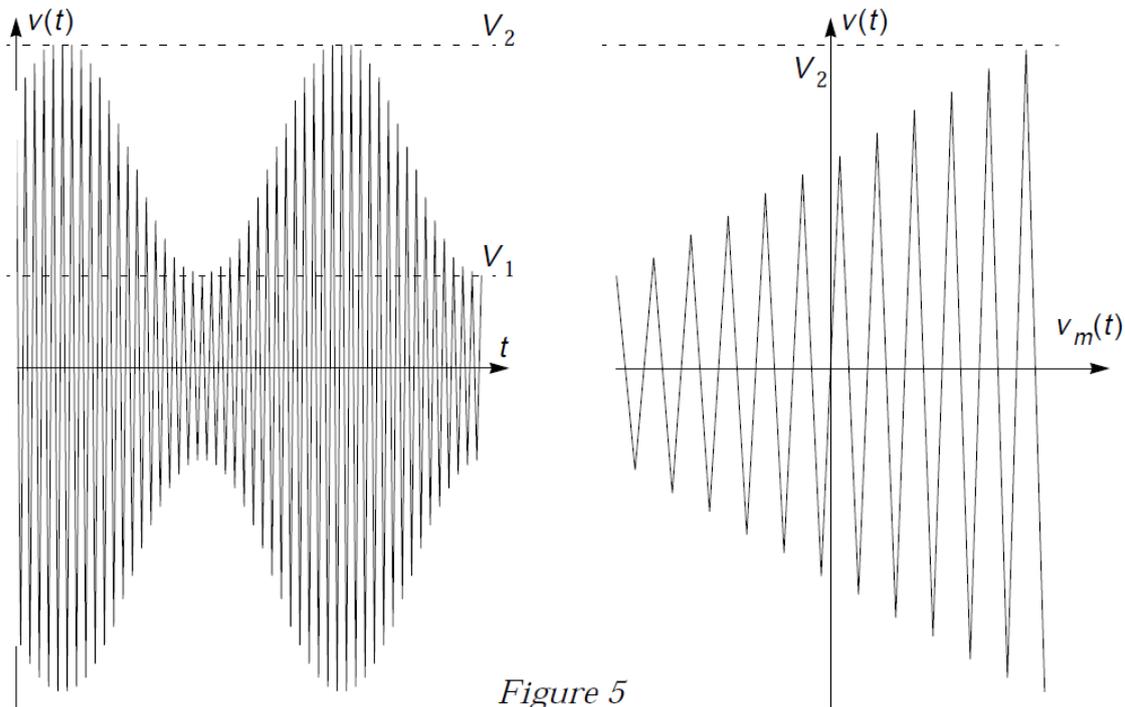
III.A.1 La modulation s'effectue à l'aide d'un circuit (figure 4) comprenant un multiplieur de constante multiplicative k et un additionneur. Montrer que le signal modulé est de la forme $v(t) = V_p (1+m \cos(\omega_m t)) \cos(\omega_p t)$ où m est le taux (ou indice) de modulation que l'on explicitera.



III.A.2 Afin de mesurer l'indice de modulation du signal porteur on réalise les deux oscillogrammes représentés (figure 5). Quels sont les modes de l'oscilloscope utilisés pour la réalisation de chacun de ces oscillogrammes ?

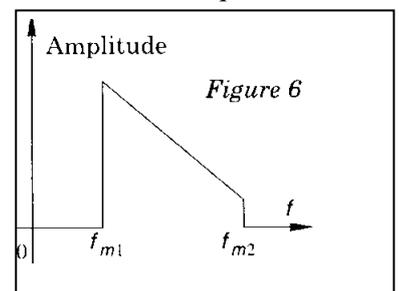
Exprimer l'indice de modulation en fonction des tensions V_1 et V_2 repérées sur le dessin.

On donne $V_1 = 2,0V$, $V_2 = 18V$. Calculer numériquement le taux de modulation.



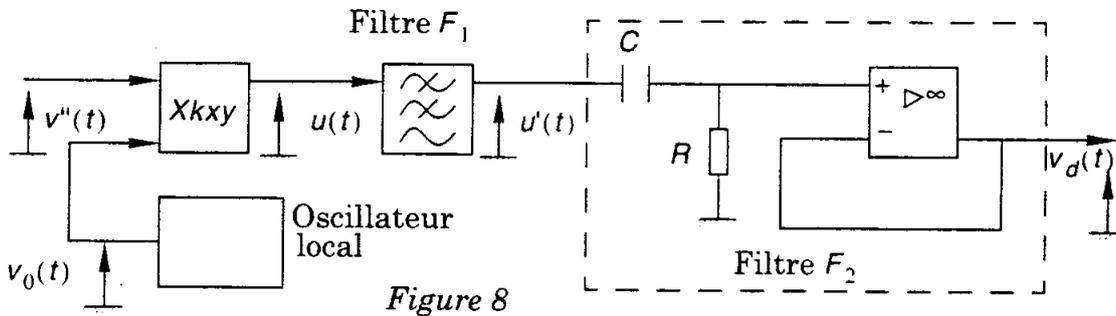
III.A.3 Déterminer le spectre en amplitude du signal modulé $v(t)$ et le représenter. En déduire, pour ce type de modulation, la largeur du spectre de fréquence nécessaire à la transmission d'un signal sinusoïdal de fréquence f_m .

