

Electronique

Conseils pour aborder le devoir

- La rédaction (clarté, précision,...) et la présentation doivent être particulièrement soignées
- N'oubliez pas d'encadrer les expressions littérales et de souligner les applications numériques
- Si vous n'arrivez pas à démontrer un résultat dont vous avez besoin pour les questions suivantes, vous pouvez l'admettre, mais il faut bien le préciser sur votre copie

LES CALCULATRICES NE SONT PAS AUTORISÉES

Durée de l'épreuve : 3h

I - Oscillateur quasi-sinuoïdal

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

1. Quelles sont les principales caractéristiques d'un amplificateur linéaire intégré, en le supposant tout d'abord idéal.
2. Donner des ordres de grandeurs pour les caractéristiques d'un amplificateur réel standard.

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

A - Étude du filtre

Sur la figure 1.1, on donne le schéma du filtre. On note $\underline{H}_F(\omega)$ sa fonction de transfert.

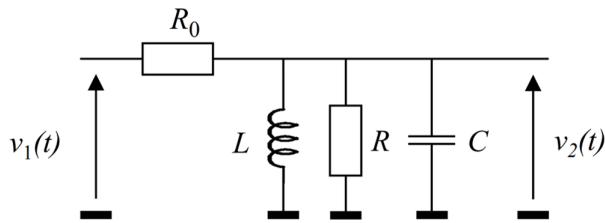


FIGURE 1.1 – Schéma du filtre

3. Déterminer l'expression de $\underline{H}_F(\omega)$ et la mettre sous la forme :

$$\underline{H}_F(\omega) = \frac{H_0}{1 + jQ_F \left[x - \frac{1}{x} \right]}$$

avec $x = \frac{\omega}{\omega_0}$, ω_0 étant la pulsation propre du filtre.

Expliciter littéralement Q_F , H_0 et la fréquence caractéristique f_0 .

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

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

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

B - Étude de l'amplificateur

On considère deux structures possibles à placer en sortie du filtre pour amplifier le signal (figures 1.2a et 1.2b). Le circuit U1 est un amplificateur linéaire intégré supposé idéal.

6. Déterminer, en précisant bien les hypothèses faites, les fonctions de transfert de ces deux structures, notées respectivement A_1 et A_2 .

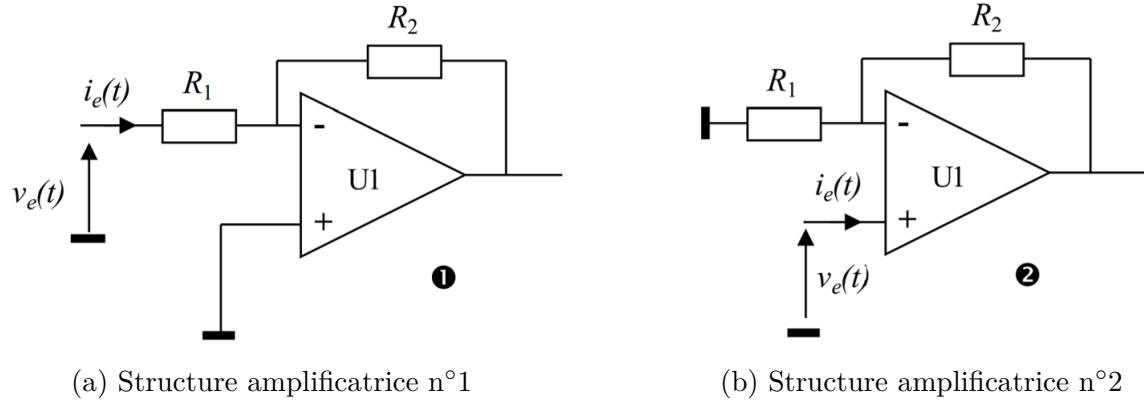


FIGURE 1.2 – Montages amplificateurs à ALI

7. 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.
8. 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 :

$$H_{FA} = \frac{H_1}{1 + jQ \left[x - \frac{1}{x} \right]}$$

expliciter H_1 et Q .

C - 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 1.3.

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 .

