

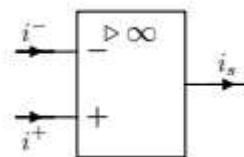
2026/2027

Thème : Rétroaction, décomposition spectrale

APPLICATIONS DIRECTES :**1. Modèle de l'ALI idéal de gain infini**

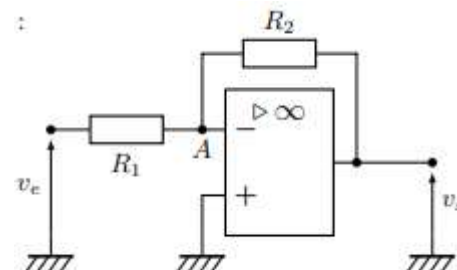
Pour chaque affirmation, répondre par vrai ou faux :

- L'impédance d'entrée de l'ALI idéal est infinie
- Les courants d'entrée i_+ et i_- de l'ALI idéal sont nuls
- Le courant de sortie i_s de l'ALI est toujours nul
- Les potentiels V_+ et V_- des entrées sont nuls en régime linéaire.

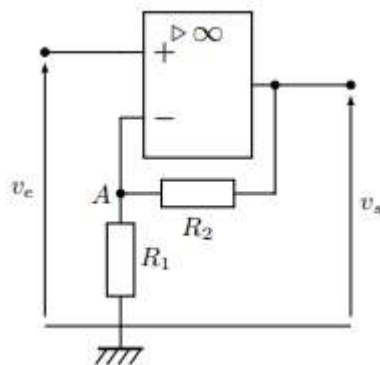
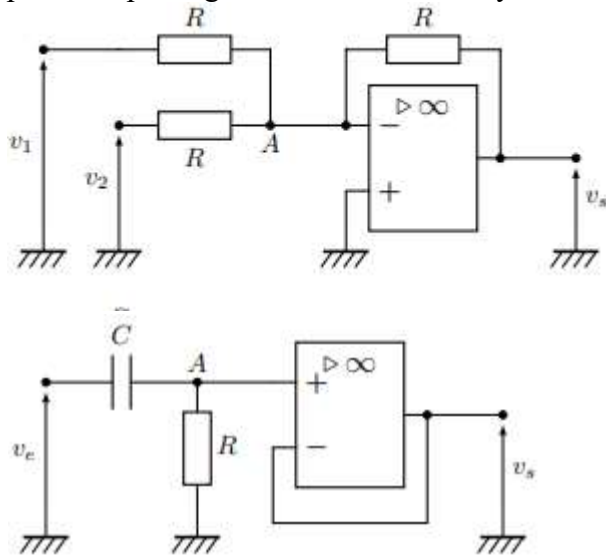
**2. Reconnaître un montage**

On considère le montage suivant :

- L'ALI peut-il fonctionner en régime linéaire ?
- Dans le cas du régime linéaire, quelle est la relation entre les potentiels V_+ et V_- des entrées inverseuse et non inverseuse ?
- Donner, en régime linéaire, le potentiel V_A du point A
- Sans calculs, quels est le nom de ce montage parmi les 4 que vous devez connaître.
- Etablir la relation entre v_e et v_s

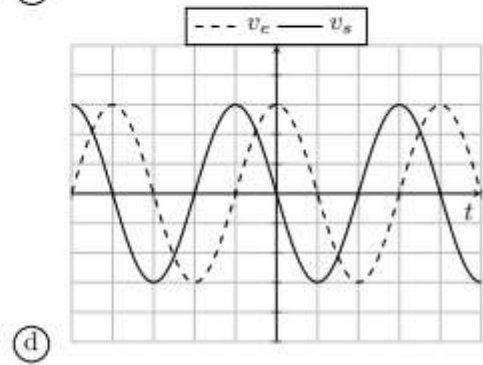
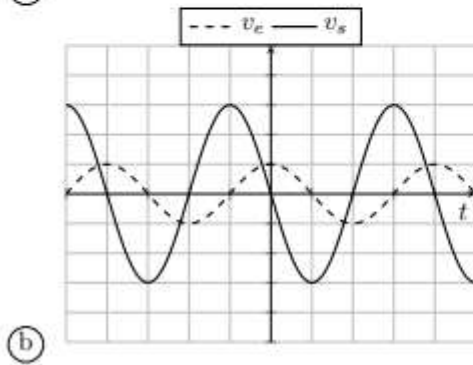
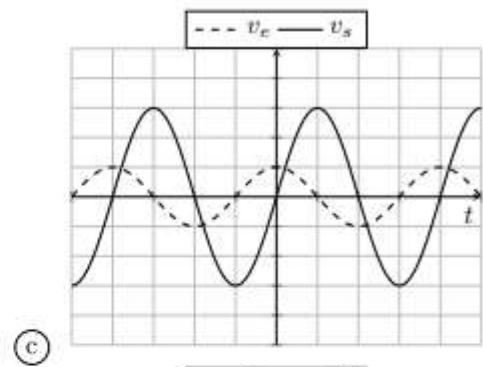
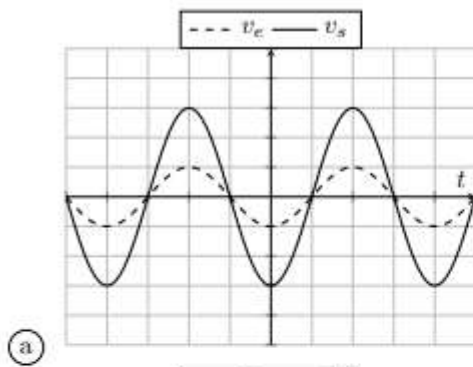
**3. Détermination de potentiels électriques**

Tous les ALI de cet exercice sont supposés fonctionner en régime linéaire.

