

L'énoncé du DS comporte 3 extraits de sujets, tous indépendants: un Banque PT, un Mines/Ponts en Chimie et un Centrale .

1^{er} sujet: Banque PT 2021, partie C.

Le sujet aborde divers aspects de la mesure du temps. Seule la (longue!!) partie d'électronique a ici été conservée.

TEMPS – FREQUENCE

La mesure du temps peut être considérée sur une période longue, donc avec un calendrier, ou plus courte avec des horloges, ou sur des échelles beaucoup plus petites avec des oscillateurs voire des transitions atomiques de nos jours.

L'observation du mouvement de la lune autour de la terre a permis d'établir un calendrier en Chine, dit calendrier lunaire, depuis plus de mille ans avant J. C. En fait pour être précis il y avait une association entre l'observation de la lune et du soleil conduisant à un calendrier luni-solaire. De nos jours dans une bonne partie du globe terrestre, en Asie, ce calendrier est encore largement utilisé, et une forme purement lunaire est elle aussi largement utilisée dans d'autres parties du globe.

Dans une journée on devait faire des subdivisions, et pour cela on a pu utiliser des horloges hydrauliques pour compter le temps, et cela en Chine dès la dynastie des Hans (206 av. J.-C. – 220 apr. J.-C.). Les clepsydres, basée sur l'écoulement d'un récipient rempli d'eau permettaient la mesure d'un intervalle de temps.

De nos jours on utilise couramment des montres à quartz. Les télécommunications font appel à des références de temps, des oscillateurs électroniques de très haute pureté spectrale.

L'unité fondamentale de mesure du temps, la seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133, à 0 K. Il en résulte que la fréquence de la transition hyperfine de l'état fondamental de l'atome de césium est égale à 9 192 631 770 Hz.

C. Oscillateurs électroniques

Les systèmes étudiés dans cette partie utilisent des amplificateurs linéaires intégrés. Il est important de se rappeler des principales propriétés de ces circuits.

Q28. Quelles sont les principales caractéristiques d'un amplificateur linéaire intégré, en le supposant tout d'abord idéal, puis en considérant un amplificateur réel de type standard.

Q29. Donner des ordres de grandeurs pour les caractéristiques d'un amplificateur réel standard.

C.I. Oscillateur de relaxation

Cet oscillateur est construit autour d'un amplificateur linéaire intégré idéal, noté U0, alimenté sous les tensions $\pm 15\text{ V}$. On considère que la tension de saturation est $V_{sat} = 14\text{ V}$.

C.I.1. Comparateur à hystérésis

Dans un premier temps on considère le circuit suivant la Figure F5. On choisit des résistances parmi la série E12 à 10% de précision $R_1 = 1,8 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$.

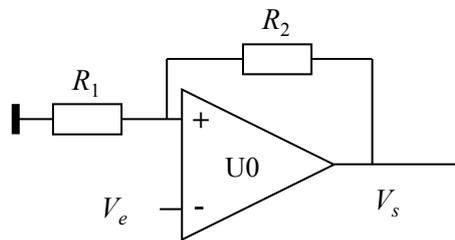


Figure F5. Comparateur à hystérésis

- Q30.** Que peut-on dire du fonctionnement du circuit U0 ?
- Q31.** Exprimer la tension au niveau de l'entrée (+), notée $V^{(+)}$, en fonction des éléments du schéma et de la tension V_s .
- Q32.** La tension V_e croit de -15 V à $+15 \text{ V}$. Montrer qu'il existe une tension de basculement. Tracer la courbe donnant V_s en fonction de V_e ; préciser quelques valeurs numériques permettant un tracé relativement satisfaisant de cette courbe.
- Q33.** Même question si maintenant la tension V_e décroît de $+15 \text{ V}$ à -15 V . Tracer la courbe donnant V_s en fonction de V_e . sur le même graphe qu'à la question précédente, mais avec une couleur différente.
- Q34.** Pourquoi appelle-t-on ce circuit un comparateur à hystérésis ?

Pour tester le comparateur à hystérésis on impose à présent, à l'aide d'un générateur de fonctions, une tension $V_e(t)$, triangulaire, symétrique, de période T et d'amplitude $E = 15 \text{ V}$ (voir Figure F6).

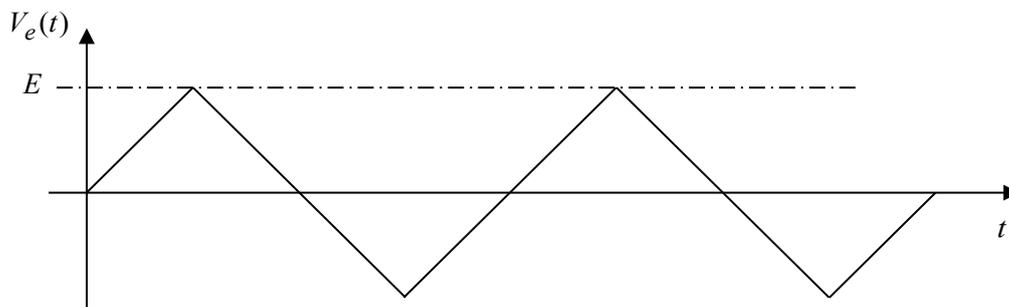


Figure F6. Signal de test appliqué au comparateur.

- Q35.** Reproduire cette courbe sur la copie et y superposer le tracé de la courbe donnant $V_s(t)$ en fonction du temps, à la même échelle.

