



## Thème I. Ondes et signaux (Électricité)

### TD n°9 Amplificateurs Linéaires Intégrés Filtres actifs

#### Exercice n°

#### Capacités

|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|---|---|---|---|---|
| Identifier la présence d'une rétroaction sur la borne inverseuse comme un indice de fonctionnement en régime linéaire.   | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ |
| Établir la relation entrée-sortie des montages non inverseur, suiveur, inverseur, intégrateur.   |   |   | ☒ | ☒ |   |
| Déterminer les impédances d'entrée de ces montages.  |   |   |   | ☒ |   |
| Mettre en œuvre un filtre actif.   |   |   | ☒ | ☒ | ☒ |
| Tracer le diagramme de Bode (amplitude et phase) associé à une fonction de transfert d'ordre 1.  |   |   |   | ☒ |   |
| Expliciter les conditions d'utilisation d'un filtre en tant que moyenneur, intégrateur, ou déivateur.  |   |   | ☒ |   |   |
| Utiliser une fonction de transfert donnée d'ordre 1 ou 2 (ou ses représentations graphiques) pour étudier la réponse d'un système linéaire à une excitation sinusoïdale, à une somme finie d'excitations sinusoïdales, à un signal périodique. |   |   |   | ☒ |   |

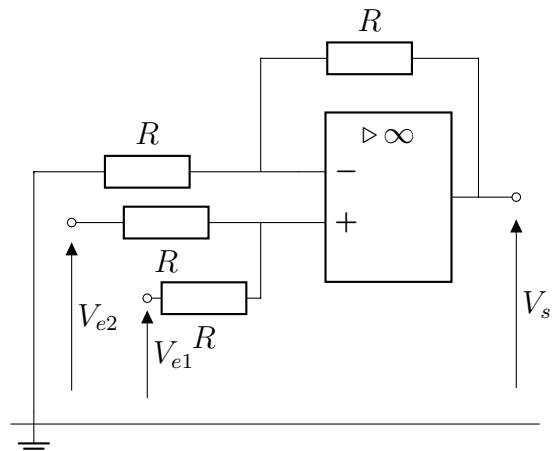
#### Parcours possibles

- ♪ Si vous avez des difficultés sur ce chapitre : exercices n°1, n°2, n°3 (sauf Q1) + cahier d'entraînement :
- ♪ ♪ Si vous vous sentez moyennement à l'aise, mais pas en difficulté : exercices n°2, n°3, n°4.
- ♪ ♪ ♪ Si vous êtes à l'aise : exercices n°2, n°3, n°4, n°5.

## I Exercices d'application directe du cours

### Exercice n°1 Sommateur (*Exercice résolu*)

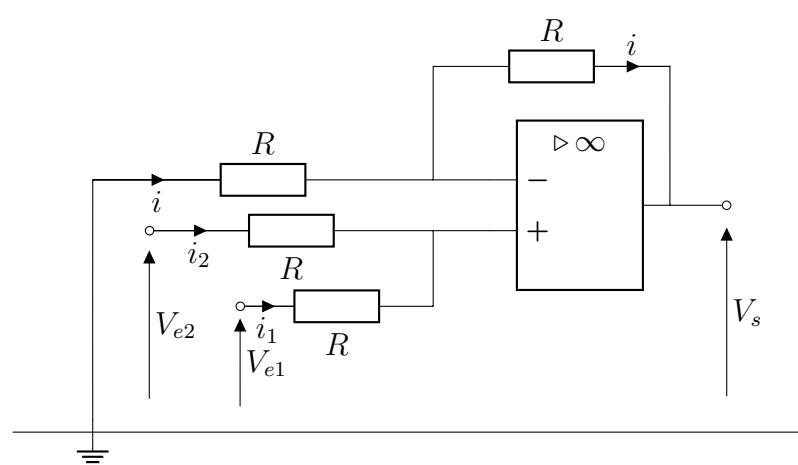
On étudie le montage ci-contre, où l'ALI est supposé idéal.



Q1. Pourquoi le montage peut-il fonctionner en régime linéaire ?

La présence de la rétroaction sur la borne inverseuse, sans rétroaction sur la borne non inverseuse, peut laisser supposer un fonctionnement en régime linéaire.

Q2. Établir l'expression de  $V_s$  en fonction de  $V_{e1}$  et  $V_{e2}$ .



