

Thème I. Ondes et signaux (Électricité)

TD n°9 Amplificateurs Linéaires Intégrés Filtres actifs

💡 Méthode : Comment travailler des exercices ?

Avant la séance de TD :

- ★ Sur une feuille de brouillon, avec un crayon à la main et le chapitre ouvert sous les yeux.
- ★ Essayer des « trucs » même si cela n'aboutit pas.
- ★ Faire des schémas complets et suffisamment grands.
- ★ Ne rien écrire sur l'énoncé de TD afin de pouvoir refaire les exercices après la correction en classe.
- ★ Réfléchir environ 10 à 15 min sur chaque exercice demandé. Si vous bloquez complètement sur une question/un exercice, passez à la suite au bout de 10 min, et me poser des questions soit directement soit par mail nvalade.pcsi@gmail.com.

Après la séance de TD :

- ★ Refaire les exercices corrigés ensemble, sans regarder le corrigé dans un premier temps.
- ★ Une fois l'exercice terminé ou si vous êtes totalement bloqué, reprendre avec le corrigé.

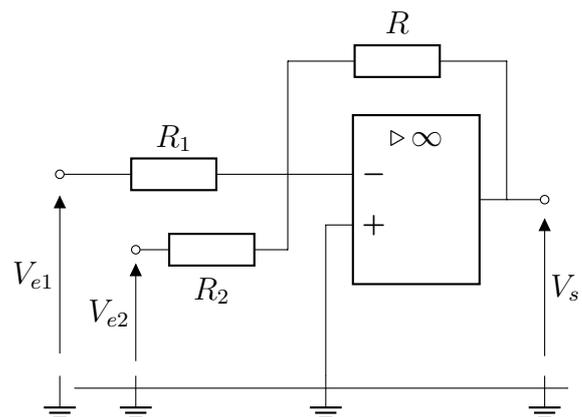
I Exercices d'application directe du cours

Exercice n°1 Sommateur inverseur

Capacités exigibles :

- ✓ Identifier la présence d'une rétroaction sur la borne inverseuse comme un indice de fonctionnement en régime linéaire.
- ✓ Établir la relation entrée-sortie.

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



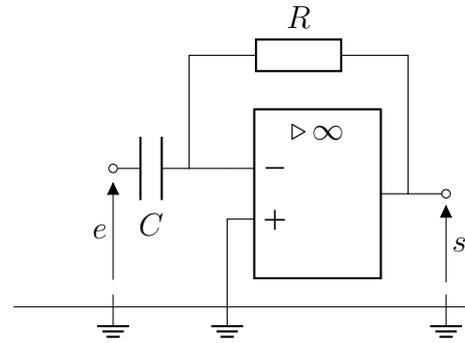
- Q1. Pourquoi peut-on considérer qu'il fonctionne en régime linéaire ?
- Q2. Établir l'expression de V_s en fonction de V_{e1} et V_{e2} .
- Q3. Justifier le nom donné au montage quand $R_1 = R_2 = R$.

Exercice n°2 Dérivateur

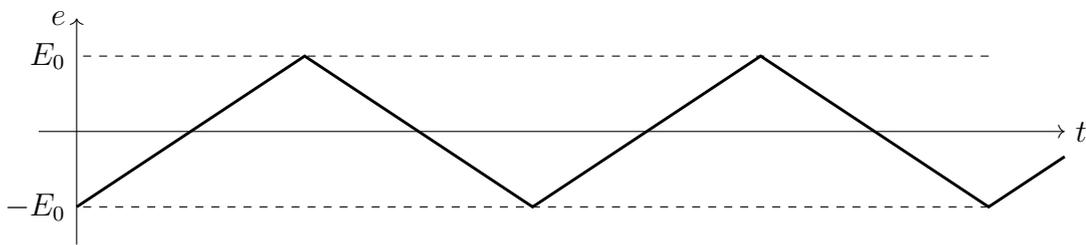
Capacités exigibles :

- ✓ Identifier la présence d'une rétroaction sur la borne inverseuse comme un indice de fonctionnement en régime linéaire.
- ✓ Établir la relation entrée-sortie.
- ✓ Déterminer l'impédance d'entrée d'un montage.

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



- Q1. Pourquoi l'ALI peut-il fonctionner en régime linéaire? On se placera dans ce cadre-là dans la suite.
- Q2. Établir la fonction de transfert du montage.
- Q3. Montrer que le montage réalise une dérivation.
- Q4. En utilisant la représentation complexe, exprimer l'impédance d'entrée du montage.
- Q5. On alimente le montage avec la tension d'entrée $e(t) = E_0 \cos(\omega t)$.
À partir de quelle pulsation, ce montage ne fonctionne-t-il plus linéairement?
Application numérique pour $E_0 = 1,0 \text{ V}$ et $RC = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ s}$.
- Q6. Tracer l'allure du signal de sortie si le signal d'entrée est de la forme ci-dessous.