Donner, pour chaque montage, le potentiel V_A du point A en fonction de v_e ou de v_s . Le potentiel peut également être nul. Il n'y a aucun calcul à faire.**4. Montage intégrateur inverseur alimenté par une tension sinusoïdale**Un montage intégrateur inverseur a pour fonction de transfert $\underline{H} = -\frac{1}{jRC\omega}$ avec $R = 11 \text{ k}\Omega$ et $C = 4,7 \text{ nF}$.

- Quel est le gain du montage intégrateur inverseur ?
- Quel est le déphasage de la tension de sortie v_s par rapport à v_e ?
- Pour $v_e = E \cos(\omega t)$, donner l'expression de v_s .

Les courbes suivantes représentent des allures temporelles de v_e (en pointillés) et v_s (en trait plein) en fonction du temps. Les réglages de l'oscilloscope sont les suivants :
calibre vertical : 1 V/division pour les deux voies ; calibre horizontal : 250 μs /division.

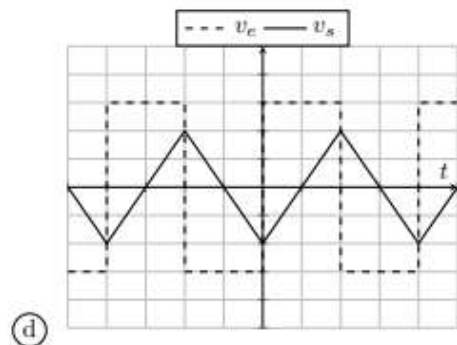
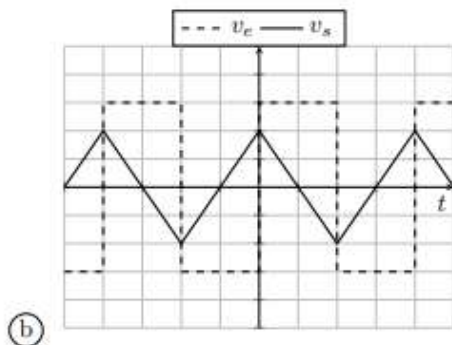
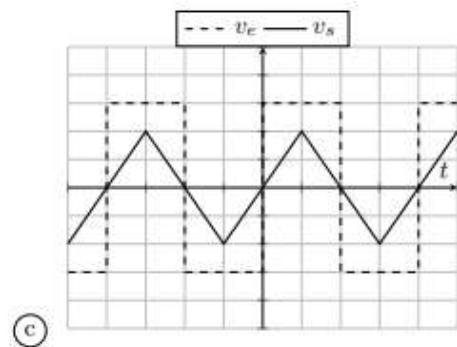
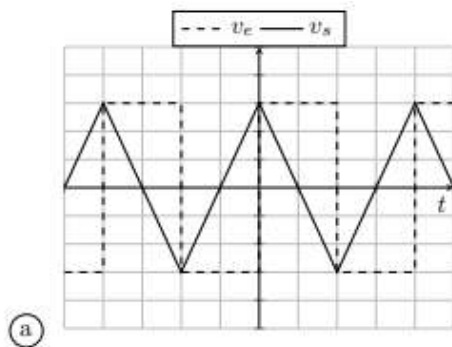


- d) Quelle est la fréquence de fonctionnement ?
 e) Quelle est la valeur numérique du gain à cette fréquence ?
 f) Quelle courbe est compatible avec les valeurs numériques données ci-dessus ?

5. Montage intégrateur inverseur alimenté par une tension carrée

Un montage intégrateur inverseur a pour fonction de transfert $\underline{H} = -\frac{1}{jRC\omega}$ avec $R = 15 \text{ k}\Omega$ et $C = 25 \text{ nF}$.

- a) Donner l'équation différentielle reliant v_s et v_e .
 b) Pour une tension constante $v_e = E$, donner l'expression temporelle de v_s . On ne se préoccupera pas de déterminer les éventuelles constantes d'intégration



Les courbes ci-dessus représentent des allures temporelles de v_e (en pointillés) et v_s (en trait plein) en fonction du temps. Les réglages de l'oscilloscope sont les suivants :

calibre vertical : 1 V/division pour les deux voies ; calibre horizontal : 250 μ s/division.

c) Quelle est la courbe compatible avec les valeurs numériques précédentes ?

6. ALI idéal de gain infini en régime linéaire

Faire les schémas des montages suiveur, inverseur, non-inverseur et intégrateur.

Pour chaque montage déterminer la relation entre $s(t)$ et $e(t)$, déterminer la valeur de l'impédance d'entrée et de l'impédance de sortie. Quel est l'intérêt d'un montage suiveur ?

On suppose que l'on est en régime sinusoïdal forcé. Représenter graphiquement de $s(e)$ pour les 3 premiers montages.

Représenter graphiquement $e(t)$ pour un signal carré de valeur moyenne nulle et d'amplitude E .

Pour les 4 montages, représenter $s(t)$ en concordance de temps avec $e(t)$. On exprimera les valeurs minimales et maximales de $s(t)$ en fonction de E , R_1 et R_2 pour les montages inverseur et non inverseur, en fonction de E , R , C et T , la période de $e(t)$ pour le montage intégrateur.

En concordance de temps, signifie mettre pour chaque situation $e(t)$ et $s(t)$ sur le même graphe. Il faut tracer un graphe par montage.