III.A.4 Plus généralement, le signal de modulation occupe une plage de fréquences $[f_{m1}, f_{m2}]$ (figure 6). Représenter le spectre en amplitude du signal modulé. En radiodiffusion $f_{m1} = 300Hz$ et $f_{m2} = 4,5 kHz$; quelle est la largeur de la plage de fréquences occupée par le signal modulé ? Quel écart minimal de fréquence Δf_{min} doit-il exister entre les fréquences des porteuses de deux émetteurs pour que leurs émissions ne soient pas mutuellement brouillées ?



Partie IV - Démodulation.

IV.A - L'antenne du récepteur capte un signal modulé qui est appliqué à l'entrée d'un amplificateur à commande automatique de gain (CAG), c'est-à-dire que ce signal sera d'autant plus amplifié que son amplitude au niveau de l'antenne sera plus faible. L'amplificateur délivre un signal de la forme $v''(t) = V''_p [1 + m \cos(\omega_m t)] \cos(\omega_p t)$ avec V''_p constante par CAG. Ce dernier signal est ensuite appliqué à l'entrée d'un démodulateur dont le rôle est de fournir un signal $v_d(t)$ image du signal de modulation $v_m(t) = V_m \cos \omega_m t$. Le démodulateur (figure 8) comprend un oscillateur local délivrant un signal $v_0(t) = V_0 \cos \omega_p t$, synchrone de la porteuse, un multiplieur de constante multiplicative k , un filtre passe-bas F_1 , idéal, d'amplification $K_1=1,0$ pour $f \leq f_p$, et un filtre F_2 dont l'amplificateur linéaire intégré est idéal.



IV. A.1) Déterminer la fonction de transfert $H_2(j\omega)$ du filtre F_2 . Quel est le type de ce filtre ? Quelle est l'amplification maximale (c'est-à-dire la valeur maximale du module de la fonction de transfert) K_2 de ce filtre ? Calculer R pour avoir une fréquence de coupure à $f_{m1} / 100$ sachant que $C = 100 \text{ nF}$. Quel est le rôle de l'amplificateur linéaire intégré ?

IV.A.2) Etablir l'expression du signal démodulé $v_d(t)$ à la sortie du filtre F_2 .

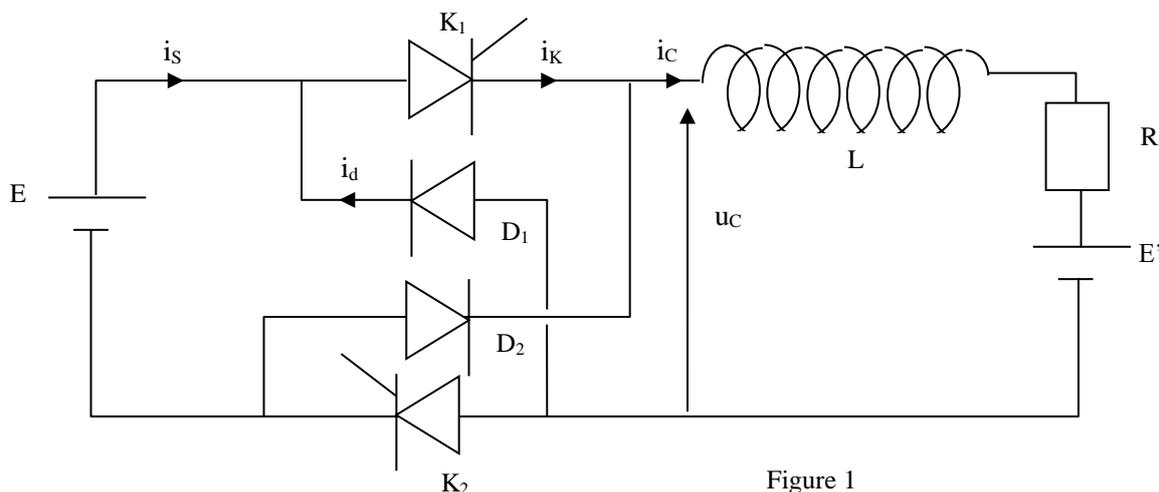
IV.A.3) On isole à l'aide d'un soustracteur la composante continue U du signal $u(t)$ en utilisant les signaux délivrés par les filtres F_1 et F_2 . Exprimer U . Quel renseignement nous fournit cette composante continue et à quoi peut-on l'utiliser ?