C.I.2. Application du circuit comparateur : oscillateur de relaxation

Le comparateur étudié précédemment est maintenant associé à un circuit RC selon le schéma de la Figure F7.

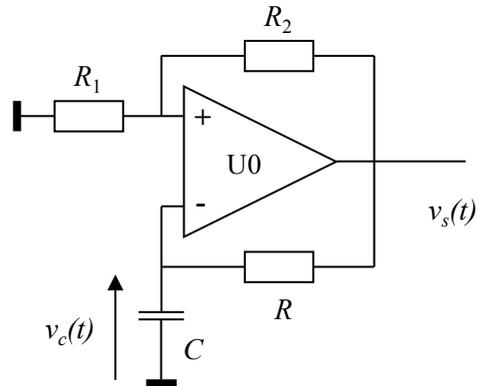


Figure F7. Schéma de l'oscillateur.

À la mise sous-tension on observe assez rapidement un régime périodique avec une succession de phases de croissance puis de décroissance de v_c . La figure F8 ci-dessous donne les enregistrements à l'oscilloscope de $v_s(t)$ (voie C1) et de $v_c(t)$ (voie C2) en fonction du temps.

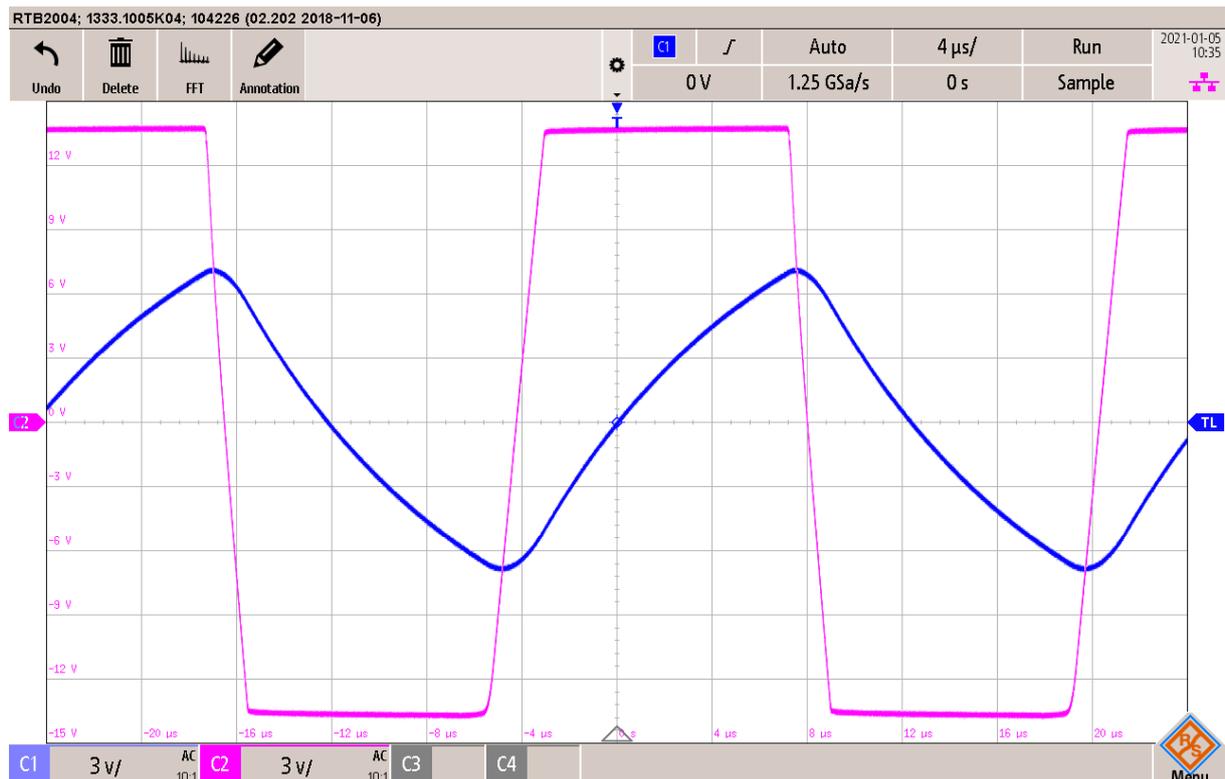


Figure F8. Enregistrement des signaux fournis par l'oscillateur de relaxation. La base de temps est de $4 \mu\text{s}/\text{div}$ et l'amplification est de $3 \text{ V}/\text{div}$ pour les deux voies de mesure.

⇒ Étude de la phase de croissance.

Q36. On suppose qu'à l'instant $t=0$ le condensateur est déchargé et que la tension de sortie de l'amplificateur $U0$ vaut $+V_{sat}$. Établir l'équation différentielle régissant la tension $v_c(t)$.

Q37. En déduire l'équation horaire de $v_c(t)$ et l'instant t_1 de fin de cette phase.

⇒ **Étude la phase de décroissance.**

Q38. Expliquer pourquoi v_c se met à décroître.

Q39. Établir l'équation différentielle de v_c dans cette phase.

Q40. En déduire l'équation horaire de $v_c(t)$, et l'instant t_2 de fin de cette phase.

Q41. Déterminer, d'après la durée de la deuxième phase, l'expression littérale de la période de v_c .

Q42. Déduire de l'enregistrement de la Figure F8 les valeurs numériques approchées des quantités suivantes : V_{sat} ; le rapport R_2 / R_1 et le produit RC . Pour le calcul numérique du logarithme népérien on pourra considérer les nombres entre 2,5 et 3 comme voisins de 2,72.