Au niveau de la borne inverseuse :  $i = \frac{0 - V^-}{R} = \frac{V^- - V_s}{R}$ , soit  $V_s = 2V^-$

D'après la loi des nœuds en  $\oplus$  :  $i_1 + i_2 = 0$

Or  $i_1 = \frac{V_{e1} - V_+}{R}$  et  $i_2 = \frac{V_{e2} - V_+}{R}$

Soit  $\frac{V_{e1} - V_+}{R} + \frac{V_{e2} - V_+}{R} = 0$ , soit  $V_{e1} + V_{e2} = 2V_+$

Or  $V^+ = V^-$ , donc  $V_s = V_{e1} + V_{e2}$

### Questions d'analyse de solution –

- Quelles sont les hypothèses du modèle de l'ALI idéal ?
- Pourquoi les deux résistances  $R$  connectées à la borne inverseuse sont-elles parcourues par le même courant ?
- Que traduisent (d'où viennent-elles ?) les relations  $\frac{0 - V^-}{R}$  et  $\frac{V^- - V_s}{R}$ ? D'où vient le « 0 » dans  $0 - V^-$  ?
- Pourquoi la loi des nœuds en  $\oplus$  s'écrit  $i_1 + i_2 = 0$  alors qu'il y a trois branches ?
- Pourquoi peut-on écrire  $V^+ = V^-$  ?
- Pourquoi  $V^+$  et  $V^-$  ne sont pas nuls ?
- Pourquoi n'a-t-on pas écrit de loi des nœuds au niveau de la sortie de l'ALI ?

Q3. Justifier le nom donné au montage.

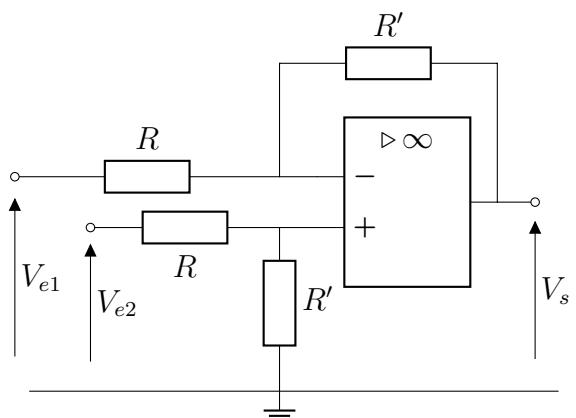
### Exercice n°2 Soustracteur ♪

On étudie le montage ci-contre, où l'ALI est supposé idéal.

Q1. Pourquoi le montage peut-il fonctionner en régime linéaire ?

Q2. Établir l'expression de  $V_s$  en fonction de  $V_{e1}$  et  $V_{e2}$ .

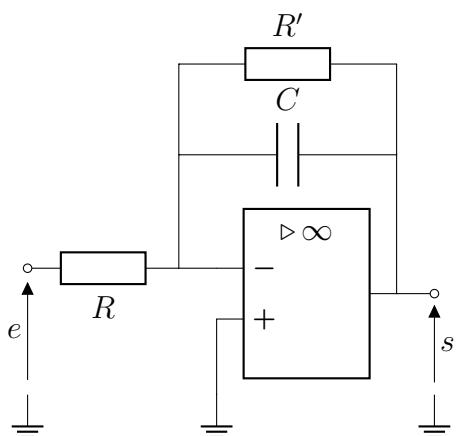
Q3. Justifier le nom donné au montage.



### Exercice n°3 Montage pseudo-intégrateur ♫ ♫

Q1. ♫ ♫ ♫ Pour le montage intégrateur du cours, nous avons établi que  $s(t) - s(0) = -\frac{1}{RC} \int_0^t e(t') dt'$   
Exprimer le signal de sortie si le signal d'entrée est de la forme  $e(t) = E_0 + E \cos(\omega t)$ . Que va-t-il se passer ?

En pratique, le montage intégrateur du cours ne peut pas être utilisé comme intégrateur, qui va finir par saturer, à cause des courants de polarisation qui ne sont pas rigoureusement nuls, et de l'offset existant.  
On utilise le montage dit « pseudo-intégrateur » ci-contre.



Q2. Pourquoi le montage peut-il fonctionner en régime linéaire ?

Q3. Nature du filtre ?

(a) Reproduire l'équivalent du circuit à basse fréquence. Quel montage reconnaisssez-vous ?

