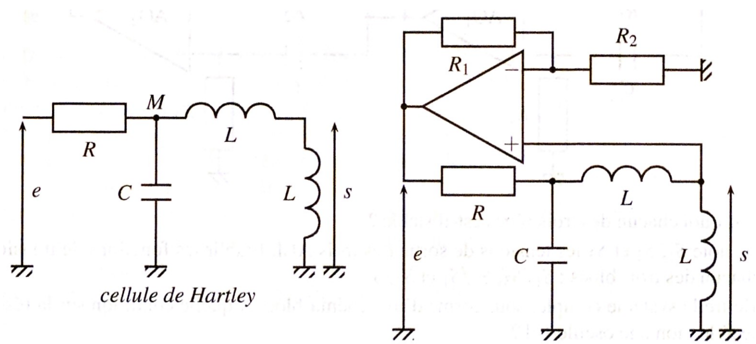
TD3 - Oscillateurs

Remarque générale : sauf indication contraire, les ALI sont considérés dans tous les exercices comme idéaux.

1 Oscillateur de Hartley

On réalise le montage ci-dessous, à gauche, nommé cellule de HARTLEY.



Q1. Établir sa transmittance $H(p)$.

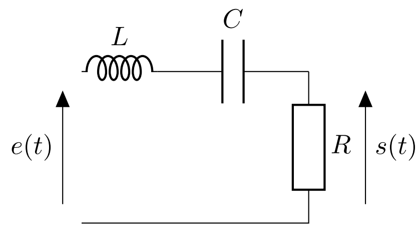
Q2. On insère la cellule de HARTLEY dans le montage à amplificateur opérationnel ci-dessus, à droite. À quelle condition sur R_1 et R_2 le montage oscille-t-il ?

Q3. Comment obtenir des oscillations sinusoïdales ? Quelle est alors leur pulsation ω_{osc} ?

Q4. Proposer dans ce dernier cas une expression mathématique pour $e(t)$ puis $s(t)$. Que valent leurs amplitudes ?

2 Oscillateur à filtre RLC

On considère le circuit RLC ci-dessous, avec $R = 2,5.10^2\,\Omega$, $C = 4,7\,\mathrm{nF}$ et $L = 740\,\mathrm{mH}$.



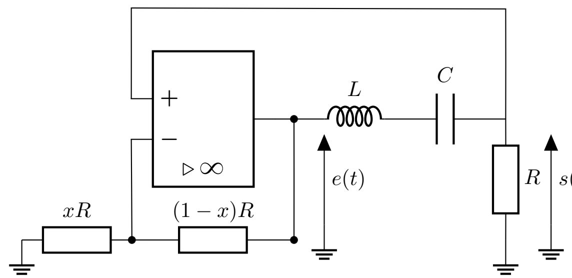
Q1. Établir la fonction de transfert sous la forme :

$$H(p) = H_0 \frac{2m\dfrac{p}{\omega_0}}{1 + 2m\dfrac{p}{\omega_0} + \left(\dfrac{p}{\omega_0}\right)^2}$$

Identifier numériquement les valeurs de H_0, m et ω_0. De quel type de filtre s'agit-il ?

Q2. Calculer numériquement le facteur de qualité Q du circuit. Le filtre est-il sélectif ? Expliquer.

Q3. On boucle le circuit RLC sur un circuit à amplificateur opérationnel. Le schéma du montage est donné ci-dessous :



a. À quelle condition sur x le montage oscille-t-il spontanément ?

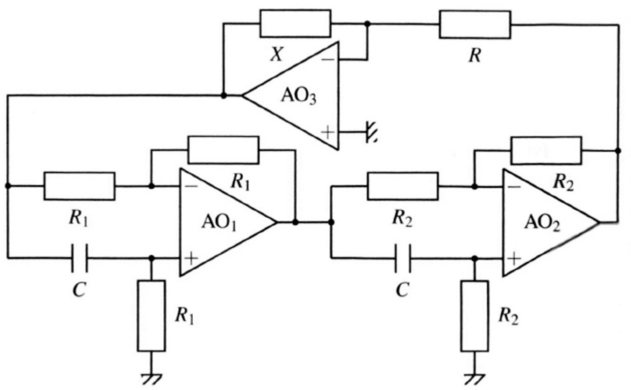
b. À quelle condition les oscillations sont-elles sinusoïdales ? Quelle est alors leur pulsation ?

c. Quelle est l'amplitude des oscillations sinusoïdales observées au niveau de la tension $s(t)$?

d. Qui, de e ou de s, est la tension la plus sinusoïdale ? Expliquer.