⇒ **Limites de fonctionnement de l'oscillateur**

Q43. Quelles caractéristiques de l'amplificateur peuvent entraîner une possible limitation de la fréquence de cet oscillateur ? Donner un ordre de grandeur de ces limitations.

Q44. Ces limitations sont-elles visibles sur la Figure F8 ?

C.II. Oscillateur quasi sinusoïdal

Cet oscillateur sera construit autour d'un filtre et d'un montage amplificateur. Ces deux blocs fonctionnels sont tout d'abord étudiés séparément.

C.II.1. Étude du filtre

Sur la Figure F9 on donne le schéma d'un filtre. On note $\underline{H}_F(\omega)$ sa fonction de transfert.

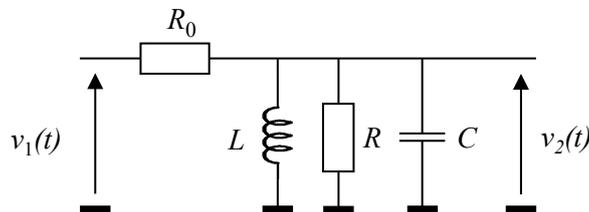


Figure F9. Schéma du filtre.

Q45. Déterminer l'expression de $\underline{H}_F(\omega)$ et la mettre sous la forme $\underline{H}_F = \frac{H_0}{1 + jQ_F \left[x - \frac{1}{x} \right]}$ avec

$$x = \frac{\omega}{\omega_0}, \quad \omega_0 \text{ étant la pulsation propre du filtre.}$$

Expliciter littéralement Q_F , H_0 et la fréquence caractéristique f_0 .

Q46. Donner l'expression reliant le facteur de qualité, la fréquence propre et la bande passante à -3 dB.

On choisit $R_0 = 470 \, \Omega$, $R = 120 \, \Omega$, $L = 50 \, \mu\text{H}$ et $C = 50 \, \text{nF}$ de sorte que : $H_0 \approx 0,2$, $f_0 \approx 100 \, \text{kHz}$ et $Q_F \approx 3$.

- Q47.** Faire une représentation graphique approchée du gain en décibel G_{dB} en fonction de $\log(x)$; préciser quelques valeurs sur ce graphe. Faire apparaître sur ce graphe la "bande passante à -3 dB".

C.II.2 Étude de l'amplificateur

On considère deux structures possibles à placer en sortie du filtre pour amplifier le signal (Figures F10 et F11). Le circuit U1 est un amplificateur linéaire intégré supposé idéal.

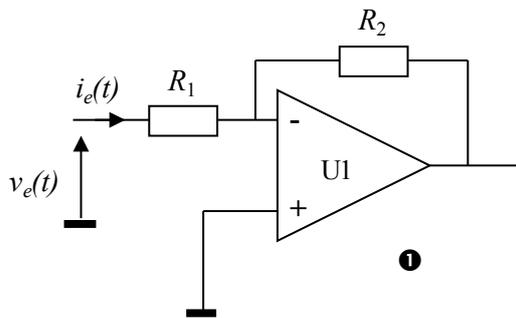


Figure F10. Structure amplificatrice n°1.

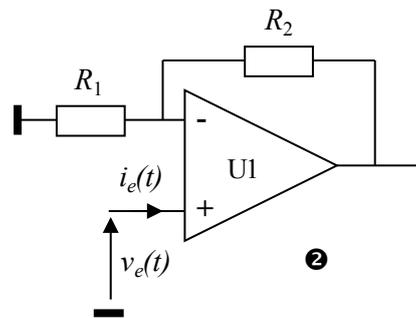


Figure F11. Structure amplificatrice n°2.

- Q48.** Déterminer, en précisant bien les hypothèses faites, les fonctions de transfert de ces deux structures, notées respectivement \underline{A}_1 et \underline{A}_2 .
- Q49.** Déterminer les impédances d'entrée Z_{e1} et Z_{e2} de chaque montage et expliquer pourquoi la structure n°2 est a priori un meilleur choix pour l'application envisagée.
- Q50.** En déduire alors l'expression de la fonction de transfert globale du montage associant les deux blocs fonctionnels filtre puis amplificateur en la mettant sous la forme $\underline{H}_{FA} = \frac{H_1}{1 + jQ \left[x - \frac{1}{x} \right]}$; expliciter H_1 et Q .

C.II.3 Étude des oscillations

On associe maintenant les deux blocs en connectant la sortie du montage amplificateur à l'entrée du filtre, réalisant le système dont le schéma est donné Figure F12.

La sortie de l'amplificateur U1, toujours supposé dans un premier temps comme idéal, est connectée à l'entrée du filtre au travers d'un interrupteur K.

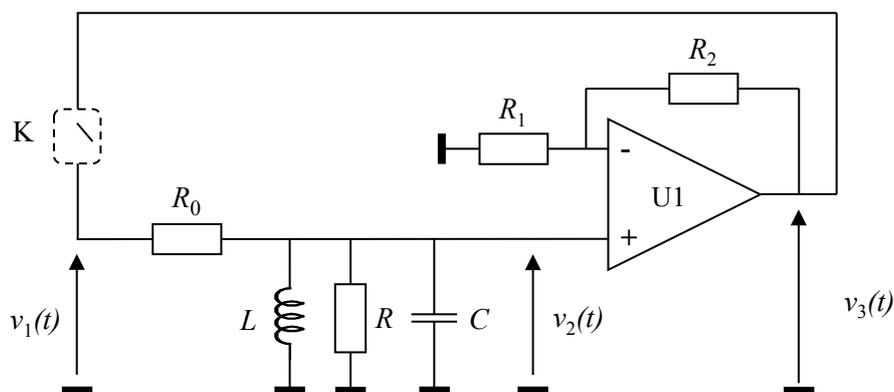


Figure F12. Structure bouclée associant le filtre et l'étage amplificateur.