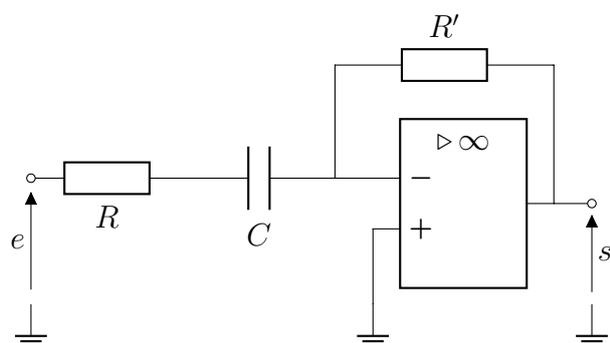
II Exercices d'approfondissement

Exercice n°3 Filtre actif amplificateur

Capacités exigibles :

- ✓ Identifier la présence d'une rétroaction sur la borne inverseuse comme un indice de fonctionnement en régime linéaire.
- ✓ Établir la relation entrée-sortie.
- ✓ Tracer le diagramme de Bode (amplitude et phase) associé à une fonction de transfert d'ordre 1.
- ✓ 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.

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



- Q1. Pourquoi peut-on supposer que l'ALI fonctionne en régime linéaire?

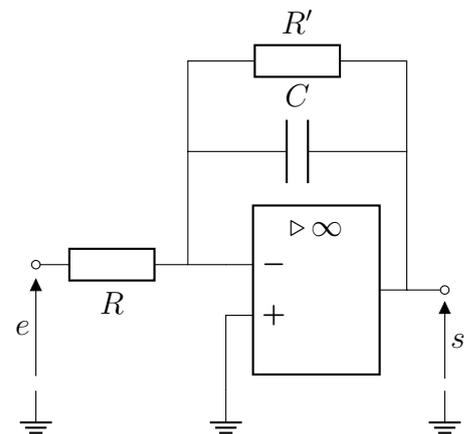
- Q2. Reproduire le circuit à basse et haute fréquence en utilisant les comportements asymptotiques du condensateur. En déduire l'expression de s en fonction de e , à basse et haute fréquence.
Quelle est la nature du filtre ?
- Q3. Établir la fonction de transfert du montage et la mettre sous forme canonique : $H = \frac{H_0}{1 - j\frac{\omega_c}{\omega}}$
- Identifier les expressions de ω_c et ω .
- Q4. On souhaite une pulsation de coupure $\omega_c = 1.10^4 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ et un gain de 20 dB en haute fréquence.
Déterminer les valeurs à donner à R' et C pour $R = 1 \text{ k}\Omega$.
- 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 :
- $E_0 = 1 \text{ V}$ et $\omega = 1.10^2 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
 - $E_0 = 1 \text{ V}$ et $\omega = 1.10^5 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
 - $E_0 = 3 \text{ V}$ et $\omega = 1.10^2 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
 - $E_0 = 3 \text{ V}$ et $\omega = 1.10^5 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

Exercice n°4 Montage pseudo-intégrateur

Capacités exigibles :

- ✓ Identifier la présence d'une rétroaction sur la borne inverseuse comme un indice de fonctionnement en régime linéaire.
 - ✓ Établir la relation entrée-sortie du montage intégrateur.
 - ✓ Expliciter les conditions d'utilisation d'un filtre en tant que moyenneur, intégrateur, ou dérivateur.
- Q1. Représenter le montage intégrateur du cours et établir l'expression de la sortie $s(t)$ en fonction de l'entrée $e(t)$.
- Q2. 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.



- Q3. En utilisant le comportement asymptotique du condensateur, déterminer 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 ?