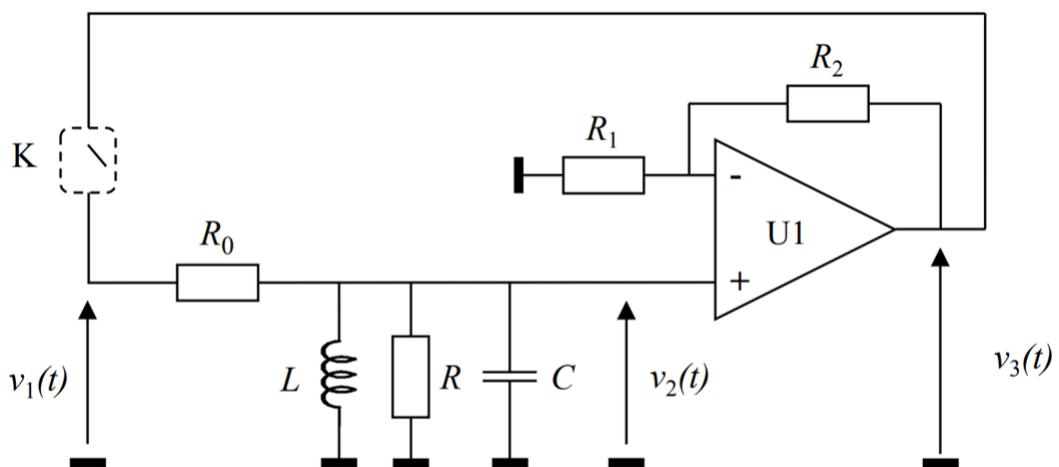


FIGURE 1.3 – Structure bouclée associant le filtre et l'étage amplificateur

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

9. 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.

10. À quelle condition sur H_1 cela sera-t-il possible ?
11. Que vaut la fréquence d'oscillation pendant la phase de démarrage ?
12. À quelles conditions la fréquence des oscillations peut-elle être considérée comme égale à la fréquence propre du filtre ?
13. 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.

D - 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.

D.1 - Oscillateur quasi-sinusoidal

On considère (figure 1.4) le schéma théorique de l'oscillateur comme à la figure 1.3. On suppose qu'il fonctionne en régime permanent et pour simplifier, on fait l'hypothèse que l'oscillateur est de type quasi-sinusoidal. Les signaux $v_1(t)$, $v_2(t)$ et $v_3(t)$ sont alors considérés comme sinusoidaux, 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} .

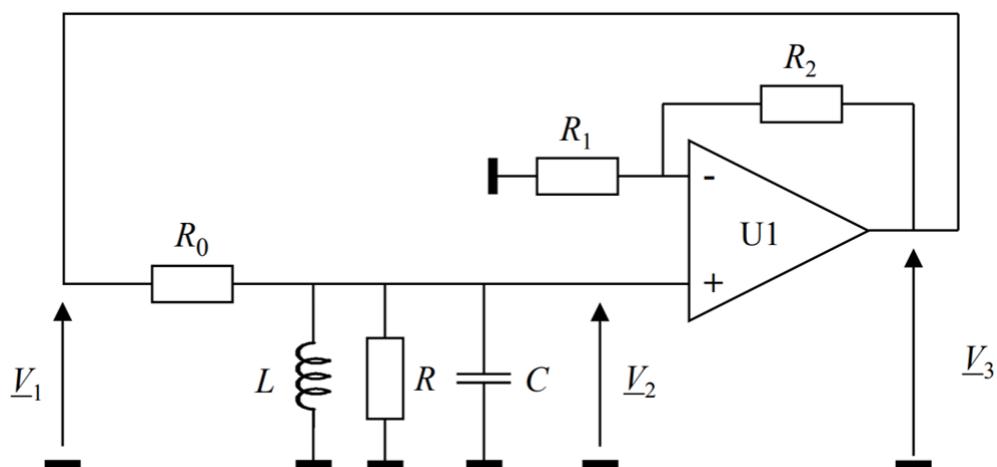


FIGURE 1.4 – Oscillateur considéré en fonctionnement sinusoïdal

14. Exprimer \underline{V}_2 en fonction de \underline{V}_1 , \underline{V}_3 en fonction de \underline{V}_2 et \underline{V}_1 en fonction de \underline{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.
15. Montrer que la condition d'oscillation conduit à la relation $\arg[\underline{H}_F(\omega)] = 0$.

D.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.

16. 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.

17. 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 $\delta\psi = 1^\circ$.
18. 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 ?
19. Conclure sur la façon d'améliorer la qualité de l'oscillateur.

II - Clignotement d'une LED

Le but de cet exercice est de proposer un modèle de circuit électronique pouvant contrôler le phénomène de clignotement d'une lampe à LED.

On considère le circuit électronique représenté sur la figure 2.1 :

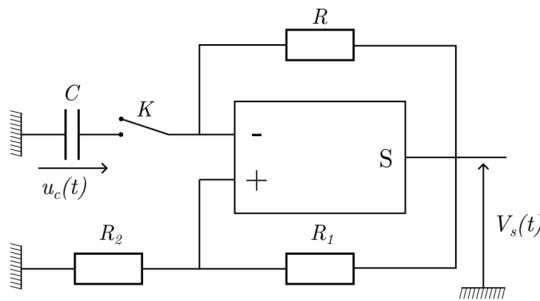


FIGURE 2.1 – Le circuit proposé pour l'alimentation de la LED

On note V_+ le potentiel électrique à l'entrée non-inverseuse, et V_- le potentiel électrique à l'entrée inverseuse.