Établir la relation entre  $s$  et  $e$  (et  $R$  et  $R'$ ) à basse fréquence.

(b) Reproduire l'équivalent du circuit à haute fréquence. Que veut-on dire de  $s$  par rapport à  $v-$  ? Conclure sur la valeur de  $s$ .

(c) Conclure sur la nature du filtre.

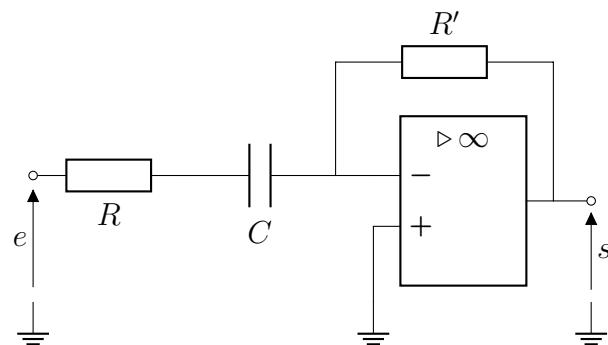
Q4. Établir la fonction de transfert de ce montage.

Q5. À quelle condition sur la pulsation, ce montage réalise-t-il une intégration ?

## II Exercices d'approfondissement

### Exercice n°4 Filtre actif amplificateur ♫ ♫ ♫

On étudie le montage ci-contre, où l'ALI est supposé idéal.

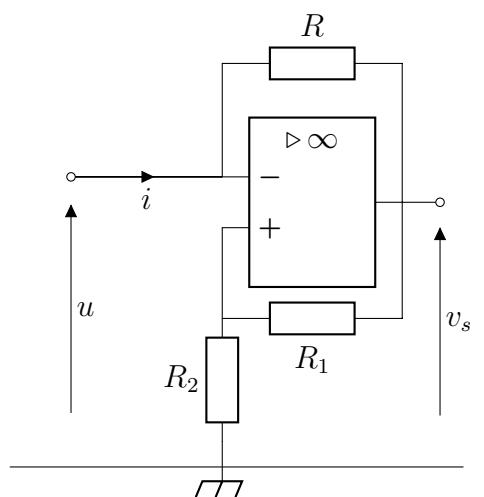


- Q1. Pourquoi le montage peut-il fonctionner en régime linéaire ?
- Q2. Reproduire le circuit à basse et haute fréquence en utilisant les comportements asymptotiques du condensateur. En déduire l'expression de  $s$  en fonction de  $e$ , à basse et haute fréquence.  
Quelle est la nature du filtre ?
- Q3. Établir la fonction de transfert du montage et la mettre sous forme canonique :  $\underline{H} = \frac{\underline{H}_0}{1 - j \frac{\omega_c}{\omega}}$   
Identifier les expressions de  $\omega_c$  et  $\omega$ .
- Q4. On souhaite une pulsation de coupure  $\omega_c = 1.10^4$  rad · s<sup>-1</sup> et un gain de 20 dB en haute fréquence.  
Déterminer les valeurs à donner à  $R'$  et  $C$  pour  $R = 1$  kΩ.
- Q5. Tracer le diagramme de Bode du filtre.
- Q6. On envoie en entrée du filtre une tension sinusoïdale  $e(t) = E_0 \cos(\omega t)$ . Donner l'allure de la tension de sortie et de son spectre dans les quatre cas suivants :
  - $E_0 = 1$  V et  $\omega = 1.10^2$  rad · s<sup>-1</sup>
  - $E_0 = 1$  V et  $\omega = 1.10^5$  rad · s<sup>-1</sup>
  - $E_0 = 3$  V et  $\omega = 1.10^2$  rad · s<sup>-1</sup>
  - $E_0 = 3$  V et  $\omega = 1.10^5$  rad · s<sup>-1</sup>
- Q7. Établir l'impédance d'entrée du montage en fonction de  $R$  et  $C$ . Quel problème peut-il se poser ?

### Exercice n°5 Résistance négative ♫ ♫ ♫

On étudie le montage ci-contre, où l'ALI est supposé idéal.

- Q1. Pourquoi ne peut-on pas savoir si le montage fonctionne en régime linéaire ou non ?
- Q2. Exprimer le potentiel  $v^-$  en fonction de  $i$  et  $v_s$ .
- Q3. Exprimer le potentiel  $v^+$  en fonction de  $v_s$ ,  $R_1$  et  $R_2$ .
- Q4. En exploitant l'hypothèse de fonctionnement linéaire, en déduire une relation entre  $u$  et  $i$ .
- Q5. Commenter le nom de « montage à résistance négative » donné à ce montage.



