

# 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 : 4h

## I - Oscillateur quasi-sinusoïdal

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.

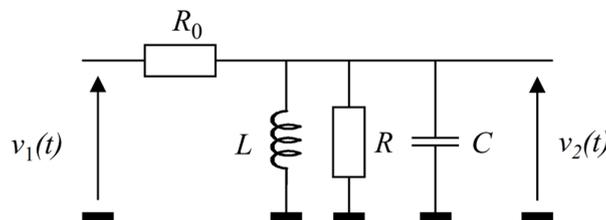


FIGURE 1.1 – Schéma du filtre

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  $x = \frac{\omega}{\omega_0}$ ,  $\omega_0$  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  $G_{\text{dB}}$  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  $\underline{A}_1$  et  $\underline{A}_2$ .

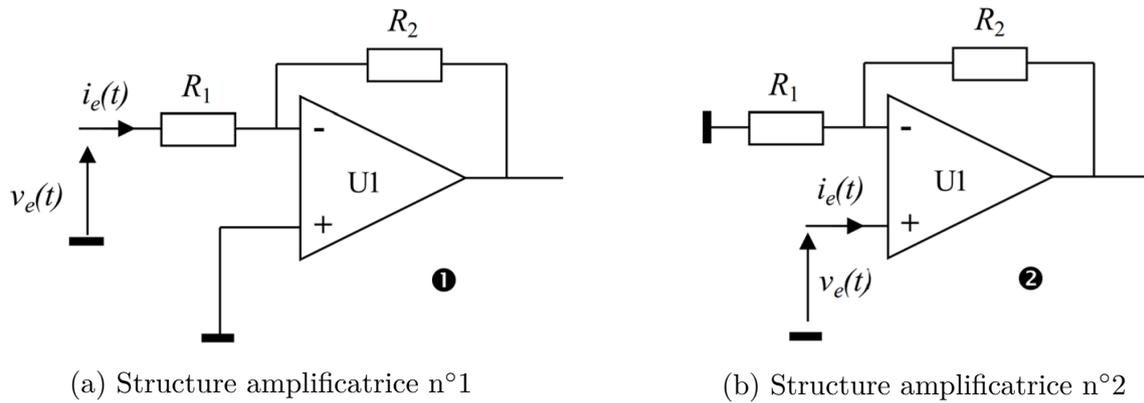


FIGURE 1.2 – Montages amplificateurs à ALI

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 :

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

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  $K$ .

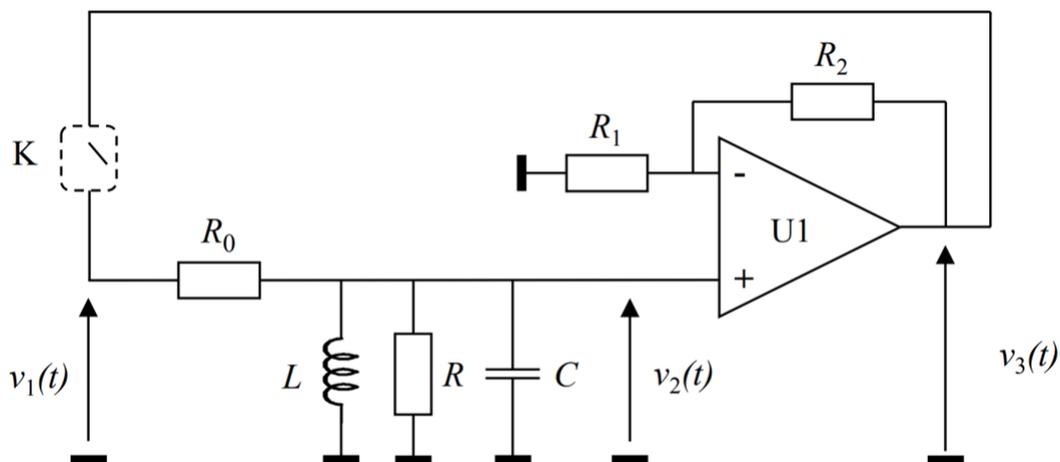


FIGURE 1.3 – Structure bouclée associant le filtre et l'étage amplificateur

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 - Oscillateur réel et modélisation de dipôle

### D.1 - Schéma réel de l'oscillateur

Le schéma réel de l'oscillateur est donné figure 1.4, indiquant les composants réactifs **réels** à implémenter sur un circuit imprimé.