3 Oscillateur à 3 ALI

Le montage suivant comporte trois blocs, autour de chaque amplificateur opérationnel, tous considérés idéaux.



Q1. Pourquoi chacun des trois blocs est-il stable ?

Q2. On note S_1, S_2 et S_3 les tensions de sortie des trois ALI. Établir les fonctions de transfert de chacun des trois blocs : $\dfrac{S_1}{S_3}$, $\dfrac{S_2}{S_1}$, $\dfrac{S_3}{S_2}$.

Q3. Mettre le système complet sous forme d'un schéma-bloc. À quelle condition sur la résistance X le montage oscille-t-il ?

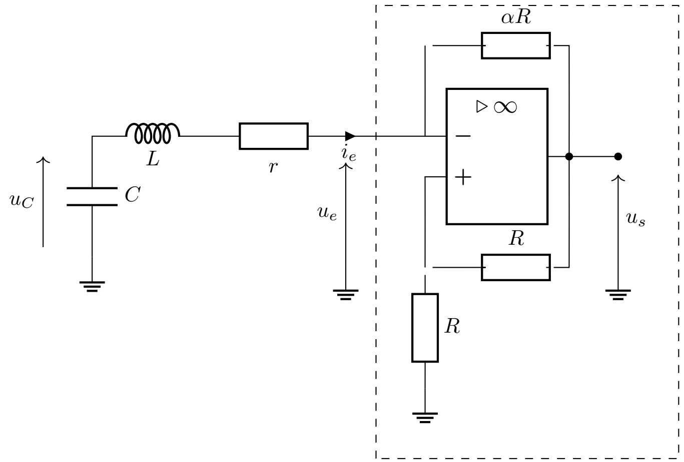
Q4. Par quoi l'amplitude des oscillations est-elle limitée ?

Q5. Pour quelle valeur X_0 de X a-t-on des oscillations quasi-sinusoïdales ? À quelle pulsation ?

Q6. Dans le cas des oscillations quasi-sinusoïdales, les trois signaux de sortie des amplificateurs opérationnels ont-ils la même amplitude ? Sont-ils en phase ?

4 Oscillateur à résistance négative

Le montage suivant simule une résistance négative.



Q1. On suppose que l'ALI fonctionne en régime linéaire. Donner la relation $u_e(i_e)$ lorsque $|u_s| < V_{sat}$.

Q2. Faire de même lorsque $|u_s| = V_{sat}$. On distinguera les cas $u_s = +V_{sat}$ et $u_s = -V_{sat}$.

Q3. Tracer la caractéristique complète $u_e(i_e)$ en faisant apparaître les frontières des zones de fonctionnement.

Démarrage des oscillations

Q4. Donner l'équation différentielle vérifiée par le courant i_e en supposant qu'à $t = 0$ celui-ci est nul et la tension u_e également.

Q5. À quelle condition les oscillations peuvent-elle démarrer ? Justifier le résultat obtenu par un critère énergétique.

Q6. Dans les conditions initiales théoriques supposées ci-dessus, que se passe-t-il ? Pratiquement, les oscillations démarrent malgré tout. Quels phénomènes le permettent ?

Stabilisation de l'amplitude

Q7. Donner l'équation différentielle vérifiée par i_e lorsque l'ALI est saturé.

Q8. On suppose que les valeurs de L et C sont telles que des oscillations peuvent s'observer. Justifier que l'amplitude de ces oscillations se stabilise.

Q9. La forme du signal est-elle sinusoïdale ? Que peut-on attendre de son spectre ?

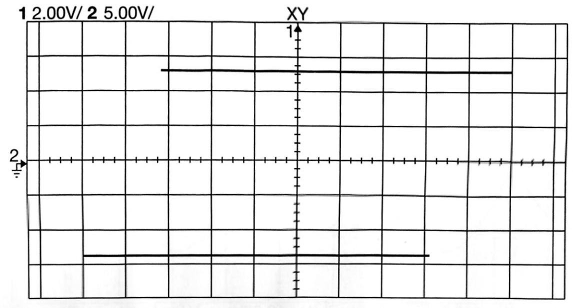
5 Étude expérimentale d'oscillateurs

En travaux pratiques, un étudiant manipule avec un amplificateur linéaire intégré (ALI) et deux résistors de valeurs caractéristiques différentes.