IV.A.4) Il existe une autre technique que la démodulation synchrone, la détection de crête ou d'enveloppe.

- Dessiner le schéma électrique d'un détecteur de crête.
- Quelle inégalité doit vérifier le taux de modulation pour que la détection de crête puisse démoduler en amplitude ?
- Si cette inégalité est vérifiée, pour un signal modulant de fréquence f_1 et une porteuse de fréquence f_p , comment doit-on choisir la constante de temps τ du détecteur de crête pour bien démoduler ?

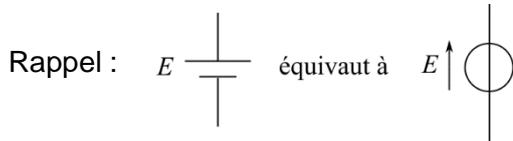
Pb n°5 HACHEUR REVERSIBLE EN TENSION

La figure 1 représente le schéma d'un hacheur réversible en tension :



- E est une source de tension continue pouvant fonctionner aussi bien en générateur ($i_s > 0$) qu'en récepteur ($i_s < 0$).

- D_1 et D_2 sont deux diodes supposées parfaites ;
- K_1 et K_2 sont des thyristors qui seront assimilés à des interrupteurs parfaits de type transistors et ne seront pas étudiés. K_1 et K_2 sont commandés de façon synchrone par un générateur de signaux rectangulaires de période T_0 et de rapport cyclique α : ils sont fermés pour $0 < t < \alpha T_0$ et ouverts le restant de la période. On fera varier α ;
- L est une bobine d'inductance L ;
- La charge est une machine à courant continu modélisée par une résistance R et une force contre-électromotrice (f.c.é.m) E' en série (cf figure 1).



On suppose dans toute cette partie que le courant $i_C(t)$ ne s'annule jamais ($i_C(t) > 0$ quel que soit t).

On donne :

$$\begin{aligned} E &= 100\text{V} \\ E' &= 50\text{V} \\ R &= 2,0\Omega \\ L &= 140\text{mH} \\ T_0 &= 1,0\text{ms} \end{aligned}$$

On rappelle qu'au voisinage de 0, $e^x \simeq 1 + x$

- K_1 et K_2 sont fermés ($0 < t < \alpha T_0$).
 - Etablir l'équation différentielle régissant l'évolution de $i_K(t)$.
 - Donner la solution de cette équation, en utilisant une constante A_1 , qu'on ne cherchera pas à déterminer. Linéariser cette solution (développement limité à l'ordre 1, en supposant $\frac{L}{R} \gg T_0$).
- K_1 et K_2 sont ouverts ($\alpha T_0 < t < T_0$).
 - Dans quel état se trouvent les diodes juste après l'ouverture des interrupteurs K_1 et K_2 ?
 - En déduire le schéma équivalent du montage pour $t > \alpha T_0$.
 - Etablir l'équation différentielle régissant l'évolution de $i_d(t)$.
 - Donner la solution de cette équation, en utilisant une constante A_2 , qu'on ne cherchera pas à déterminer. Linéariser cette solution.
- Représenter graphiquement l'allure de l'évolution de la tension $u_C(t)$ et des courants $i_C(t)$, $i_d(t)$ et $i_K(t)$. Pour les courants, on représentera les formes linéarisées.
- Exprimer l'ondulation (différence entre les valeurs maximale et minimale) Δi_C du courant dans la charge, dans le cas où $\frac{L}{R} \ll T_0$. Faire l'application numérique pour $\alpha = 0,79$.
- Calculer littéralement et numériquement pour $\alpha = 0,79$:
 - La valeur moyenne U_C de la tension $u_C(t)$.
 - Le courant moyen I_C dans la charge.
 - La puissance moyenne P' reçue par la f.c.é.m. E' en fonction de E' et I_C .
 - La puissance moyenne P fournie par le générateur en fonction de I_C , α et E .
 - La puissance moyenne P_u reçue globalement par la charge.
- E' représente la f.c.é.m. d'un moteur à courant continu pour lequel la constante de vitesse est $K = 0,30\text{ V.s.rad}^{-1}$. Cette constante interne de la machine est souvent notée ϕ_0 . Pour le moteur considéré, à aimants permanents, c'est une quantité de valeur constante. On a donc $E' = K\Omega$.
Calculer la vitesse angulaire du moteur Ω dans le cas où $\alpha = 0,79$.