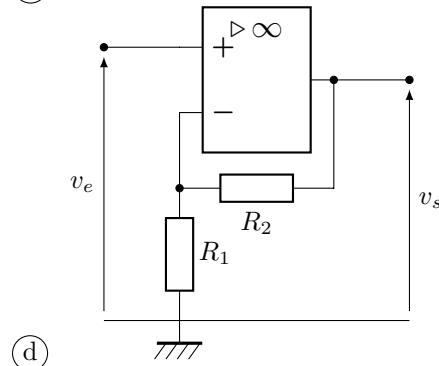
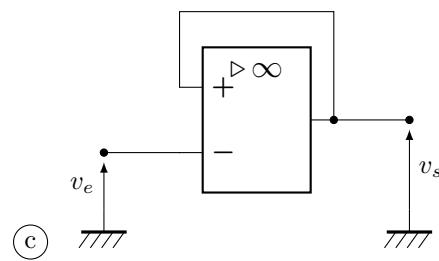
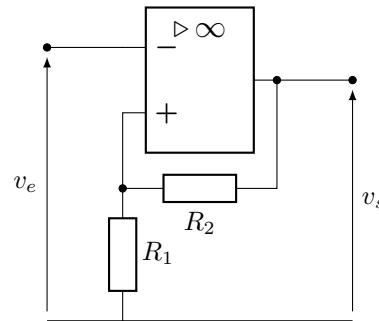
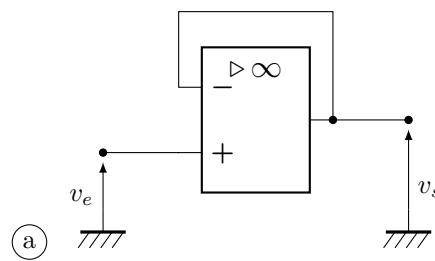
### III Extraits du cahier d'entraînement de physique-chimie

#### Les fondamentaux

##### Entraînement 7.1 — Régime linéaire ?



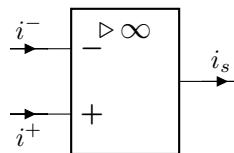
Parmi les circuits suivants, lesquels peuvent fonctionner en régime linéaire ?



##### Entraînement 7.2 — Modèle de l'ALI idéal de gain infini.



Pour chaque affirmation, répondre par vrai ou faux.



a) L'impédance d'entrée de l'ALI idéal est infinie .....

b) Les courants d'entrée  $i^+$  et  $i^-$  de l'ALI idéal sont nuls .....

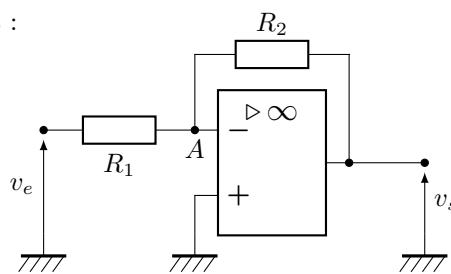
c) Le courant de sortie  $i_s$  de l'ALI est toujours nul .....

d) Les potentiels  $V^+$  et  $V^-$  des entrées sont nuls en régime linéaire.

### Entraînement 7.3



On considère le montage suivant :



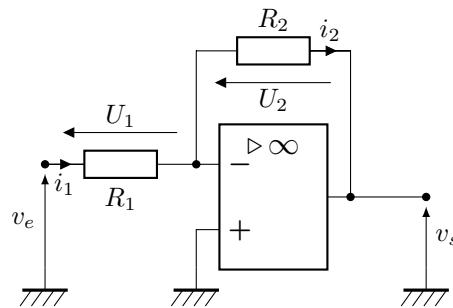
- a) L'ALI peut-il fonctionner en régime linéaire ? .....
- b) Dans le cas du régime linéaire, quelle est la relation entre les potentiels  $V^+$  et  $V^-$  des entrées inverseuse et non inverseuse ?  
.....
- c) Donner, en régime linéaire, le potentiel  $V_A$  du point A .....

### Entraînement 7.6 — Autour de l'amplificateur inverseur.



On considère le montage amplificateur inverseur ci-dessous.