7. Comparateur à hystérésis

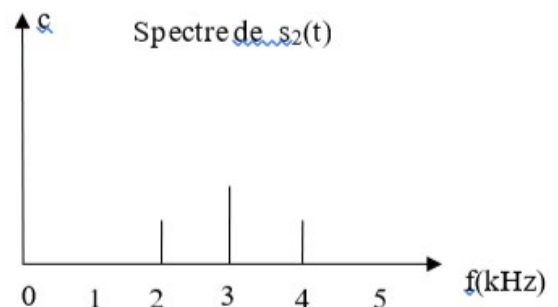
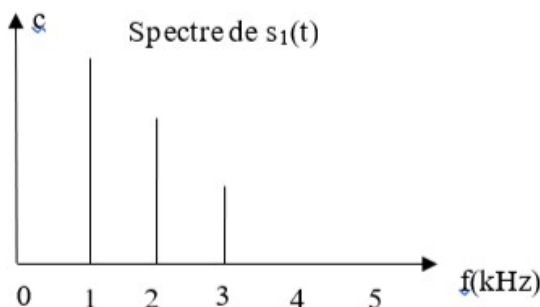
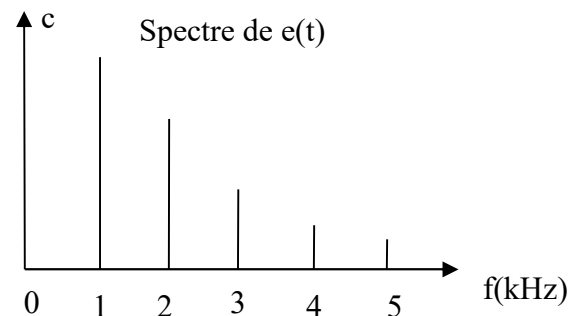
- Faire le schéma d'un comparateur à hystérésis formé par une résistance R et une résistance $2R$ en rétroaction positive. L'entrée étant sur l'entrée inverseuse.
- Pourquoi ce montage ne peut-il pas fonctionner en régime linéaire ?
- Donner en fonction de e , s et R l'expression de la tension différentielle du montage.
- Rappeler la condition nécessaire pour obtenir une saturation haute ? une saturation basse ?
- Tracer le cycle $s(e)$ de ce montage, avec le sens de parcours.
- On applique en entrée un signal $e(t) = E \cos(\omega t)$, tracer $s(t)$ si $E > V_{\text{sat}}/3$. Même question si $E < V_{\text{sat}}/3$

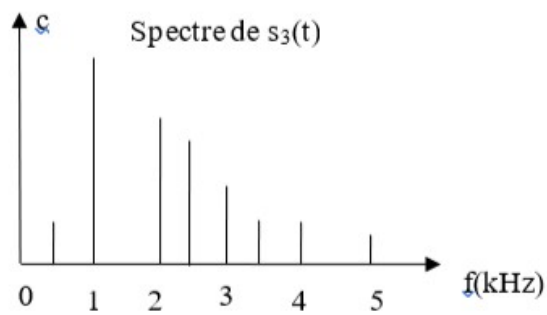
8. Filtre linéaire ou non :

On envoie sur trois différents filtres le signal $e(t)$ dont le spectre est donné ci-contre :

Les spectres du signal de sortie $s_1(t)$, $s_2(t)$ et $s_3(t)$ des filtres 1, 2 et 3 sont donnés ci-dessous :

- Conclure quant à la linéarité de ces filtres.
- Donner la nature des filtres linéaires.