Q1. Quelle(s) précaution(s) opératoires doit-il utiliser pour pouvoir travailler dans l'hypothèse d'un comportement idéal de l'ALI ?

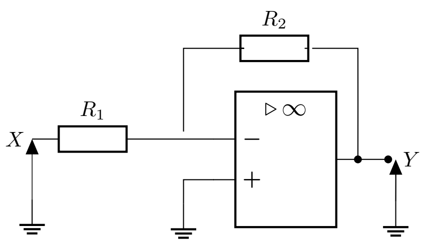
Q2. Dans une première manipulation, l'étudiant utilise un des résistors pour effectuer une rétroaction de la sortie de l'amplificateur sur l'une des entrées et l'autre pour connecter la même entrée au générateur de signaux variables. La seconde entrée du circuit intégré est mise à la masse.

Sur l'oscilloscope, dont la voie X (Ch 1) correspond au signal délivré par le générateur de signaux variables et dont la voie Y (Ch2) est branchée en sortie de l'amplificateur intégré, l'observation en mode $X-Y$ est celle de la figure ci-dessous :

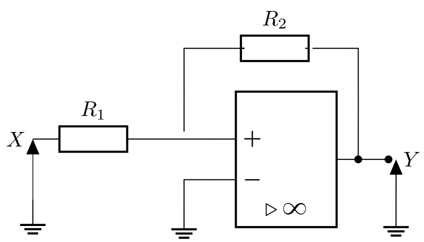


Que doit en conclure l'étudiant sur les propriétés de l'opérateur réalisé ? Peut-il le nommer ?

Q3. Le schéma réalisé est-il le circuit 1 ou le circuit 2 ? Justifier.



Circuit 1



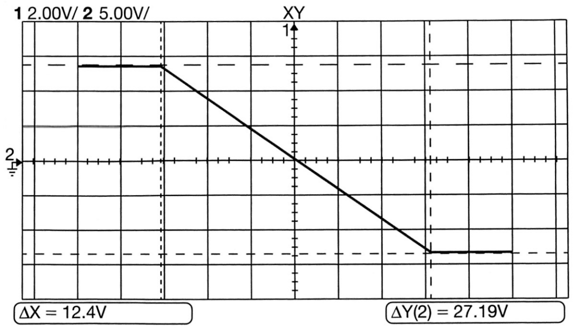
Circuit 2

Q4. L'amplitude (mesurée par rapport à la masse) du signal Y est 13,6 V, tandis que celle du signal d'entrée est 10 V. Par ailleurs, lorsque le signal de sortie change de signe, l'amplitude du signal d'entrée est égale à 6,4 V.

Les valeurs caractéristiques des résistors sont 33 $k\Omega$ et 68 $k\Omega$. Quelle valeur correspond à R_1 ? R_2 ? Justifier la réponse.

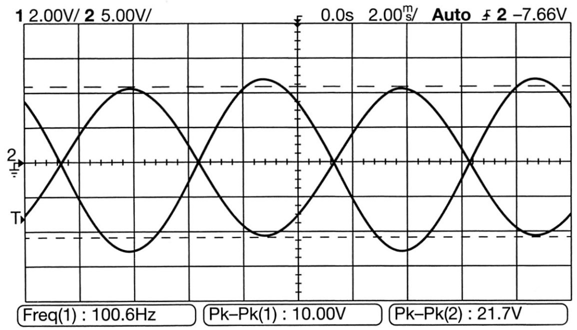
Q5. L'étudiant décide d'obtenir un amplificateur inverseur dont la valeur absolue du gain est supérieure à l'unité. Quel schéma doit-il employer ?

Q6. Il reprend les observations précédentes, avec un signal émis par le générateur sinusoïdal et de fréquence égale à 100 Hz. Le relevé en mode XY est donné ci-dessous :



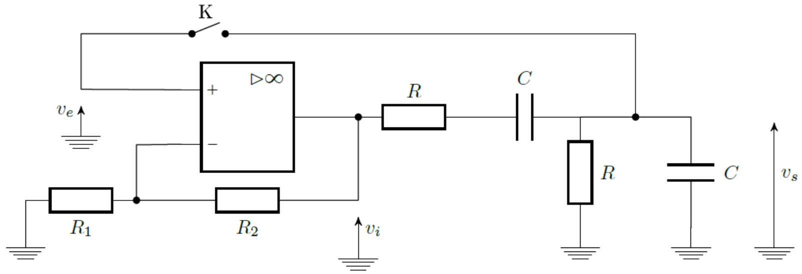
L'étudiant a-t-il obtenu l'opérateur désiré ? Quel en est le mode de fonctionnement ?