À l'instant $t = 0$ on ferme l'interrupteur K, le condensateur C étant déchargé.

Q51. Déterminer l'équation différentielle régissant l'évolution de la tension $v_3(t)$; on fera apparaître dans cette équation la pulsation propre, le facteur de qualité et le gain maximal.

On désire obtenir à la fermeture de l'interrupteur des oscillations pseudo-périodiques d'amplitude croissante.

Q52. À quelle condition sur H_1 cela sera-t-il possible ?

Q53. Que vaut la fréquence d'oscillation pendant la phase de démarrage ?

Q54. À quelles conditions la fréquence des oscillations peut-elle être considérée comme égale à la fréquence propre du filtre ?

Q55. En considérant d'une part l'étude précédente, et d'autre part le fait que le circuit U1 n'est pas idéal expliquer pourquoi il est préférable que le gain de l'étage amplificateur ne soit pas trop grand.

C.II.4 Oscillateur réel et modélisation de dipôle

C.II.4.1 Schéma réel de l'oscillateur

Le schéma réel de l'oscillateur est donné figure F13, indiquant les composants réactifs *réels* à implémenter sur un circuit imprimé.

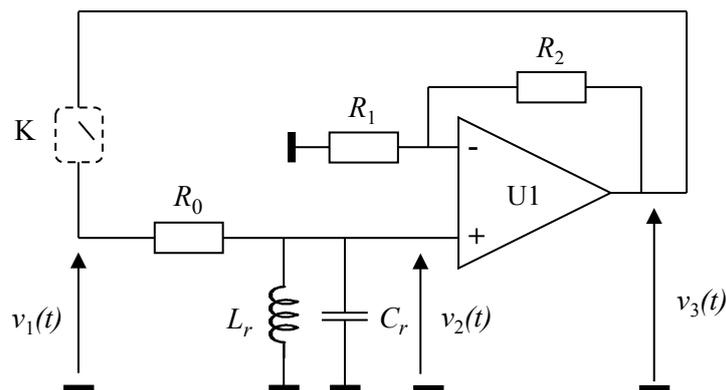


Figure F13. Schéma réel de l'oscillateur.

Q56. Quelle différence voit-on entre les schémas des figures F12 et F13 ?

Q57. Quel composant du schéma Figure F13 peut expliquer, par une étude de son modèle physique, le fait que les deux schémas des Figures F12 et F13 puissent être bien équivalents ?

C.II.4.2 Réalisation d'une inductance

On considère une bobine de longueur l_B comportant N_{sp} spires jointives de section S_B .

Une expression approchée de l'inductance d'une bobine est la suivante :
$$L_{sp} = \frac{\mu_0 N_{sp}^2 S_B}{l_B} .$$

On donne $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$.

Cette inductance peut par exemple être fabriquée avec du fil de cuivre, enrobé d'un isolant. On pourrait choisir par exemple un fil de référence AWG-38, correspondant, selon la norme américaine ASTM-B258 très largement utilisée même en Europe, à un diamètre $d_{Cu} = 101 \mu\text{m}$. L'isolant a une épaisseur

$t_i = 7,5 \mu\text{m}$. La conductivité du cuivre est $\sigma_{\text{Cu}} = 5,88 \times 10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$. Les valeurs numériques sont seulement données à titre d'exemple.

Le rôle de l'isolant est d'éviter que les spires jointives ne se court-circuitent entre elles.

Q58.

Q59. Expliquer pourquoi on peut considérer que deux spires adjacentes forment un condensateur.

On considère trois spires successives, Sp1, Sp2 et Sp3 comme indiquées sur la Figure F14. On appelle C_i la capacité d'un condensateur formé par deux spires adjacentes.

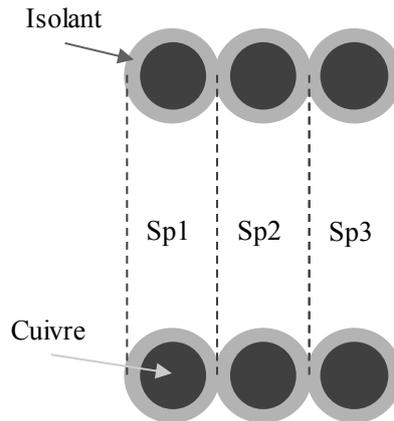


Figure F14. Trois spires adjacentes, Sp1, Sp2 et Sp3.

Q60. En considérant comment sont placés les condensateurs formés par {Sp1-Sp2} d'une part et {Sp2-Sp3} d'autre part, déterminer la capacité résultant de l'ensemble des spires.

Q61. Comment tenir compte de ce condensateur, que l'on peut qualifier de "parasite", dans un nouveau schéma équivalent complet de la bobine.

Q62. Quelles sont les conséquences de la présence de ce condensateur parasite ?

C.II.5 Stabilité de l'oscillateur

La stabilité d'un oscillateur est un critère fondamental de sa qualité, qu'il est indispensable de prendre en compte selon la précision nécessaire pour une application. On considère en général la stabilité à court-terme et la stabilité à long-terme.