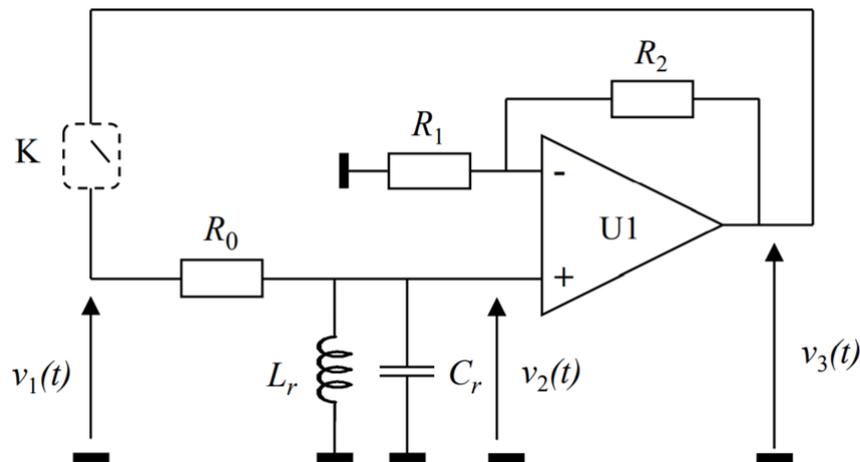


FIGURE 1.4 – Schéma réel de l'oscillateur

14. Quelle différence voit-on entre les schémas des figures 1.3 et 1.4 ?
15. Quel composant du schéma figure 1.4 peut expliquer le fait que les deux schémas puissent être équivalents ? Faire alors un commentaire sur la valeur de  $R$  donnée plus tôt et en déduire alors qu'ici on modélise la bobine réelle par une association parallèle d'une bobine idéale et d'une résistance  $R$ .

### D.2 - Réalisation d'une inductance

On considère une bobine de longueur  $\ell_B$  comportant  $N_{sp}$  spires jointives de section  $S_B$ . 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 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  $\sigma_{Cu} = 5,88 \cdot 10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ . 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.

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

On considère trois spires successives  $Sp_1$ ,  $Sp_2$  et  $Sp_3$  comme indiquées sur la Figure 1.5. On appelle  $C_i$  la capacité d'un condensateur formé par deux spires adjacentes.

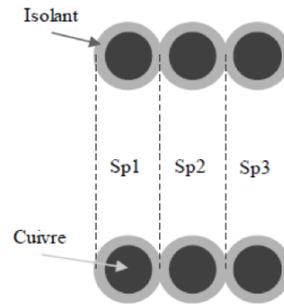


FIGURE 1.5 – Trois spires adjacentes  $Sp_1$ ,  $Sp_2$ ,  $Sp_3$

17. En considérant comment sont placés les condensateurs formés par  $\{Sp_1 - Sp_2\}$  d'une part et  $\{Sp_2 - Sp_3\}$  d'autre part, déterminer la capacité résultant de l'ensemble des spires.
18. Comment tenir compte de ce condensateur, que l'on peut qualifier de « parasite », dans un nouveau schéma équivalent complet de la bobine.
19. Quelles sont les conséquences de la présence de ce condensateur parasite ?

## E - 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.

### E.1 - Oscillateur quasi-sinusoidal

On considère (figure 1.6) 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  $\underline{A}$ .

20. 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.
21. Montrer que la condition d'oscillation conduit à la relation  $\arg[\underline{H}_F(\omega)] = 0$ .