Q7. Quelle action sur le générateur de signaux variables permet d'obtenir les oscillogrammes de la figure suivante ? Commenter les observations (forme, amplitude, phase des signaux).



Q8. Les amplitudes crêtes-à-crêtes des signaux sont lisibles sur le bandeau inférieur du relevé expérimental (mode de mesure automatique d'un oscilloscope numérique). Le gain obtenu est-il conforme aux valeurs de résistances employées ?

6 Oscillateur à pont de Wien



Q1. Quel est le régime de fonctionnement de l'ALI ?

Q2. Identifier l'amplificateur et le résonateur et donner leur fonction de transfert.

Q3. Donner la condition pour que le système oscille, en déduire la fréquence des oscillations et une condition sur R_1 et R_2.

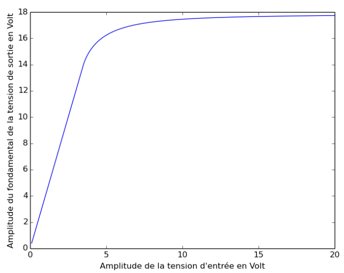
Démarrage

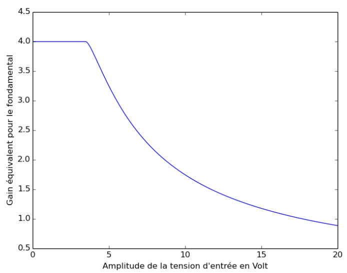
Q4. Donner l'équation différentielle régissant l'évolution de v_s. À quelles conditions les oscillations démarrent-elles ?

Q5. Quel phénomène limite leur croissance ?

Stabilisation de l'amplitude

L'amplitude du fondamental (fréquence f_0) de la tension en sortie de l'amplificateur, $\hat{V}_{i,f0}$, a été relevé lorsque l'on fait varier l'amplitude du signal d'entrée. La courbe est donnée ci-dessous ainsi que celle du gain équivalent pour le fondamental $G_{f0} = \dfrac{\hat{V}_{i,f0}}{\hat{V}_e}$.



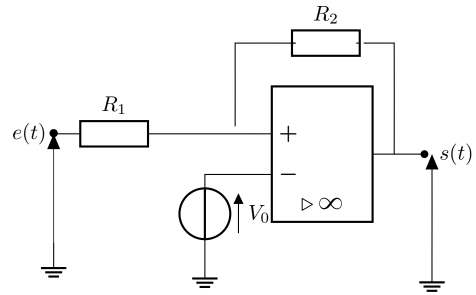


Q6. Justifier l'allure de ces courbes.

Q7. En utilisant le résultat de la question **Q3.**, déterminer graphiquement l'amplitude des oscillations.

7 Oscillateur à cycle décalé(*)

Soit le montage suivant :



V_0 est une tension constante. On posera $\alpha = \dfrac{R_1}{R_2}$.

Q1. Tracer le cycle d'hystérésis $s(e)$ du montage ci-dessus.

Q2. On boucle ce montage à hystérésis par un intégrateur pur de transmittance :

$$\frac{E}{S} = -\frac{1}{\tau p} \text{ avec } \tau > 0$$

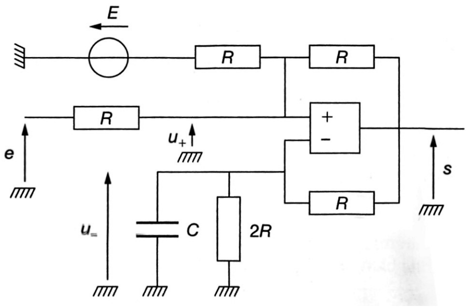
Proposer un montage très simple à amplificateur opérationnel qui réalise cette fonction intégratrice.

Q3. Tracer les formes d'onde de $e(t)$ et $s(t)$. Préciser l'amplitude et la période des signaux.

Q4. Attendu que la tension $e(t)$ est la sortie d'un amplificateur opérationnel, préciser les limites de variation de V_0.