C.II.5.1 Oscillateur quasi-sinusoïdal

On considère (Figure F15) le schéma théorique de l'oscillateur comme à la Figure F12. On suppose qu'il fonctionne en régime permanent et pour simplifier on fait l'hypothèse que l'oscillateur est de type quasi-sinusoïdal. Les signaux $v_1(t)$, $v_2(t)$ et $v_3(t)$ sont alors considérés comme sinusoïdaux, on peut donc raisonner dans l'espace des fréquences et noter les signaux \underline{V}_1 , \underline{V}_2 et \underline{V}_3 en représentation complexe.

Le filtre (entrée \underline{V}_1 , sortie \underline{V}_2) a pour fonction de transfert \underline{H}_F .

L'amplificateur (entrée \underline{V}_2 , sortie \underline{V}_3) a pour fonction de transfert \underline{A} .

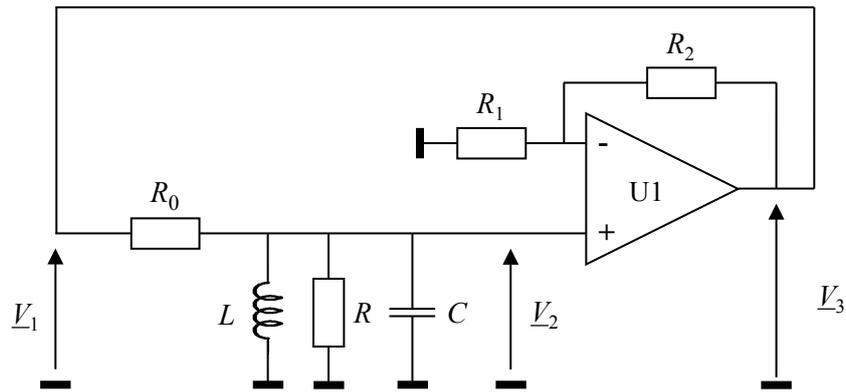


Figure F15. Oscillateur considéré en fonctionnement sinusoïdal.

Q63. Exprimer V_2 en fonction de V_1 , V_3 en fonction de V_2 et V_1 en fonction de V_3 . En déduire une relation entre \underline{A} et \underline{H}_F valable s'il y a effectivement oscillation. Cette relation est appelée condition d'oscillation.

Q64. Montrer que la condition d'oscillation conduit à la relation $\text{Arg}[\underline{H}_F(\omega)] = 0$.

C.II.5.2 Stabilité à court-terme

On suppose maintenant qu'en sortie de l'amplificateur il y a une petite fluctuation de phase, exprimée par le gain de l'amplificateur $\underline{A}' = A_0 e^{j\delta\psi}$ où A_0 est un réel positif.

Q65. Quelle est la nouvelle condition d'oscillation relative à la phase de $\underline{H}_F(\omega)$?

On considère que la fluctuation de phase $\delta\psi$ induit une fluctuation $\delta\omega$ de la pulsation d'oscillation, petite par rapport à la pulsation propre. On pourra donc écrire que $\omega = \omega_0 + \delta\omega$ dans l'expression de \underline{H}_F sous forme canonique.

Q66. Déduire, à partir de la condition d'oscillation et de l'expression de \underline{H}_F simplifiée grâce à l'hypothèse précédente, l'expression de la variation $\delta\omega$ de la pulsation. Calculer alors la fluctuation de fréquence pour $\delta\psi = 1^\circ$.

Q67. Que se passe-t-il si la fluctuation $\delta\psi$ varie au cours du temps mais avec une amplitude faible ? Quel serait alors l'aspect du spectre du signal de l'oscillateur ?

Q68. Conclure sur la façon d'améliorer la qualité de l'oscillateur.

Fin de la partie

I. SECONDE PARTIE : Chimie (Mines-Ponts MP-PSI extrait)

Le strontium (symbole chimique Sr) est l'élément situé à la 5^{ème} ligne et 2^{ème} colonne de la classification périodique des éléments (classification comportant dix-huit colonnes numérotées de 1 à 18).

On trouve le strontium dans des minerais comme la strontianite, $SrCO_3(s)$, mais également sous forme soluble dans l'eau de mer.

Sydney Ringer a montré, il y a plus de cent ans, que le strontium se substituait au calcium dans les os et provoquait des troubles osseux.

Des chercheurs ont récemment utilisé l'isotope 90 du strontium, comme source d'énergie dans une pile.

Cet énoncé est divisé en 5 parties indépendantes : A) et B) en page 1, C) et D) en page 2, et finalement E) en page 3 et 4.

Des données utiles pour la résolution du problème sont fournies à la fin de l'énoncé en pages 4 et 5.

A) Structure électronique

Pour Q1, on remplacera les 2 questions relatives à la configuration électronique par « donner le nombre d'électrons de valence »

1. Quelle est la configuration électronique à l'état fondamental de l'atome de strontium ? Quelle est la configuration électronique attendue pour l'élément situé juste au-dessus du strontium dans la classification périodique ? Pourquoi le strontium peut-il se substituer au calcium dans les os ?
2. Le strontium est généralement présent sous forme d'ions Sr^{2+} . Expliquer.
3. La strontianite est la forme naturelle du carbonate de strontium $SrCO_3$. Donner un schéma de Lewis de l'ion carbonate.