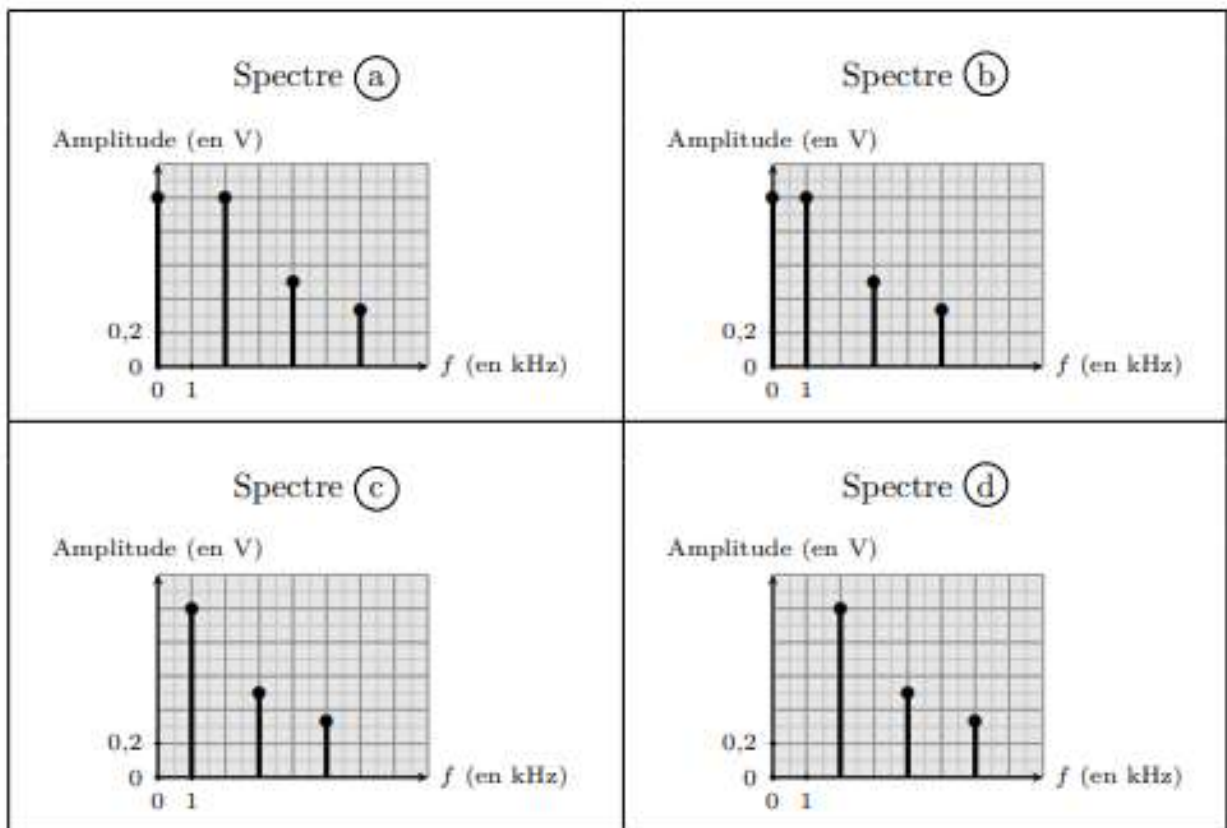




9. Associer spectre et signal

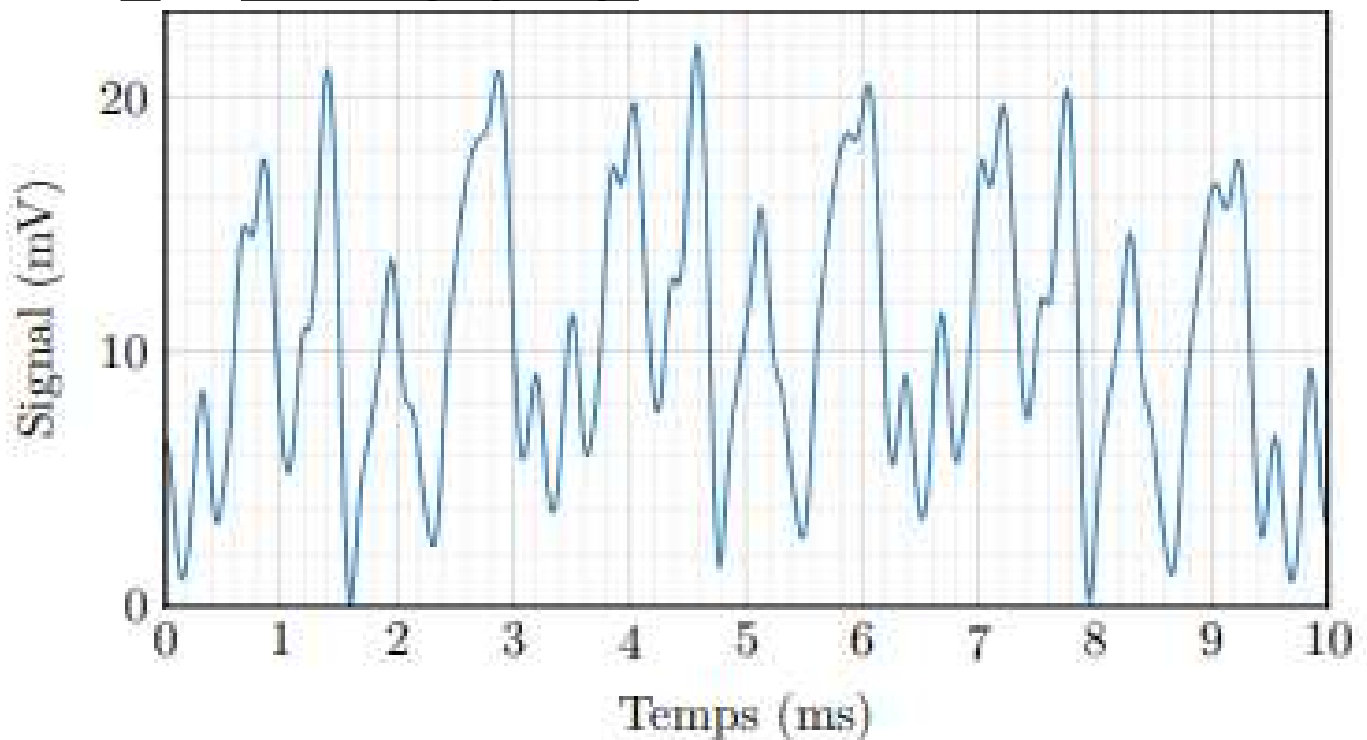
Un étudiant dispose de quatre spectres en amplitude et de quatre signaux.

Malheureusement, l'ensemble est mélangé. Pouvez-vous l'aider à associer le bon signal au bon spectre (a, b, c ou d) ?



Signal n° 1 $A_1 \left(\cos(\omega_0 t) + \frac{1}{2} \cos(3\omega_0 t) + \frac{1}{3} \cos(5\omega_0 t) \right)$ avec $A_1 = 1 \text{ V}$ et $f_0 = 1 \text{ kHz}$	Signal n° 2 $A_2 \left(1 + \sin(\omega_0 t) + \frac{1}{2} \sin(2\omega_0 t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega_0 t) \right)$ avec $A_2 = 1 \text{ V}$ et $f_0 = 2 \text{ kHz}$
Signal n° 3 $A_3 \left(\cos((\omega_0 - \omega_1)t) + \frac{1}{2} \cos((\omega_0 + \omega_1)t) + \frac{1}{3} \cos((\omega_0 + 3\omega_1)t) \right)$ avec $A_3 = 1 \text{ V}$, $f_0 = 3 \text{ kHz}$ et $f_1 = 1 \text{ kHz}$	Signal n° 4 $A_4 \left(1 + \sin(\omega_0 t) + \frac{1}{2} \sin(3\omega_0 t) + \frac{1}{3} \sin(5\omega_0 t) \right)$ avec $A_4 = 1 \text{ V}$ et $f_0 = 1 \text{ kHz}$