L'ALI est idéal et on suppose qu'il fonctionne en régime linéaire.



- a) Quelle est la relation entre  $i_1$  et  $i_2$  ? .....
- b) Exprimer  $U_1$  en fonction de  $v_e$  .....
- c) Exprimer  $U_2$  en fonction de  $v_s$  .....
- d) Exprimer l'intensité  $i_1$  en fonction de  $v_e$  .....
- e) Exprimer l'intensité  $i_2$  en fonction de  $v_s$ . .....
- f) Déterminer l'amplification  $G = \frac{v_s}{v_e}$  de ce montage .....
- g) Parmi les couples de résistances suivants, lequel permet d'obtenir l'amplification la plus importante ?
- (a) le couple ( $R_1 = 3,3\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 8,2\text{ k}\Omega$ )
  - (b) le couple ( $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 3,3\text{ k}\Omega$ )
- .....


**Entraînement 7.7 — Amplificateur inverseur.**

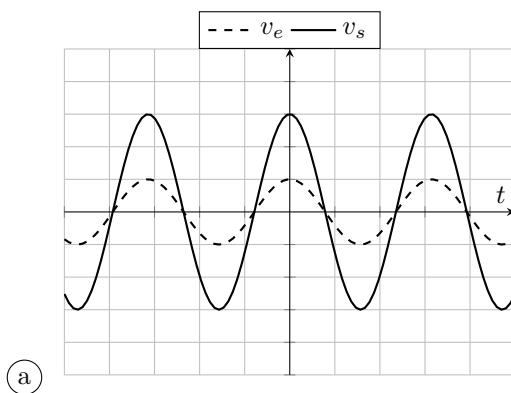
Un montage amplificateur inverseur produit un gain

$$G = -\frac{R_2}{R_1}$$

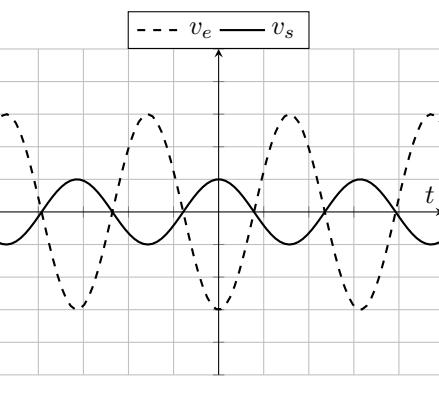
avec  $R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega$  et  $R_2 = 200 \Omega$ .

Les courbes ci-dessous représentent des allures temporelles de  $v_e$  (en pointillés) et  $v_s$  (en trait plein) en fonction du temps.

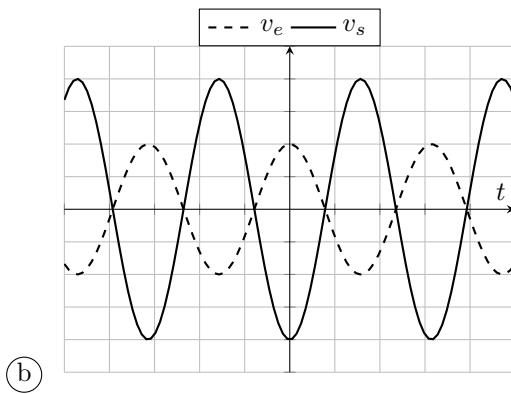
Le calibre est de 1 V/division pour  $v_e$  et 0,5 V/division pour  $v_s$ .



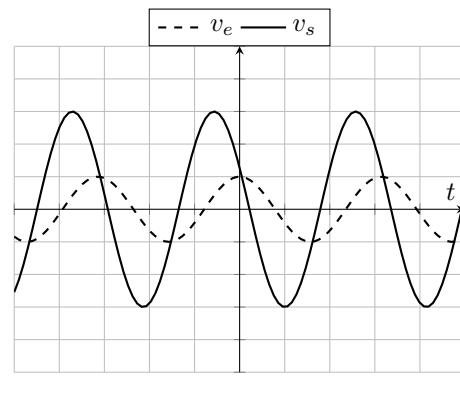
(a)



(c)



(b)



(d)

Quelles sont les courbes pouvant correspondre au montage amplificateur inverseur étudié ?