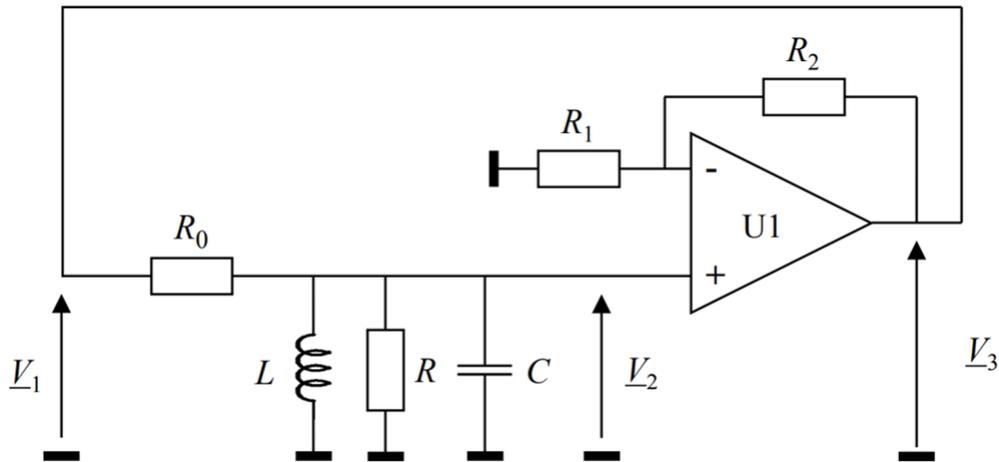


FIGURE 1.6 – Oscillateur considéré en fonctionnement sinusoïdal

### E.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.

**22.** 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.

**23.** Dédurre, 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  $\delta\psi = 1^\circ$ .

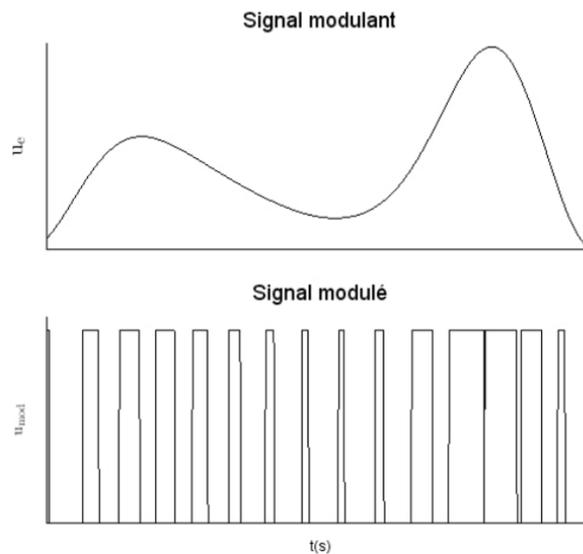
**24.** Que se passe-t-il si la fluctuation  $\delta\psi$  varie au cours du temps mais avec une amplitude faible? Quel serait alors l'aspect du spectre du signal de l'oscillateur?

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

## II - La modulation de largeur d'impulsion

### Document - Modulation de Largeur d'impulsion

La modulation de largeur d'impulsion est un processus électronique permettant de générer un signal quasi-sinusoidal à partir de signaux créneaux souvent numériques ou bien issus d'onduleurs <sup>a</sup>.



Le principe consiste à générer des impulsions électroniques à intervalles réguliers mais dont la largeur temporelle va dépendre d'un signal « modulant ». C'est la valeur de tension de ce signal qui va déterminer la largeur de l'impulsion.

<sup>a</sup>. Dispositif de conversion électronique de puissance permettant de convertir un signal continu en signal alternatif.

### A - Modulation de largeur d'impulsion : réalisation analogique

On considère le montage de la figure 1.7a mettant en jeu un ALI supposé idéal auquel on applique :

- ▷ un signal modulant  $u_e(t)$
- ▷ une tension « dents de scie »  $u_{scie}(t)$  de période  $T$  dont l'allure temporelle est représentée en figure 1.7b.

26. Rappeler les caractéristiques d'un Amplificateur Linéaire Intégré idéal de gain infini.
27. L'ALI fonctionne-t-il en régime linéaire ou en régime saturé ? Quelle fonction réalise un tel montage ?

La tension  $u_{scie}(t)$  a une période  $T$  et atteint une valeur maximale  $U_{max}$ .

28. Déterminer la pente  $a$  des rampes de la tension  $u_{scie}(t)$  en fonction de  $T$  et de  $U_{max}$ .

On considère un signal modulant continu :  $u_e(t) = U_0$ .

29. Déterminer, les durées  $\tau_+$  et  $\tau_-$ , correspondant respectivement aux temps passés en saturation haute et en saturation basse durant une période  $T$  en fonction de  $U_0$ ,  $U_{max}$  et  $T$ . Représenter graphiquement le signal  $u_{mod}(t)$  en sortie de l'ALI entre  $t = 0$  et  $t = 3T$ .