8 Oscillateur commandé (*)

On considère le montage de la figure ci-contre. L'amplificateur utilisé est idéal et fonctionne en régime de saturation. Les tensions de saturation en sortie sont notées $+E$ et $-E$ ($E > 0$).



Q1. Déterminer la tension $u_+(t)$ en fonction de $e(t)$, $s(t)$ et E.

Q2. On suppose $e(t) = -E$. Montrer qu'en régime indépendant du temps, la tension de sortie $s(t)$ conserve toujours la même valeur qu'on déterminera.

Q3. On suppose désormais pour toute la suite $e(t) = +E$. Montrer que la tension de sortie $s(t)$ ne peut garder une valeur constante ($\pm E$) en régime établi.

Q4. Déterminer l'équation différentielle liant $u_-(t)$ à $s(t)$. On posera $\tau_a = \dfrac{2RC}{3}$.

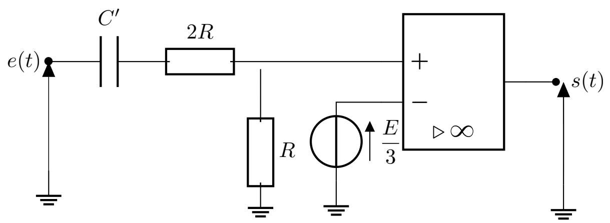
Q5. On choisit l'origine des temps telle que $u_-(0) = -\dfrac{E}{3}$ et $s(0) = +E$. Résoudre l'équation différentielle et donner l'expression de $u_-(t)$ pour $u_-(t) < \dfrac{E}{3}$. Que se passe-t-il à l'instant où $u(t_0) = \dfrac{E}{3}$? Que se passe-t-il après ?

Q6. Tracer soigneusement pour une période du signal de sortie les graphes de $u_-(t)$ et $s(t)$.

Q7. En déduire la période T de $s(t)$ en fonction de τ_a.

9 Générateur d'impulsions (*)

On considère le montage ci-dessous.



Q1. La tension $e(t)$ est constante. Montrer que le montage possède, en régime établi indépendant du temps, un seul état stable ; donner la valeur de $s(t)$ correspondante.

Q2. Déterminer, en régime variable, l'équation différentielle liant $u^+(t)$ à $e(t)$. On posera $\tau_m = 3RC'$.

Q3. Pour $t < 0$, $e(t) = -E$. Ainsi, à l'instant $t = 0^-$,$e(0^-) = -E$; le régime établi est atteint. L'entrée bascule à $t = 0$ et $e(t)$ prend la valeur $e(0^+) = +E$. Déterminer la valeur de la discontinuité $\Delta u^+ = u^+(0^+) - u^+(0^-)$ de la tension $u(t)$ à l'instant $t = 0$.

Q4. Montrer que $u^+(0^-) = 0$.

Q5. Déterminer l'évolution de $u^+(t)$ pour $t > 0$.

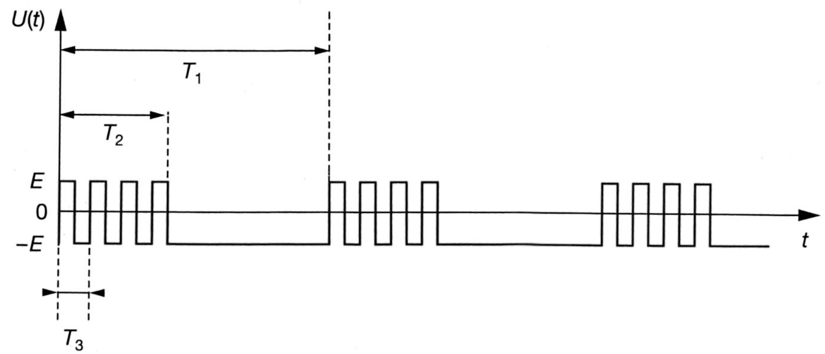
Q6. Examiner $\epsilon(t)$ pour $t > 0$ et préciser les valeurs de $s(t)$ en fonction de t.

Q7. La tension d'entrée $e(t)$ est un signal rectangulaire symétrique prenant les valeurs $+E$ et $-E$, de période T_e.

Tracer soigneusement, sur le même graphe, pour $T_e = 10\tau_m$ et pendant une période de $e(t)$, les tensions $e(t)$, $u^+(t)$ et $s(t)$.