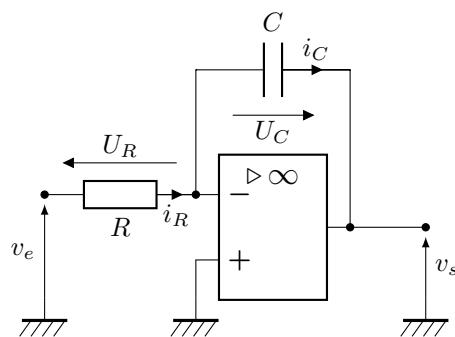
.....

**Entraînement 7.9 — Montage intégrateur inverseur.**



On considère le montage ci-dessous.

L'ALI est idéal.



- a) En régime stationnaire, l'ALI peut-il fonctionner en régime linéaire? .....

Dans toutes les questions suivantes, on suppose que l'ALI fonctionne en régime linéaire et on se place en régime sinusoïdal.

- b) Exprimer la tension  $U_R$  en fonction de  $v_e$  et/ou  $v_s$  .....

- c) Exprimer la tension  $U_C$  en fonction de  $v_e$  et/ou  $v_s$  .....

- d) Donner la relation entre  $i_R$  et  $i_C$  .....

- e) Quelle est la relation entre les grandeurs complexes  $\underline{i_C}$  et  $\underline{U_C}$ ? .....

- f) Donner la fonction de transfert  $\underline{H}$  du montage. .....

- g) Donner la relation entre  $v_e(t)$  et  $v_s(t)$  .....


**Entraînement 7.10**

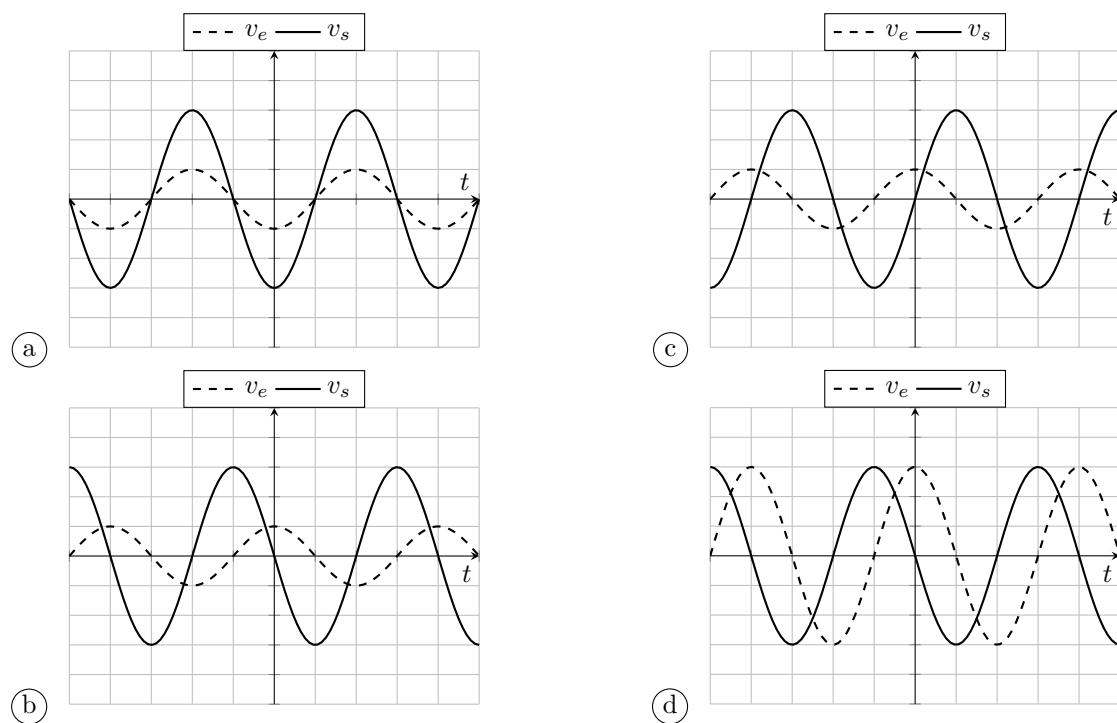
Un montage intégrateur inverseur a pour fonction de transfert

$$\underline{H} = -\frac{1}{jRC\omega}$$

avec  $R = 11 \text{ k}\Omega$  et  $C = 4,7 \text{ nF}$ .

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.