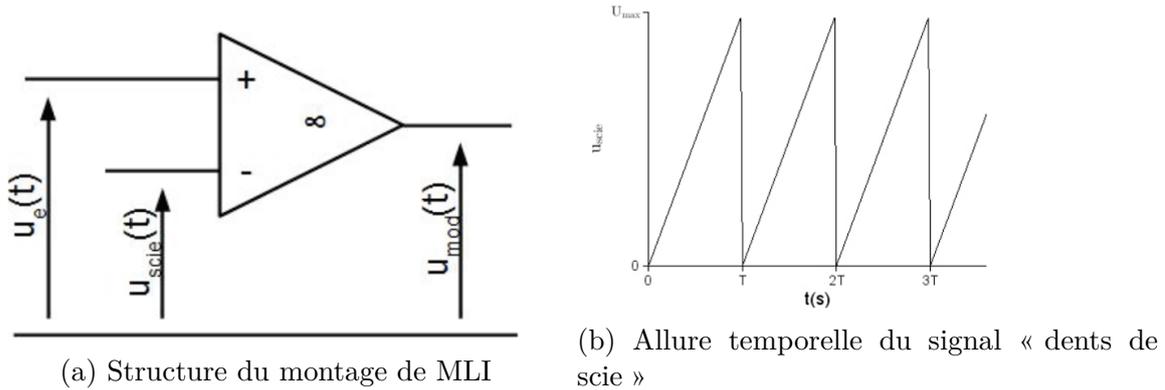


FIGURE 1.7

30. Que se passe-t-il si  $U_0 > U_{\max}$  ?

On considère maintenant comme signal modulant  $u_e(t)$  un signal sinusoïdal de période  $T_e = 5T$ , de valeur basse 0 et de valeur haute  $U_{\max}$  (atteinte pour  $t = 0$ ). On prendra  $f_e = \frac{1}{T_e} = 1$  kHz, la fréquence du signal modulant.

31. Donner l'équation horaire de  $u_e(t)$ .

32. Représenter le spectre de  $u_e(t)$ .

33. On a représenté en figure 1.10 de l'Annexe à rendre avec la copie le signal  $u_e(t)$  sur une période. Représenter sur le même graphique les signaux  $u_{\text{scie}}(t)$  et  $u_{\text{mod}}(t)$ . On note  $V_{\text{sat}}$  la tension de saturation positive de l'ALI. On prendra pour le tracé graphique :  $V_{\text{sat}} = \frac{U_{\max}}{2}$ .

34. On réalise expérimentalement la modulation de largeur d'impulsion. Pour savoir comment obtenir le signal modulant à partir du signal modulé (démodulation), on observe le spectre du signal à la figure 1.8. En vous appuyant sur le spectre obtenu, proposer, en le justifiant, le type de filtre permettant de démoduler le signal  $u_{\text{mod}}(t)$ . On précisera ses caractéristiques.

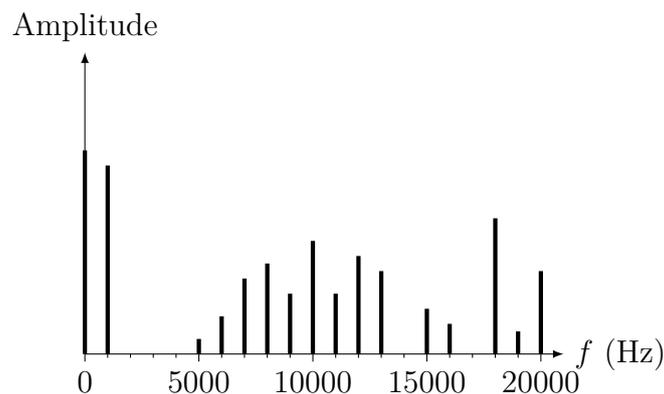


FIGURE 1.8 – Spectre du signal modulé

## B - Réalisation d'un signal « dents de scie »

Le principe de cette modulation est basé sur l'utilisation d'un signal « dents de scie ». On se propose ici d'étudier une façon de créer un tel signal. On considère le montage suivant (les ALI sont supposés idéaux) :