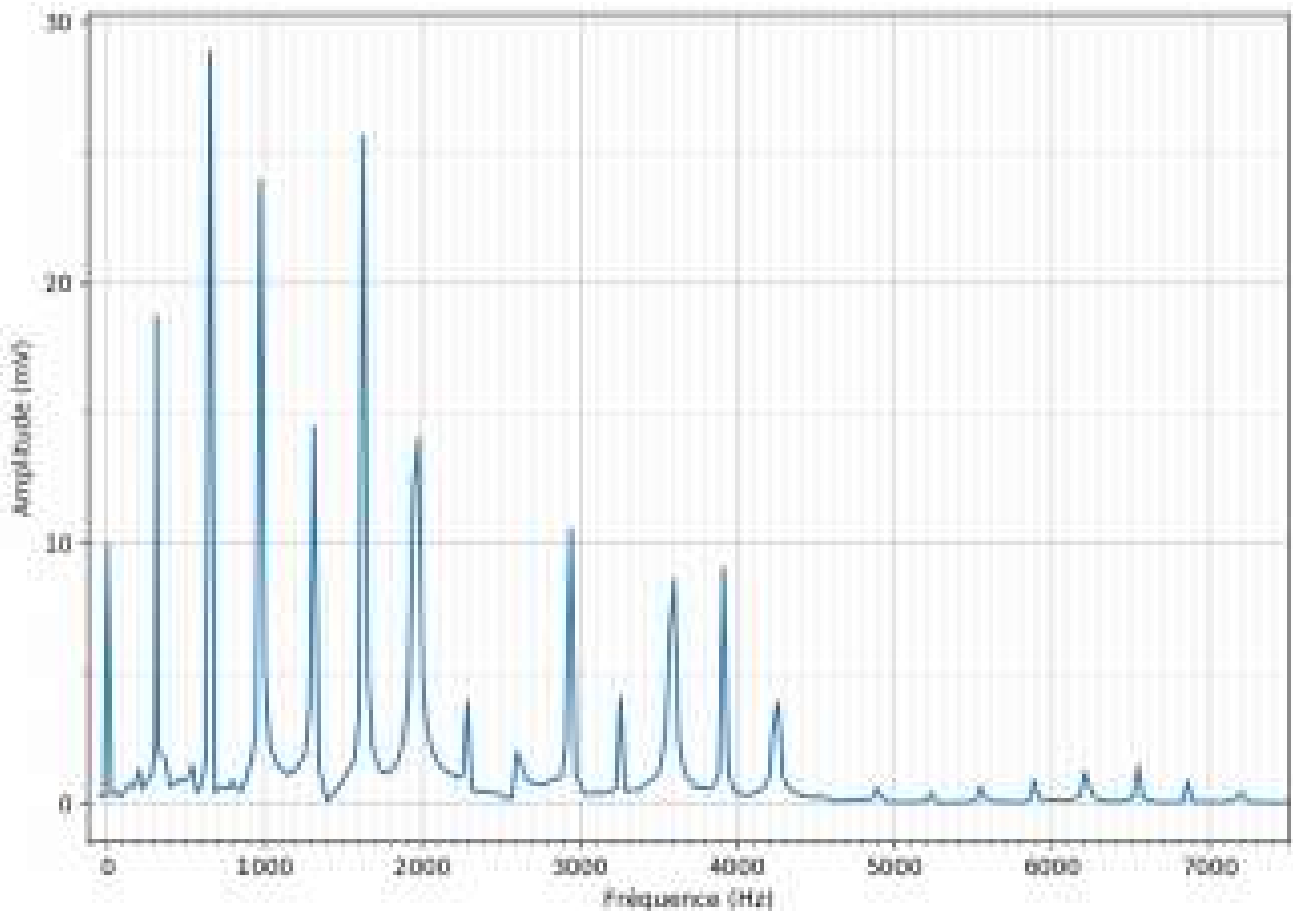
10. Etude d'un signal périodique



La figure ci-dessus montre un exemple de signal électrique à la sortie du micro d'une guitare électrique.

1. Donner une valeur approchée de la valeur moyenne de ce signal.

2. Donner une estimation de la valeur de la fréquence de ce signal (on peut supposer qu'en première approximation le signal est périodique).



3. L'analyse spectrale de ce signal fera-t-elle apparaître des harmoniques ? Justifier.

4. Le spectre du signal est tracé ci-dessus. Justifier qu'il est cohérent avec la représentation temporelle.

EXERCICES :

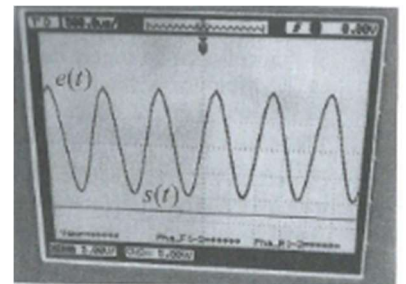
EXERCICES :

I. Un sinus bien récalcitrant !

Lors d'une séance de travaux pratiques un expérimentateur souhaite mettre en œuvre un montage suiveur à ALI. Afin de tester son montage, il met en entrée une tension sinusoïdale d'amplitude 5V.

a) Faire le schéma d'un montage suiveur et montrer qu'en régime linéaire $e(t) = s(t)$.

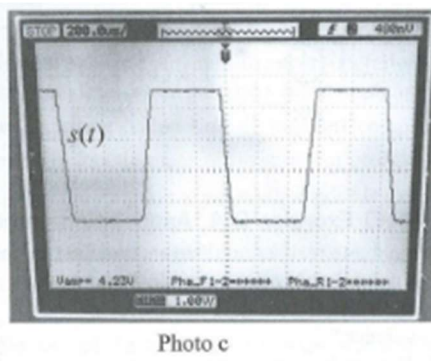
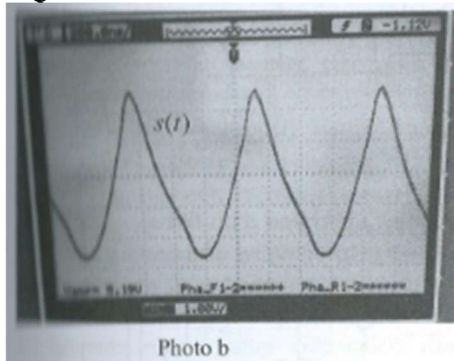
b) Une fois le câblage réalisé, l'expérimentateur obtient en sortie un signal continu $s(t) = -14,6 \text{ V}$, dont est reproduit ci-contre la photo de l'oscilloscope. Quelle erreur a-t-il probablement faite ?