Q8. On note T_2 le temps pendant lequel $s(t) = +E$ sur une période de $e(t)$. Calculer T_2 en fonction de τ_m.

Q9. On considère le montage de l'exercice précédent (*Oscillateur commandé*), noté $\mathrm{M_{osc}}$. Le montage "générateur d'impulsions" de cet exercice est noté $\mathrm{M_{imp}}$. Montrer que l'association en série $\mathrm{M_{osc}} + \mathrm{M_{imp}} + \mathrm{M_{osc}}$ permet d'engendrer un signal tel que celui de la figure ci-dessous. On précisera quel montage fixe T_1, lequel fixe T_2 et lequel fixe T_3.



Aides pour les exercices

Exercice 1

Q1. $H(p) = \dfrac{\frac{L}{R}p}{1 + \frac{2L}{R}p + 2LCp^2}$

Q2. Condition de démarrage des oscillations : $R_1 > R_2$

Q3. $R_1 = R_2$ et $\omega_{\text{osc}} = \dfrac{1}{\sqrt{2LC}}$

Q4. $e(t) = V_{\text{sat}} \cos(\omega_{\text{osc}} t + \varphi)$ et $s(t) = \dfrac{V_{\text{sat}}}{2} \cos(\omega_{\text{osc}} t + \varphi)$

Exercice 2

Q1. $H_0 = 1$, $m = \dfrac{R}{2}\sqrt{\dfrac{C}{L}} \simeq 1.0 \times 10^{-2}$, $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}} \simeq 17 \times 10^3\ \text{rad}\,\text{s}^{-1}$
Il s'agit d'un filtre passe-bande d'ordre 2

Q2. $Q = \dfrac{1}{2m} = \dfrac{1}{R}\sqrt{\dfrac{L}{C}} \simeq 50.2$. La bande-passante $\Delta f = \dfrac{f_0}{Q}$ est 50 fois plus faible que la fréquence de résonance : le filtre est sélectif.

Q3. **a.** Revenir à l'équation différentielle pour en déduire $x < 1$; **b.** Oscillations sinusoïdales si $x = 1$, alors $\omega = \omega_0$; **c.** Amplitude xV_{sat} ; **d.** Tension en sortie du filtre : $s(t)$.

Exercice 3

Q1. Rétroactions uniquement négatives.

Q2. $\dfrac{S_1}{S_3} = \dfrac{jR_1C\omega - 1}{jR_1C\omega + 1}$, $\dfrac{S_2}{S_1} = \dfrac{jR_2C\omega - 1}{jR_2C\omega + 1}$, $\dfrac{S_3}{S_2} = -\dfrac{X}{R}$.

Q3. On écrit l'équation différentielle portant (par exemple) sur $S_3(t)$ pour déterminer $X > R$.

Q4. Saturation de l'ALI.

Q5. $X_0 = R$; $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{R_1R_2C^2}}$

Q6. Mêmes amplitudes, S_2 et S_3 en opposition de phase mais pas de relation particulière de phase entre S_1 et les autres signaux.

Exercice 4

Q1. $u_e = -\alpha R i_e$

Q2. $u_s = +V_{\text{sat}}$: $u_e = \alpha R i_e + V_{\text{sat}}$; $u_s = -V_{\text{sat}}$: $u_e = \alpha R i_e - V_{\text{sat}}$

Q3. Distinguer les cas $\varepsilon < 0$ et $\varepsilon > 0$ pour déterminer les valeurs des intensités où le changement de régime s'effectue.

Q4. $\dfrac{\mathrm{d}^2 \underline{i_e}}{\mathrm{d}t^2} + \dfrac{r - \alpha R}{L}\dfrac{\mathrm{d}\underline{i_e}}{\mathrm{d}t} + \dfrac{1}{LC}\underline{i_e} = 0$

Q5. Démarrage à partir de $r = \alpha R$. Justification par un critère énergétique : compensation des pertes par effet Joule dans le circuit rLC.

Q6. En théorie : équilibre instable, pas d'oscillations observables. En pratique : petites perturbations dans le circuit viennent démarrer les oscillations.

Q7. $\dfrac{\mathrm{d}^2 \underline{i_e}}{\mathrm{d}t^2} + \dfrac{r + \alpha R}{L}\dfrac{\mathrm{d}\underline{i_e}}{\mathrm{d}t} + \dfrac{1}{LC}\underline{i_e} = 0$

Q8. Étude d'un oscillateur amorti : la tension u_e décroît (en valeur absolue) et le système tend vers le régime linéaire.