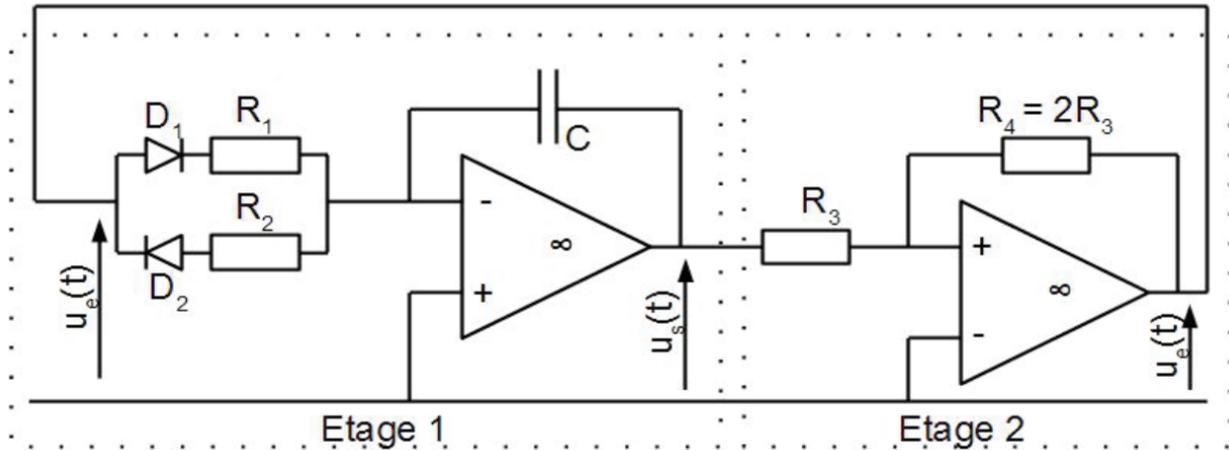


FIGURE 1.9 – Montage générateur de dents de scie

35. Rappeler les ordres de grandeur des impédances d'entrée et de sortie réelles d'un ALI.
36. Expliquer brièvement pourquoi peut commencer par étudier les deux étages 1 et 2 représentés sur le schéma séparément.

On considère l'étage 1. On admet que :

- ▷ Quand le signal  $u_e(t)$  est positif, la diode  $D_2$  est assimilable à un interrupteur ouvert et la diode  $D_1$  à un fil.
- ▷ Quand le signal  $u_e(t)$  est négatif, la diode  $D_2$  est assimilable à un fil et la diode  $D_1$  à un interrupteur ouvert.

37. Déterminer l'équation différentielle qui relie  $u_s(t)$  et  $u_e(t)$  quand  $u_e(t)$  est positive. Comment appelle-t-on un tel montage ?
38. Déterminer l'équation différentielle qui relie  $u_s(t)$  et  $u_e(t)$  quand  $u_e(t)$  est négative.

On considère maintenant l'étage 2.

39. Expliquer pourquoi on sait que l'ALI de l'étage 2 va fonctionner en régime de saturation.
40. On suppose que la sortie est en saturation haute  $u_e = V_{\text{sat}}$ . Déterminer les gammes de valeurs possibles pour  $u_s$ .
41. On suppose que la sortie est en saturation basse  $u_e = -V_{\text{sat}}$ . Déterminer les gammes de valeurs possibles pour  $u_s$ .
42. Représenter la caractéristique de transfert  $u_e(u_s)$ . Comment appelle-t-on un tel montage ?

On considère maintenant le montage entier. Il n'y a pas de « tension d'entrée » et la tension de sortie est la tension  $u_s(t)$ .

On suppose que, à  $t = 0$ , l'étage 2 vient de basculer en saturation haute  $u_e = V_{\text{sat}}$ .

43. Déterminer  $u_s(t = 0)$  puis l'équation littérale horaire de  $u_s(t)$  pour  $t > 0$ .

44. Déterminer la date  $t_1$  à laquelle l'étage 2 va basculer en saturation basse. On note  $\Delta t_{\text{haut}}$  la durée pendant laquelle l'étage 2 est en saturation haute. Expliciter littéralement  $\Delta t_{\text{haut}}$ .  
À  $t = t_1$ , l'étage 2 vient donc de basculer en saturation basse.
45. Déterminer l'expression littérale de  $u_s(t)$  pour  $t > t_1$ .
46. Déterminer la date  $t_2$  à laquelle l'étage 2 va basculer à nouveau en saturation haute. On note  $\Delta t_{\text{bas}}$ , la durée pendant laquelle l'étage 2 est en saturation basse. Déterminer littéralement  $\Delta t_{\text{bas}}$  et la période  $T$  du signal  $u_s(t)$ .
47. Représenter sur le graphique fourni dans la figure 1.11 de l'Annexe **à rendre avec la copie** les signaux  $u_s(t)$  et  $u_e(t)$  en supposant  $\Delta t_{\text{bas}} = 19\Delta t_{\text{haut}}$ .