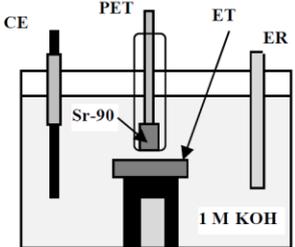
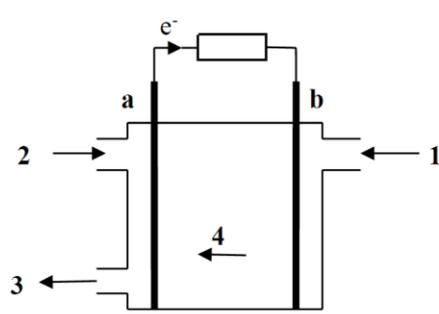
B) Cristallographie

Le fluorure de strontium 90 a été utilisé en Russie comme vecteur de radioisotopes dans des générateurs thermoélectriques. Le fluorure de strontium cristallise dans une structure de type fluorine : les cations Sr^{2+} occupent un réseau cubique à faces centrées (CFC), les anions F^- occupants tous les sites tétraédriques.

4. Pourquoi les sites tétraédriques sont-ils tous occupés ?
5. Dessiner la maille en perspective ou en utilisant une projection cotée ; indiquer la coordinence entre ions de charge opposée.
6. Le paramètre de maille vaut $a = 576$ pm, le rayon ionique de l'anion fluorure, $R = 132$ pm. Déterminer la valeur r du rayon ionique de l'ion strontium.

E) Une batterie nucléaire à base d'eau

Des chercheurs de l'Université du Missouri ont concentré leurs recherches sur l'isotope 90 du strontium, qui permet de stimuler l'énergie électrochimique dans une solution à base d'eau. La batterie, équipée d'une électrode de dioxyde de titane nanostructuré et d'un revêtement de platine, peut ainsi recueillir et convertir efficacement l'énergie en électrons. Ces appareils sont prometteurs pour des applications spatiales, des dispositifs marins éloignés, etc.

	
<p>PET : polyethylene terephthalate (film plastique) Document 1 : vue schématique du dispositif</p>	<p>Document 2 : schéma de principe d'une pile AFC</p>

17. Expliquer à partir du document 1 comment tracer expérimentalement des courbes intensité-potentiel à la surface de l'électrode désignée par ET, proposer une signification pour les électrodes désignées par CE et ER.

Il y a une cinquantaine d'années les piles à combustibles alcalines (pile AFC, document 2) ont été développées pour les programmes spatiaux.

Par réaction entre du dioxygène gazeux et du dihydrogène gazeux en milieu alcalin (pH = 14), on produit de l'eau et un courant électrique. Cette pile a un rendement de 50 %.

On suppose que $P(O_2) = P(H_2) = 1 \text{ bar}$ et que la pile est utilisée à une température de 25°C .

18. Déterminer, les réactions à l'anode et à la cathode ainsi que l'équation globale de fonctionnement de la pile.
19. Nommer les espèces chimiques 1 à 4 et affecter les termes d'anode et de cathode aux électrodes a et b du document 2.
20. Calculer les potentiels à pH=14 de chacune des électrodes. Quelle est la valeur de la force électromotrice théorique de la pile ? Pourquoi est-elle en réalité plus faible ?
21. Donner l'allure des courbes intensité-potentiel décrivant cette pile, en précisant les valeurs des potentiels caractéristiques.
22. Quelle est la valeur de la tension à vide ? Commentez.
23. Une pile lithium-ion utilisée dans un pacemaker délivre un courant d'environ $20 \mu\text{A}$ et peut fonctionner 8 ans. Quel serait le volume de dioxygène nécessaire pour faire fonctionner la pile à combustible dans les mêmes conditions ?

Données à 298 K :

Constante des gaz parfaits : $R = 8,3 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$.

Constante de Faraday : $F = 96500 \text{ C.mol}^{-1}$.

Volume molaire des gaz : $V_m = 25 \text{ L.mol}^{-1}$.

Numéro atomique : C : 6 ; O : 8 ; Ca : 20 ; Y : 39.

Constante de Nernst : $\frac{RT}{F} \ln 10 \approx 0,06V$.

Potentiels standard à pH = 0 :

$E^\circ(O_2(g)/H_2O(l)) = 1,23 \text{ V}$; $E^\circ(H^+(aq)/H_2(g)) = 0,00 \text{ V}$.

Surtensions sur électrode de platine pour les couples de l'eau (en valeur absolue) :

$O_2(g) / H_2O(l)$: 0,5 V ; $H^+(aq) / H_2(g)$: 0,1 V.

Quelques indications/conseils:

Q II.B.5 On ne cherchera pas à calculer la fonction de transfert globale, une autre approche sera privilégiée.

Q.II.C.3 on pourra illustrer sa réponse, relative aux conditions sur U1 e U2, par un schéma (donnant un cas qui marche) . Des conditions générales, justes, seront un bonus.

II Mesure de la fréquence cardiaque

Certains manèges proposent aux passagers d'évaluer leur « peur » en mesurant leur rythme cardiaque. Le rythme cardiaque varie d'environ 60 battements par minute pour un sujet au repos jusqu'à 200 battements lors d'un effort physique intense ou d'une forte émotion. La contraction d'un muscle, le cœur en particulier, crée un signal électrique. La détermination du rythme cardiaque sur les manèges passe par la mesure de la différence de potentiel électrique entre les deux mains du passager. Sur le garde corps du manège, sont fixées deux électrodes où le passager pose ses deux mains. La différence de potentiel est de l'ordre de quelques dizaines de mV. Le rapport signal sur bruit est en général plutôt faible. Il est donc nécessaire de mettre en forme le signal avant de pouvoir extraire la fréquence cardiaque. Cette partie se propose d'étudier les différentes étapes de mise en forme du signal. Après amplification (non étudiée), le signal est soumis à deux opérations de filtrage.