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



### Entraînement 7.11 — Montage intégrateur inverseur.

Un montage intégrateur inverseur a pour fonction de transfert

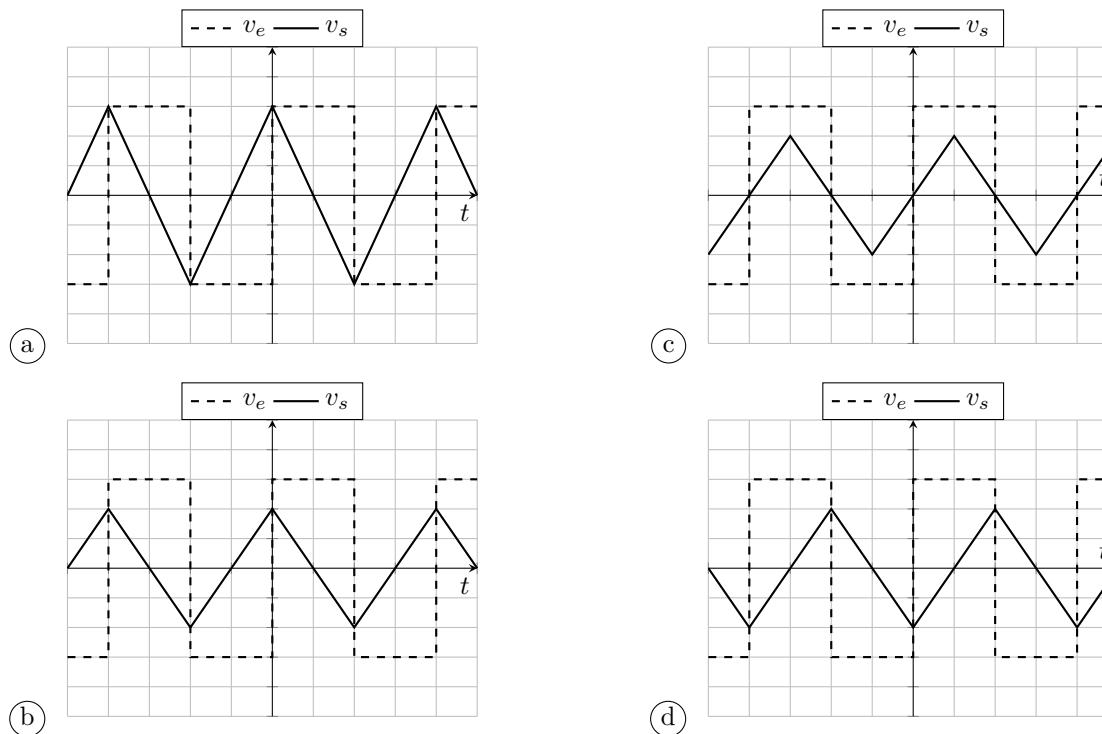
$$H = -\frac{1}{jRC\omega}$$

avec  $R = 15 \text{ k}\Omega$  et  $C = 25 \text{ nF}$ .

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  $\mu\text{s}/\text{division}$ .



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.*

.....

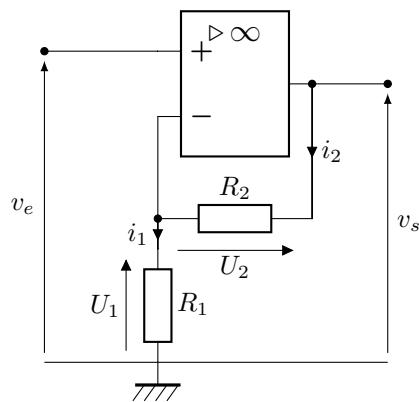
c) Quelle est la courbe compatible avec les valeurs numériques ci-dessus ?

.....

**Entraînement 7.13 — Montage non inverseur.**

On considère le montage ci-dessous.

L'ALI est idéal et on suppose qu'il fonctionne en régime linéaire.



- a) Quelle est la relation entre les intensités  $i_1$  et  $i_2$  ? .....
- b) Exprimer la tension  $U_1$  en fonction de  $v_s$ ,  $R_1$  et  $R_2$  .....
- c) Exprimer  $U_1$  en fonction de  $v_e$  .....
- d) Exprimer le gain  $G$  du montage non inverseur .....
- e) Donner la valeur de  $G$  pour  $R_1 = 2,2\text{ k}\Omega$  et  $R_2 = 33\text{ k}\Omega$  .....