20. Rappeler ce qui caractérise un ALI idéal de gain infini, et tracer l'allure de la caractéristique $V_s = f(V_+ - V_-)$ sous ces hypothèses.

Dans la suite, on supposera l'ALI idéal de gain infini. À $t = 0$, le condensateur est déchargé et on ferme l'interrupteur K . La tension de sortie $V_s(t = 0^+)$ vaut alors $+V_{\text{sat}}$ juste après la fermeture de K . L'ALI fonctionne en régime saturé.

21. Déterminer l'équation différentielle vérifiée par $u_c(t)$ après la fermeture de l'interrupteur.
22. Montrer qu'à un instant t_1 à exprimer en fonction de R_1 , R_2 , et R et C , la tension V_s bascule de $+V_{\text{sat}}$ à $-V_{\text{sat}}$.
23. Montrer que la sortie va basculer de nouveau de $-V_{\text{sat}}$ à $+V_{\text{sat}}$ à l'instant t_2 tel que :

$$t_2 = t_1 + RC \ln \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right)$$

Par une méthode similaire, on peut montrer que la sortie va basculer à nouveau de $+V_{\text{sat}}$ à $-V_{\text{sat}}$ à l'instant t_3 tel que $t_3 - t_2 = t_2 - t_1$, ce que l'on pourra admettre dans la suite.

24. Représenter sur un même graphique les évolutions temporelles de $u_c(t)$, $V_+(t)$ et $V_s(t)$ entre $t = 0$ et $t = t_3$.
25. On construit ce montage avec $R = 470,0 \text{ k}\Omega$, $C = 500,0 \text{ nF}$, $R_1 = 1,000 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 3,300 \text{ k}\Omega$. Exprimer la fréquence de l'oscillateur en régime établi. L'application numérique donne $f = 1,049 \text{ Hz}$.
26. On dispose au laboratoire des composants requis, sauf pour le condensateur : on ne dispose que de condensateurs de capacité $1,000 \mu\text{F}$. Comment peut-on faire pour construire quand même le montage avec les valeurs de la question précédente ? Justifier.

Un groupe de 16 ingénieurs et ingénieres en devenir construit alors individuellement ce montage, avec les valeurs indiquées à la question 25.. On relève précisément pour chacun des 16 montages la fréquence mesurée. Voici les résultats obtenus, indiqués en Hz, ainsi que la valeur moyenne et l'écart-type :

1,016	1,041	1,081	1,047	1,023
1,051	1,093	1,073	1,019	1,065
1,087	1,041	1,029	1,075	1,051

Moyenne : $\bar{f} = 1,053 \text{ Hz}$

Écart-type : $\sigma = 0,026 \text{ Hz}$

27. Pourquoi les différents expérimentateurs et expérimentatrices obtiennent-ils des valeurs différentes ? Déterminer la valeur numérique de l'incertitude-type sur la fréquence de l'oscillateur $u(f)$ que l'on peut déduire de cette série de valeurs. Calculer l'écart normalisé (ou Z-score) entre la valeur de la fréquence calculée à la question 25. et celle obtenue par cette expérience et commenter le résultat obtenu.

La lampe utilisée est une LED ne s'allumant que si la tension à ses bornes est positive, et consommant une puissance de 25 W lorsqu'elle est allumée. On envisage de la brancher directement entre la sortie de l'ALI et la masse.

28. Ce montage seul permet-il de générer le clignotement de la lampe ? Justifier la réponse.

III - Régulation du niveau d'un bassin

Document - Données pour la partie

Tension de saturation de l'ALI : $U_{\text{sat}} = 10 \text{ V}$

Loi entrée-sortie du capteur de niveau : $u_{cn} = \alpha h$, avec $\alpha = 5 \text{ V/m}$

Résistance : $R = 100 \text{ k}\Omega$

Hauteurs d'eau extrémales : $h_{\text{min}} = 0,40 \text{ m}$, $h_{\text{max}} = 1,00 \text{ m}$

Aire du réservoir : $S = 100 \text{ m}^2$

Altitudes d'entrée et de sortie : $z_e = -5 \text{ m}$, $z_s = 2 \text{ m}$

Tuyaux d'aspiration et de refoulement : longueur totale $L = 20 \text{ m}$, diamètre $d = 4 \text{ cm}$