Pour tout signal sinusoïdal $u(t)$, la grandeur complexe associée sera notée \underline{u} . Tous les amplificateurs opérationnels sont supposés idéaux.

II.A – Premier filtrage

Le signal amplifié est appliqué en entrée d'un filtre dont la structure est donnée [figure 4](#).

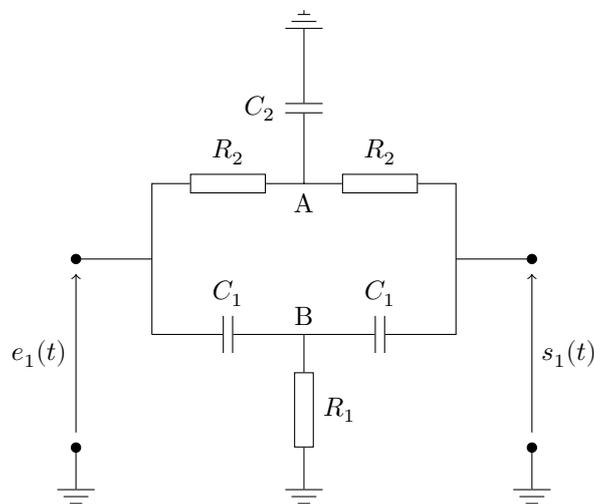


Figure 4

On donne les valeurs des composants : $R = R_1 = R_2/2 = 16 \text{ k}\Omega$ et $C = C_1 = C_2/2 = 0,1 \mu\text{F}$.

Ce filtre est un filtre réjecteur : il ne transmet pas les signaux dont la pulsation est voisine de $\omega_0 = \frac{1}{2RC}$.

II.A.1) En étudiant de façon qualitative le comportement basses et hautes fréquences, justifier qu'il est légitime de dire que le filtre de la figure 4 est un filtre réjecteur.

II.A.2) Calculer la valeur de la fréquence f_0 associée à ω_0 . Pourquoi ce filtre est-il important dans le cas présent ?

II.B – Deuxième filtrage : filtre passe-bande

La fréquence des battements cardiaques étant comprise dans un intervalle relativement restreint et de façon à s'affranchir au maximum de parasites hautes et très basses fréquences, on applique un filtre passe-bande au signal obtenu en sortie du filtre précédent. La structure du circuit utilisé est donnée figure 5.

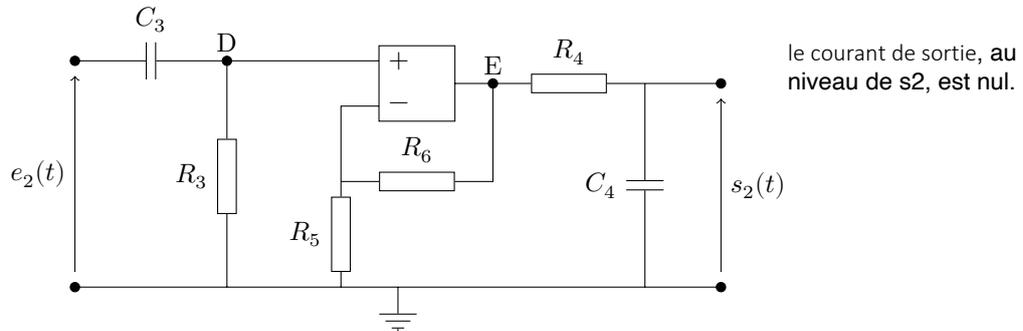


Figure 5

II.B.1) Comment faut-il relier le circuit précédemment étudié et le circuit de la figure 5 pour que le signal $s_1(t)$ obtenu en sortie du filtre réjecteur ne soit pas perturbé par l'ajout du montage de la figure 5 ?

II.B.2) Justifier de façon qualitative que l'amplificateur opérationnel fonctionne en régime linéaire. Montrer de façon qualitative que ce circuit présente bien un caractère passe-bande.

II.B.3) On souhaite que la fréquence de coupure basse soit égale à 0,5 Hz et la haute égale à 150 Hz. Ces valeurs sont-elles compatibles avec les fréquences cardiaques humaines ?

II.B.4) En évaluant successivement les quotients V_D/e_2 , V_E/V_D et s_2/V_E , montrer que la fonction de transfert $H_2 = s_2/e_2$ s'exprime comme le produit de trois fonctions de transfert très simples. On précisera le rôle de chacune d'entre elles.

II.B.5) Proposer pour R_3 , R_4 , C_3 et C_4 des valeurs permettant de réaliser le filtrage souhaité. Les valeurs proposées devront être compatibles avec les composants couramment utilisés en travaux pratiques.

II.B.6) En plus de la fonction filtrage, le filtre proposé possède un deuxième avantage. Lequel ?

II.C – Après amplification et filtrages, l'allure du signal obtenu est donnée figure 6.