Q9. Sortie d'ALI : signal saturé, donc présence d'harmoniques (signal **quasi**-sinusoïdal).

Exercice 5

Q1. Critère sur la fréquence ?

Q2. Comparateur à hystérésis positif (à justifier).

Q3. Circuit 2.

Q4. $R_1 = 33\,\text{k}\Omega$ et $R_2 = 68\,\text{k}\Omega$

Q5. Étudier le circuit 1...

Q6. Fonctionnement désiré obtenu (analyser le graphique en terme de gain et justifier les portions horizontales).

Q7. $e(t)$ est sinusoïdal, de fréquence .... Hz et d'amplitude ...... V. Le signal $s(t)$ est déphasé de ......, ce qui correspond bien à un montage inverseur.

Q8. Calcul du gain et comparaison avec **Q5.**.

Exercice 6

Q1. On suppose un fonctionnement en régime linéaire de l'ALI, malgré la double rétroaction car on reconnaît un oscillateur quasi-sinusoïdal.

Q2. Amplificateur : $A = 1 + \dfrac{R_1}{R_2}$. Résonateur : $\underline{B} = \dfrac{jRC\omega}{1 + 3jRC\omega + (jRC\omega)^2}$

Q3. $R_2 = 2R_1$ et $\omega = \dfrac{1}{RC}$.

Q4. $R_2 > 2R_1$ en écrivant l'équation différentielle portant sur v_s.

Q5. Saturation de l'ALI.

Q6. Analyser les comportements linéaires et non linéaires du circuit pour justifier la courbe de droite.

Q7. Gain maximal : 4.

Exercice 7

Q1. Reprendre le raisonnement de cours pour un comparateur à hystérésis positif.

Q2. cf. cours (chapitre 2) : montage intégrateur.

Q3. Formes d'onde = chronogrammes = tracés des fonctions $e(t)$ et $s(t)$. Commencer par supposer que $s(t) = +V_{\text{sat}}$ pour analyser le montage global.

Q4. $|V_0| = V_{\text{sat}} \left(\dfrac{1-\alpha}{1+\alpha}\right)$

Exercice 8

Q1. $u_+(t) = \dfrac{e(t)+s(t)-E}{3}$

Q2. Établir l'équation différentielle entre $s(t)$ et $u_-(t)$ en régime permanent de fonctionnement. En déduire la valeur de ε, puis $s(t) = -E$.

Q3. Reprendre le calcul de ε dans ce cas.

Q4. cf. **Q2.** : $\dfrac{2}{3}s(t) = \tau_a \dfrac{\mathrm{d}u_-}{\mathrm{d}t}(t) + \dfrac{3}{2}u_-$.

Q5. Commutation pour $u_- = \dfrac{E}{3}$. La solution de l'équation différentielle pour $t \in [0, t_0]$ donne $u_-(t) = \dfrac{E}{3}\left(2 - 3\exp\left(-\dfrac{t}{\tau_a}\right)\right)$.

Q6. Reprendre les questions précédentes pour la représentation graphique des signaux.

Q7. $T = 2\tau_a \ln(3)$

Exercice 9

Q1. Etablir l'équation différentielle portant sur $e(t)$ et $\varepsilon(t)$ en régime permanent. En déduire que $\varepsilon < 0 \forall t$, donc $s = -E$.

Q2. $u^+ + \tau_m \dfrac{\mathrm{d}u^+}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\tau_m}{3}\dfrac{\mathrm{d}e}{\mathrm{d}t}$

Q3. Continuité des potentiels aux bornes de C + pont diviseur de tension : $\Delta u^+ = \dfrac{2}{3}E$.

Q4. cf. **Q2.** et régime établi.

Q5. $u^+(t) = \dfrac{2}{3}E\exp\left(-\dfrac{t}{\tau_m}\right)$

Q6. $s = +V_{\text{sat}}$ pour $t < \tau_m \ln(2)$ et $s = -V_{\text{sat}}$ au delà.

Q7. Résoudre l'équation différentielle de **Q2.** pour obtenir $u^+(t)$ et reprendre **Q6.** pour tracer $s(t)$.

Q8. $T_2 = \tau_m \ln(2)$

Q9. Le circuit i impose T_i avec $i \in [|1, 2, 3|]$ (à justifier).