c) Après avoir corrigé son erreur de câblage, il observe en sortie le signal de la photo b, quasitriangulaire ! La fréquence de $e(t)$ est 1,2 MHz. Le comportement du montage est-il linéaire ? Estimer la valeur du facteur limitant sachant que la mesure crête à crête du signal de sortie est 5V. Est-ce en accord avec la valeur attendue ? Quelle fréquence maximale ne doit-on pas dépasser pour que le signal sinusoïdal ne soit pas déformé ?

d) Après avoir abaissé la fréquence à 1 kHz et résolu son problème, l'expérimentateur utilise le suiveur pour alimenter une résistance $R_u = 100 \Omega$ placée entre la sortie et la masse, et là a nouveau, quel désarroi ! Il observe le signal de la photo c, proche d'un créneau +2,5 V / - 2 V. Le comportement du montage est-il linéaire ? Est-ce dû à une saturation en tension ? Proposer

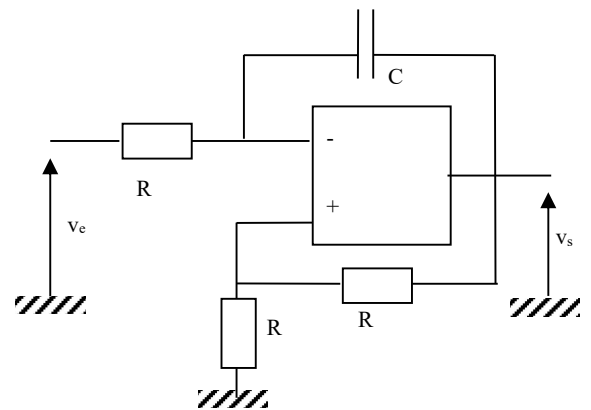
une explication du problème. Estimer la valeur de la saturation en cause. Est-ce en accord avec la valeur attendue ? Que pouvez-vous lui proposer pour l'aider à résoudre son problème s'il veut garder un signal de 10 V crête à crête en entrée ?



II. Etude de la stabilité du montage :

On considère le montage ci-contre. On suppose l'ALI idéal de gain infini.

1. A priori, ce montage est-il stable ?
2. Déterminer sa fonction de transfert et conclure.
3. Tracer l'allure de la réponse à un échelon de $1 \mu\text{V}$ lorsque $R = 1 \text{ k}\Omega$ et $C = 10 \text{ nF}$.



III. Etude d'un filtre à variables d'état

1. Justifier que dans les montages ci-dessous, les ALI idéaux de gain infini peuvent fonctionner en régime linéaire.
2. Pour chaque montage ci-dessous donner la relation liant la (les) amplitude(s) complexe(s) des tensions d'entrée à la tension de sortie. On posera $\omega_0 = 1/RC$. Nommer ces montages.

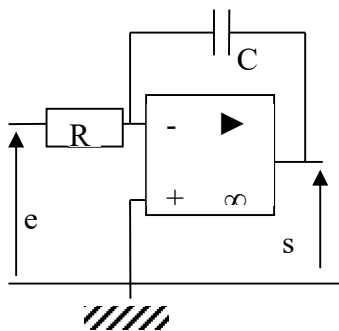


Figure 1

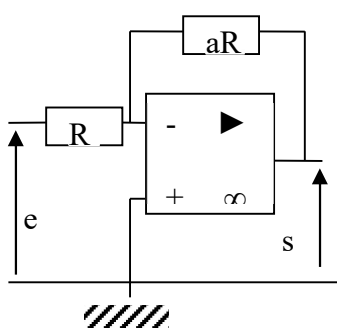


Figure 2

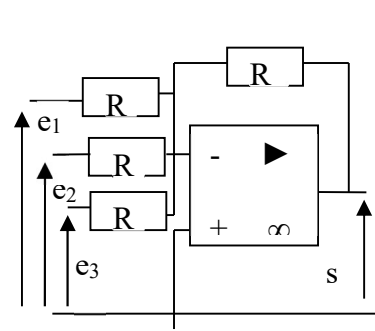


Figure 3

On considère maintenant le schéma électronique de la figure 4.