## Impédances d'entrée

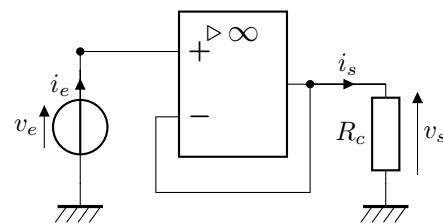
### Entraînement 7.15 — Montage suiveur.



On considère le montage suiveur représenté ci-contre.

Le suiveur est alimenté par une source idéale de tension  $v_e$  de fréquence variable, la charge est une résistance  $R_c$ .

L'ALI est idéal et fonctionne en régime linéaire.



- a) Quelle est la relation entre  $v_e$  et  $v_s$  ? .....
- 
- b) Quelle est l'impédance d'entrée d'un ALI idéal ? .....
- 
- c) Exprimer l'intensité  $i_e$  traversant la source de tension. .....
- 
- d) Quelle est l'impédance d'entrée du montage suiveur ? .....
- 

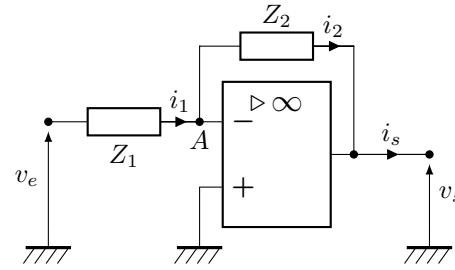
### Entraînement 7.16 — Circuits inverseurs.



On considère le montage représenté ci-contre.

Les impédances  $Z_1$  et  $Z_2$  sont quelconques et la tension d'entrée  $v_e$  est sinusoïdale de pulsation  $\omega$ .

L'ALI est idéal et fonctionne en régime linéaire.



- a) Exprimer l'intensité  $i_1$  en fonction de  $v_e$  et de  $Z_1$  .....
- 
- b) Donner l'impédance d'entrée du circuit .....
- 
- La tension d'entrée est constante égale à 10 V.*
- c) Donner l'impédance d'entrée si  $Z_1$  est un condensateur. .....
- 
- d) Donner l'impédance d'entrée si  $Z_1$  est une bobine .....
- 

*La tension d'entrée est maintenant sinusoïdale de pulsation  $\omega = 6,0 \cdot 10^3 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ .*

- e) Pour quel dipôle  $Z_1$  l'impédance d'entrée a-t-elle le plus grand module :

un condensateur  $C = 10 \text{ nF}$  ou une résistance  $R = 15 \text{ k}\Omega$  ? .....

### Réponses mélangées

|                        |             |                               |                                |                       |                             |                             |                       |                                      |
|------------------------|-------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| Faux                   | 0 V         | 0                             | Faux                           | $C = 10 \text{ nF}$   | $\alpha + \frac{1}{\alpha}$ | $i_1 = i_2$                 | 0 V                   | $U_2 = -v_s$                         |
| 0 A                    | $v_e$       | (b)                           | $RC \frac{dv_s}{dt} = -v_e(t)$ | Vrai                  | $G = -\frac{R_2}{R_1}$      | $i_1 = \frac{v_e}{R_1}$     | $v_s = v_e$           |                                      |
| Vrai                   | $R_1 = R_2$ | $i_R = i_C$                   | $V^+ = V^-$                    | $i_C = -jC\omega U_C$ |                             | $v_s$                       | Vrai                  | $\alpha = 1$                         |
| Oui                    | (c)         | $\frac{\alpha}{1 + \alpha^2}$ | $\infty$                       | $Z_1$                 | 3,1                         | $RC \frac{dv_s}{dt} = -v_e$ | $v_e$                 | $U_1 = v_e$                          |
| $-\frac{1}{jRC\omega}$ | (d)         | $i_2 = -\frac{v_s}{R_2}$      | c'est un temps                 | $v_s$                 | (b)                         | $\frac{R_1}{R_1 + R_2} v_s$ | Non                   | $v_e$                                |
| (b)                    | $\infty$    | Vrai                          | $i_1 = i_2$                    | $\frac{1}{RC\omega}$  | 0 V                         | $\frac{v_e}{Z_1}$           | $\infty$              | $-\frac{E}{RC\omega} \sin(\omega t)$ |
| 1 kHz                  | (a) (d)     | $-\frac{E}{RC} t + K$         | Faux                           | 16                    | Faux                        | Faux                        | $1 + \frac{R_2}{R_1}$ |                                      |