On veut créer un signal « dents de scie » de fréquence  $f = 1$  MHz. On choisit  $C = 10$  pF. De plus, pour que le signal ressemble le plus au signal « dents de scie » de la figure 1.7b, on fixe  $\Delta t_{\text{bas}} = 19\Delta t_{\text{haut}}$ .

48. Déterminer les valeurs de  $R_1$  et  $R_2$  en fonction de  $C$  et  $f$ . Faire l'application numérique.

Annexe à rendre avec la copie

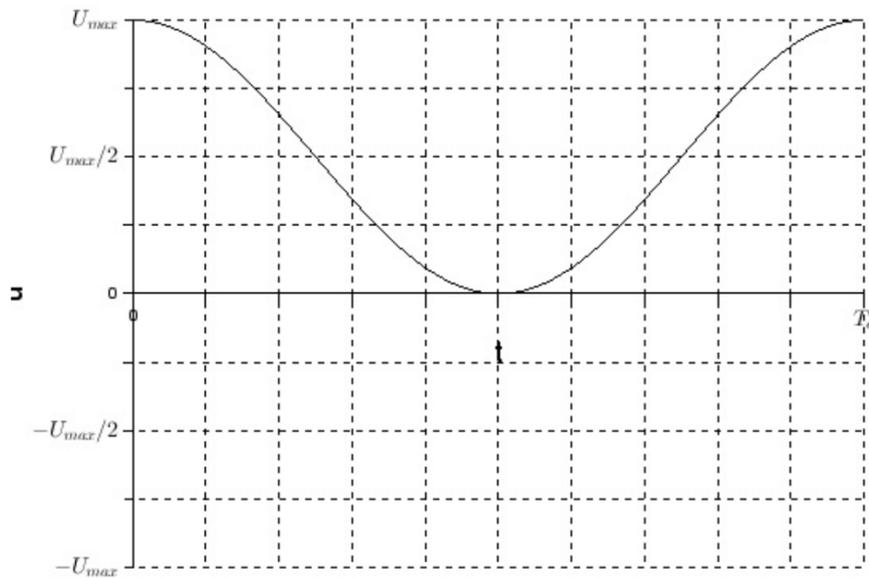


FIGURE 1.10 – Chronogramme du signal  $u_e(t)$  sur une période

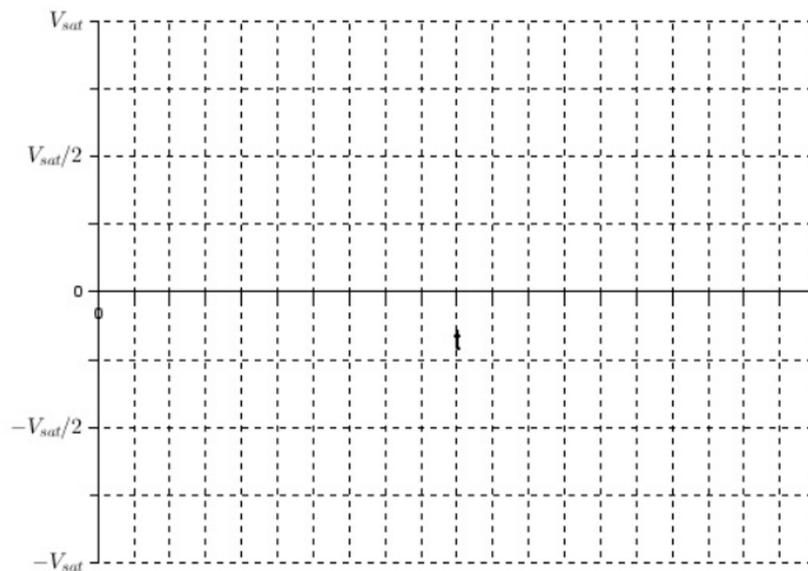


FIGURE 1.11 – Chronogramme à compléter : on fera apparaître les valeurs  $\Delta t_{haut}$  et  $\Delta t_{bas}$