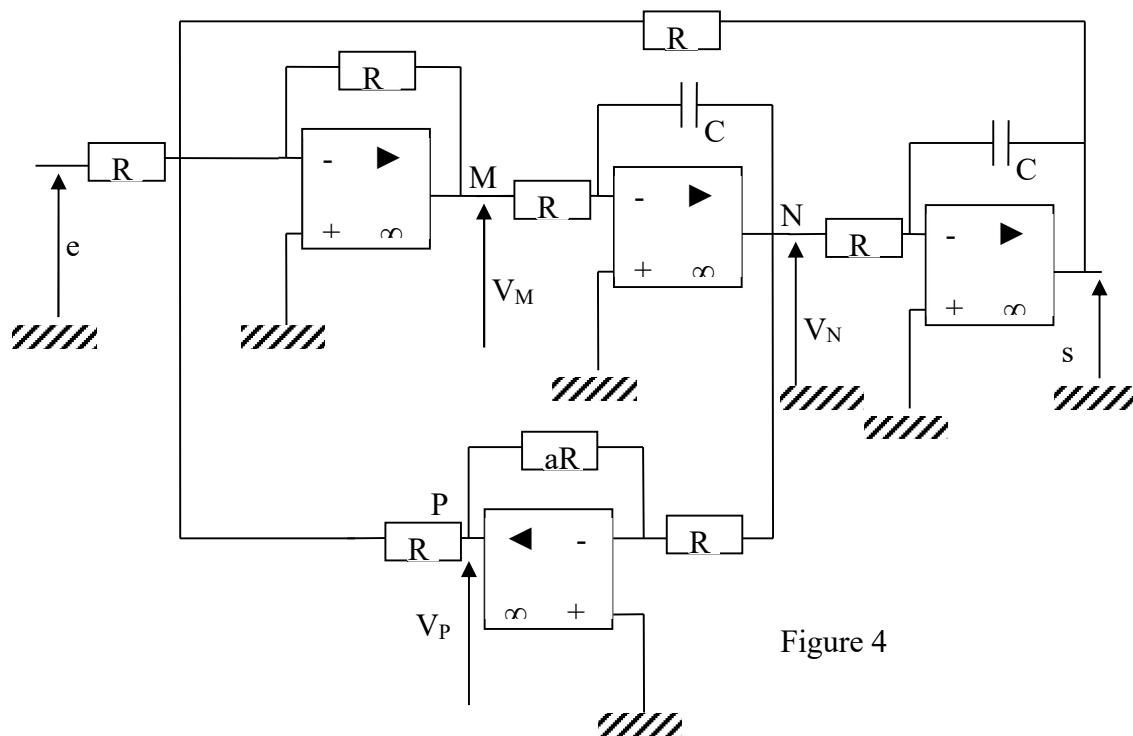


Figure 4

4. Quel est l'ALI de la figure 3 ? Repérer les ALI des figures 1 et 2.
5. Déterminer la fonction de transfert du montage de la figure 4 et caractériser le filtre obtenu.
6. Montrer que l'on peut obtenir une fonction de transfert semblable à la précédente à partir d'un dipôle RLC.
5. Quel est l'intérêt d'un tel système ?

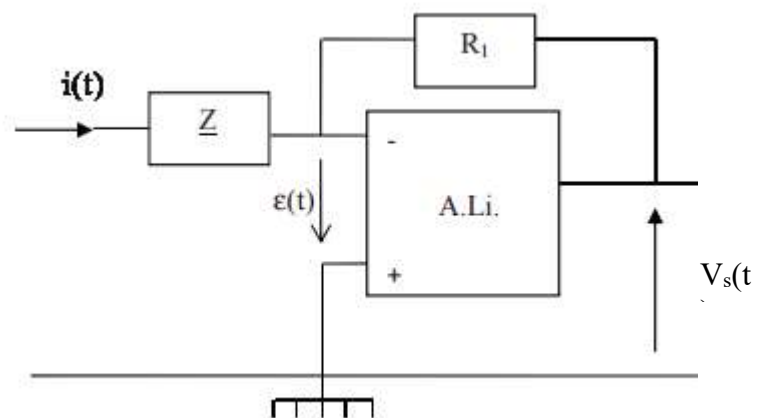
IV. Etude du convertisseur courant-tension

Le convertisseur courant-tension se compose d'une résistance R_1 et d'un amplificateur linéaire (A.Li.), d'impédance d'entrée supposée infinie et de fonction de transfert

$$\text{complexe } \underline{\mu}(j\omega) = \frac{v_s(t)}{\underline{\varepsilon}(t)} = \frac{\mu_o}{1 + j \frac{\omega}{\omega_o}}$$

où $\underline{\varepsilon}(t) = \underline{V}^+(t) - \underline{V}^-(t)$,

avec V^+ le potentiel à l'entrée non inverseuse (+) de l'A.Li. et V^- le potentiel à l'entrée inverseuse (-) de l'A.Li.



1. Déterminer une relation entre $v_s(t)$, $i(t)$, R_1 et $\varepsilon(t)$.
2. À l'aide de la fonction de transfert de l'A.Li., montrer que la transmittance complexe $\frac{v_s(t)}{\underline{i}(t)}$ peut

se mettre sous la forme $\frac{v_s(t)}{\underline{i}(t)} = \frac{A_o}{1 + j \frac{\omega}{\omega_c}}$. On précisera les expressions de A_o et de ω_c en fonction de R_1 ,

μ_o et ω_o . Donner l'ordre de grandeur de μ_o , ainsi que celui de ω_o .

Comment se simplifie cette transmittance dans le cas où la fréquence f , d'alimentation n'excède pas 200 kHz ?

3. Que devient la transmittance complexe, non simplifiée, $\frac{v_s(t)}{i(t)}$, si on inverse les entrées $V+$ et $V-$ de l'A.Li. ?

4. En déduire, en considérant que $\mu_o \gg 1$, l'équation différentielle liant les fonctions réelles $v_s(t)$ et $i(t)$. Quelle est la forme du régime transitoire associé à cette équation différentielle ? Conclure quant à la stabilité du système rebouclé sur la borne + de l'A.Li.