On utilise une pompe électrique alimentée par un ensemble panneau solaire/batterie afin de réguler le niveau d'eau d'un bassin (voir figure 3.1). L'eau est aspirée d'un réservoir d'aire S , dans lequel le niveau reste sensiblement constant à l'altitude z_e , par un tuyau de diamètre d . La pompe refoule l'eau par un tuyau de même diamètre débouchant à l'altitude z_s . La longueur totale des tuyaux d'aspiration et de refoulement est notée L . Un bassin contient de l'eau sur une hauteur h , le fond du bassin étant placé à l'altitude $z = 0$. L'air surmontant le bassin et le réservoir reste constamment à la pression atmosphérique P_{atm} . L'évaporation faisant baisser le niveau d'eau dans le bassin, on souhaite installer un système de régulation de la hauteur h .

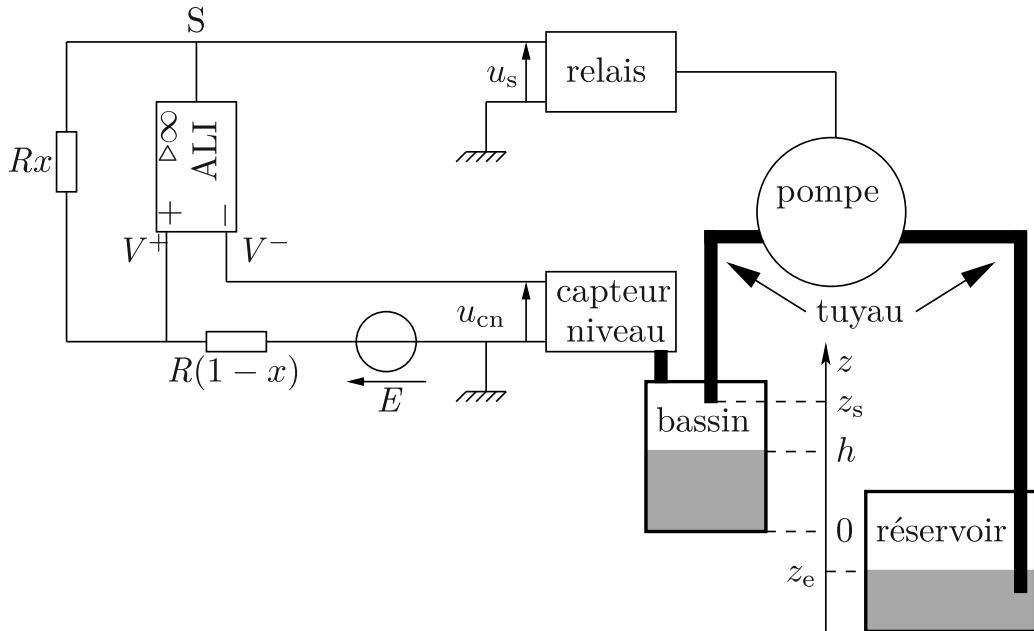


FIGURE 3.1 – Schéma de principe de la régulation.

Pour ce faire, on met en œuvre le montage électrique de la figure 3.1, utilisant un ALI supposé idéal de tension de saturation U_{sat} . Le capteur de niveau délivre une tension proportionnelle à la hauteur h : $u_{cn} = \alpha h$, avec α une constante positive. Le relais pilotant la pompe est commandé par la tension de sortie u_s de l'ALI, de telle sorte que :

- ▷ si $u_s = +U_{sat}$: le relais est fermé, la pompe fonctionne et injecte de l'eau dans le bassin ;
- ▷ si $u_s = -U_{sat}$: le relais est ouvert et la pompe est à l'arrêt.

On cherche les valeurs de la tension $E > 0$ et du coefficient $x \in [0, 1]$ permettant de maintenir h entre des valeurs minimale et maximale imposées, respectivement notées h_{min} et h_{max} .

29. Préciser, en le justifiant, le régime de fonctionnement de l'ALI dans ce montage.
30. Exprimer le potentiel V^+ à l'entrée non inverseuse de l'ALI en fonction de la tension de sortie u_s , de E et de x .
31. Étudier la valeur de la tension de sortie u_s en fonction de celle de u_{cn} . En déduire la représentation graphique $u_s = f(u_{cn})$ en faisant apparaître les valeurs remarquables. Quelle est la fonction réalisée par ce bloc ?
32. Expliquer en quelques phrases en quoi ce montage est susceptible de réaliser la régulation souhaitée.

- 33.** Déterminer le système d'équations littérales que doivent satisfaire les paramètres E et x afin d'assurer cette régulation.
- 34.** Calculer les valeurs numériques de E et x correspondantes.