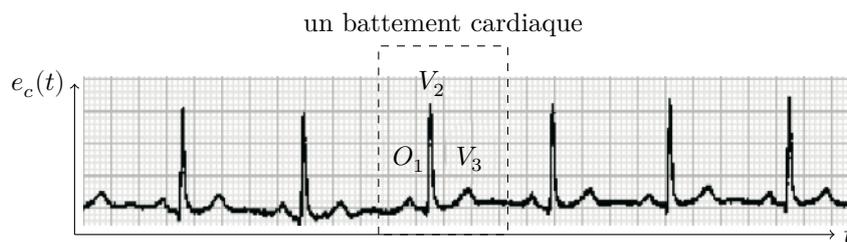


Figure 6

Le signal électrique $e_c(t)$ émis au cours d'un battement cardiaque est complexe. En effet, la figure 6 montre trois phases distinctes : la première (O_1) correspond à l'action des oreillettes, alors que les deux autres phases (V_2 et V_3) correspondent à l'action des ventricules. Pour rendre la mesure de la fréquence cardiaque possible à l'aide d'un compteur numérique (non étudié), le signal électrique du cœur est transformé en un signal créneau d'amplitude donnée, où seul le signal de la phase V_2 est sélectionné. Cependant, malgré les opérations de mise en forme, le signal de la phase V_2 reste complexe, comme le met en évidence la figure 7 qui représente le détail d'un battement cardiaque.

II.C.1) Le signal électrique $e_3(t)$ correspondant aux battements cardiaques est appliqué sur l'entrée + de l'amplificateur opérationnel du montage de la figure 8. La tension V_0 est une tension continue et positive.

Expliquer le fonctionnement de ce dispositif. Que va être la réponse de ce circuit à un signal du type de celui de la figure 7 ? Ce circuit est-il adapté à la détermination de la fréquence cardiaque ? Justifier la réponse (on pourra s'aider d'un schéma).

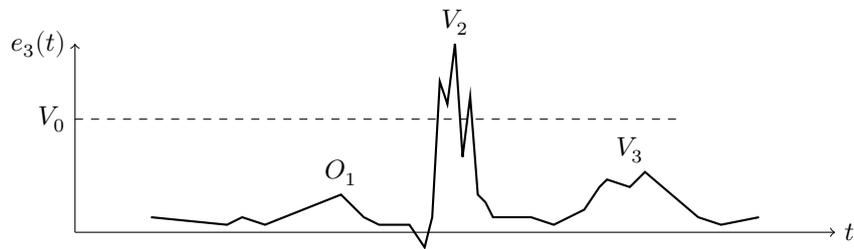


Figure 7

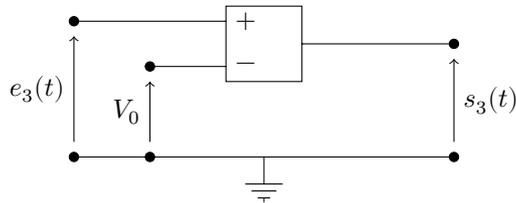


Figure 8

II.C.2) En réalité, le circuit utilisé est donné [figure 9](#). La tension V_0 est une tension continue et positive. On considère dans un premier temps un signal d'entrée sinusoïdal $e_4(t) = E_0 \cos(\omega t)$. Justifier qualitativement que l'amplificateur opérationnel ne peut pas fonctionner en régime linéaire.

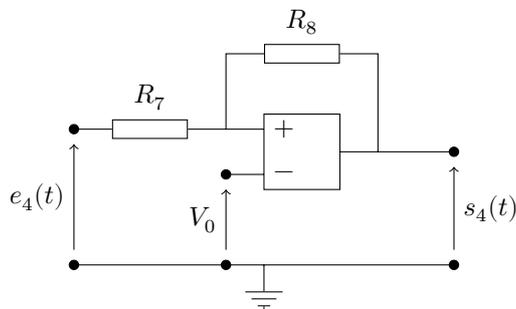


Figure 9

On souhaite que $s_4(t) = +V_{\text{sat}}$, V_{sat} étant la tension de saturation de l'amplificateur opérationnel. Montrer que $e_4(t)$ doit être supérieure à une tension U_1 dont on donnera l'expression en fonction de V_0 , V_{sat} et des résistances du circuit.

On souhaite maintenant que $s_4(t) = -V_{\text{sat}}$. Montrer que $e_4(t)$ doit être inférieure à une tension U_2 dont on donnera l'expression en fonction de V_0 , V_{sat} et des résistances du circuit.

Pour quelle valeur de $e_4(t)$ se fait le basculement de $s_4(t) = +V_{\text{sat}}$ à $s_4(t) = -V_{\text{sat}}$? Même question pour le basculement de $s_4(t) = -V_{\text{sat}}$ à $s_4(t) = +V_{\text{sat}}$.

Donner la condition pour que U_1 soit positive.

Dans ce cas et en supposant que $E_0 > U_2$, représenter sur un même graphe les fonctions $e_4(t)$ et $s_4(t)$ en fonction du temps, en faisant apparaître les tensions E_0 , U_1 , U_2 et V_{sat} . Comment s'appelle un tel montage ?

II.C.3) Le signal d'entrée $e_4(t)$ est à présent le signal cardiaque $e_c(t)$ représenté sur les figures 6 et 7. Représenter sur une même figure l'allure du signal cardiaque et celle du signal $s_4(t)$ que l'on souhaite obtenir par le filtre. À quelles conditions sur U_1 et U_2 la fréquence du signal $s_4(t)$ obtenu correspond-elle effectivement à la fréquence du rythme cardiaque ? Quel est l'intérêt du circuit effectivement utilisé par rapport à celui de la [figure 8](#) ?

II.D – Le dispositif utilisé dans le manège pour la mesure du rythme cardiaque peut-il être utilisé en milieu médical ? Qu'est-ce qui peut fausser la mesure du rythme cardiaque ?