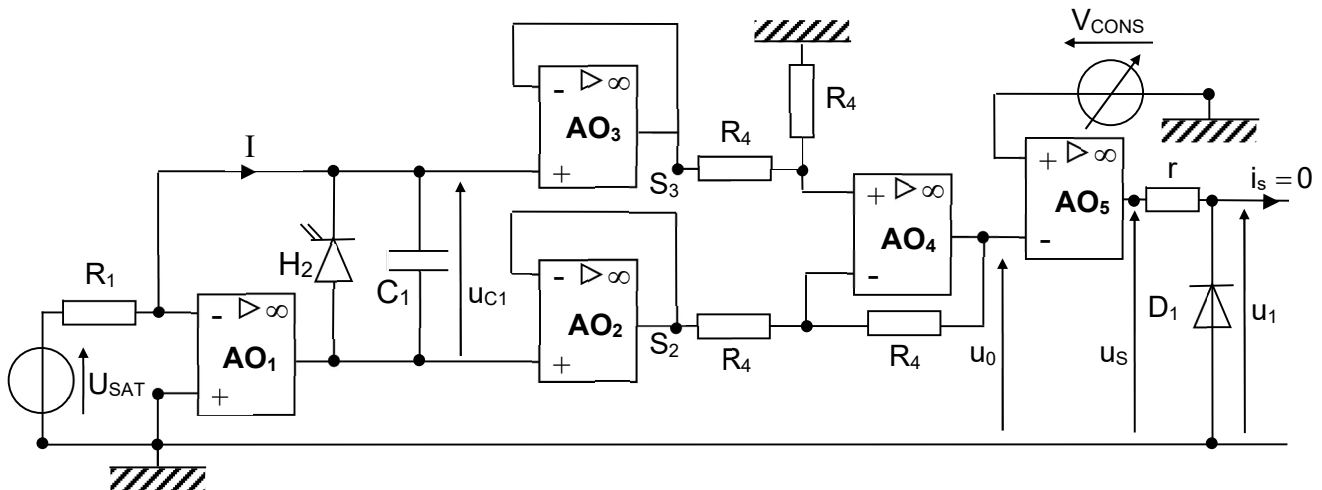
V. Réalisation de signaux de commande

Un générateur de tension est représenté ci-dessous. Il comporte un condensateur de capacité C_1 et un interrupteur électronique H_2 commandé par de brèves impulsions périodiques de période T_{H2} :

- à $t = 0$, l'interrupteur idéal H_2 se ferme pendant un bref instant $\Delta t \ll T_{H2}$ sur une première impulsion,
- il est ensuite ouvert pendant la durée T_{H2} jusqu'à l'impulsion suivante.

$U_{SAT} = 12 \text{ V}$; $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$; $C_1 = 1 \text{ }\mu\text{F}$; $T_{H2} = 0,5 \text{ ms}$.

Les ALI idéaux sont supposés de gain différentiel infini, ils sont notés AO.



1. Exprimer l'intensité du courant I en fonction de U_{SAT} et de R_1 . Quelle est la fonction de l'AO₁ dans le circuit électronique ? Préciser le rôle de l'AO₂ et de l'AO₃.
2. Quelle est la valeur de u_{C1} pendant le bref instant où l'interrupteur H_2 est fermé ? Déterminer la tension $u_{C1}(t)$ dans l'intervalle de temps $[0, T_{H2}]$ en fonction de U_{SAT} , R_1 , C_1 et t . Exprimer la valeur maximale U_{CMAX} en fonction de U_{SAT} , T_{H2} , R_1 et C_1 . Représenter le chronogramme $u_{C1}(t)$ sur deux périodes. Déterminer la période de $u_{C1}(t)$. AN.
3. Exprimer U_o en fonction de S_2 et S_3 , potentiels de sortie respectifs des AO 2 et 3. Quelle est la fonction de l'AO₄ ? En déduire la tension $u_0(t)$ appliquée à l'entrée inverseuse de l'AO₅ en fonction de $u_{C1}(t)$.
4. Sachant que V_{CONS} est une valeur constante comprise entre 0 et U_{CMAX} , expliquer le rôle de l'AO₅. Reproduire le chronogramme obtenu à la question 2 et y représenter V_{CONS} . En déduire le chronogramme de $u_s(t)$ sur deux périodes.
5. Rappeler le principe de fonctionnement de la diode D_1 supposée idéale. En déduire le chronogramme de $u_1(t)$ sur deux périodes.
6. On appelle rapport cyclique α la durée de $u_1(t)$ dans l'état haut sur la période de $u_1(t)$. Exprimer α du signal en fonction de U_{CMAX} et V_{CONS} . En déduire $\langle u_1(t) \rangle$. Pour quelle valeur de

V_{CONS} obtient-on un rapport cyclique de 0,6 pour le signal $u_1(t)$? En déduire la valeur de $\langle u_1(t) \rangle$.
 Quel intérêt voyez-vous à ce dispositif ?

VI. Production d'une onde acoustique

Pour émettre des ondes acoustiques par salves, l'émetteur doit être alimenté par un générateur de trains de sinusoïdes à 40 kHz.

Considérons tout d'abord le montage de la figure ci-dessous où l'ALI, supposé idéal, de gain différentiel infini, est alimenté par des tensions ± 15 V et dont les tensions de saturation sont alors également $\pm V_{sat} = \pm 15$ V.

1. Exprimer la tension s_1 en fonction des données du montage. Représenter un montage permettant d'obtenir une tension $s = -s_1$

On adapte ce montage de la façon suivante :

$R = R_1 = R_2 = 47 \text{ k}\Omega$;

$e_1(t)$: tension sinusoïdale de fréquence $f_1 = 40 \text{ kHz}$ et d'amplitude crête à crête 8 V ;

$e_2(t)$: **tension en créneau** de fréquence $f_2 = 5,0 \text{ kHz}$ et d'amplitude crête à crête 12 V.

2. Tracer l'allure de la courbe $s(t)$ en fonction du temps, sur une durée de $4 \cdot 10^{-4}$ s. On précisera les coordonnées des points remarquables.

On modifie l'alimentation de l'ALI, initialement de ± 15 V, par deux tensions de 0 V et 15 V.

3. Reprendre la question précédente : en quoi l'allure de $s(t)$ est-elle modifiée. L'objectif d'un générateur de salves semble-t-il atteint ?

4. La fiche technique de l'amplificateur opérationnel LM741 utilisé indique une vitesse limite de balayage de $0,5 \text{ V}/\mu\text{s}$. Pourquoi le signal $s(t)$ sera-t-il déformé ? Comment minimiser les effets de ce défaut sans changer de composant ?