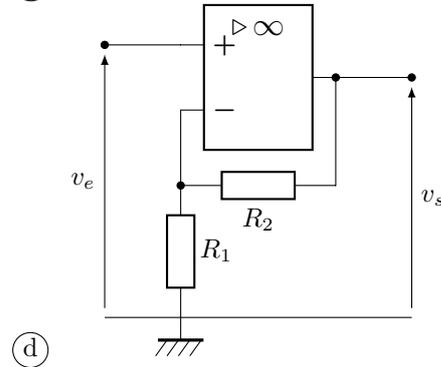
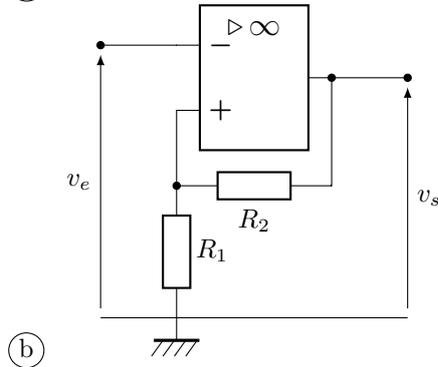
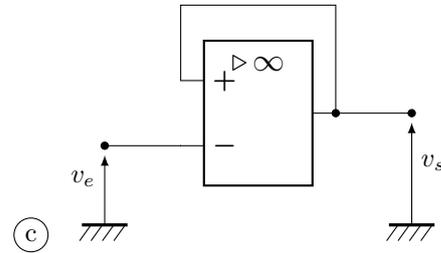
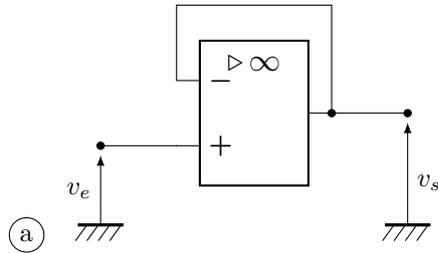
III Extraits du cahier d'entraînement de physique-chimie

Les fondamentaux

QCM Entraînement 1.1 — Régime linéaire ?



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

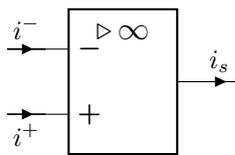


.....

QCM Entraînement 1.2 — Modèle de l'ALI idéal de gain infini.



Pour chaque affirmation, répondre par vrai ou faux.

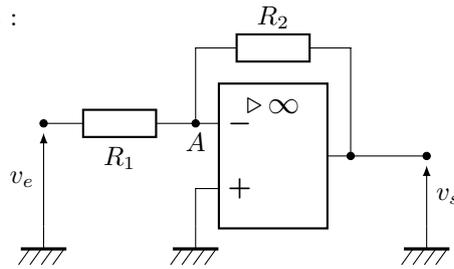


- a) L'impédance d'entrée de l'ALI idéal est infinie
- b) Les courants d'entrée i^+ et i^- de l'ALI idéal sont nuls
- c) Le courant de sortie i_s de l'ALI est toujours nul
- d) Les potentiels V^+ et V^- des entrées sont nuls en régime linéaire.
.....

🍏 **Entraînement 1.3**



On considère le montage suivant :



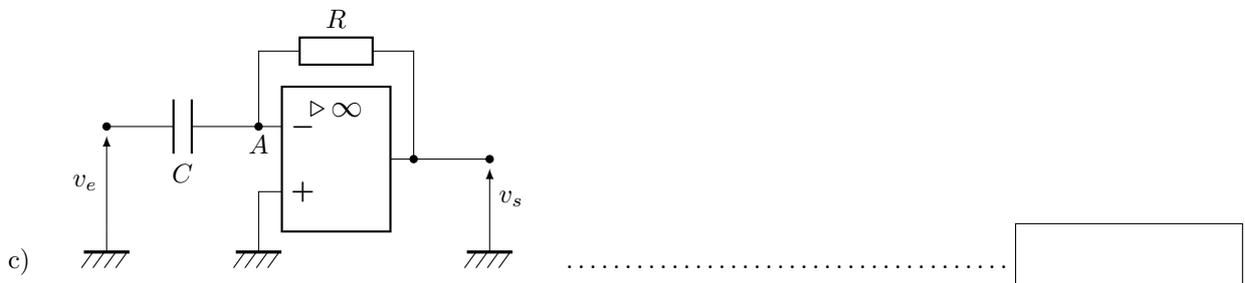
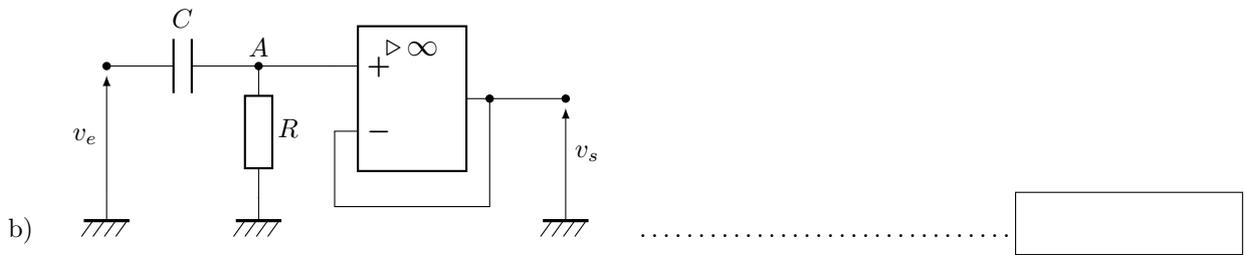
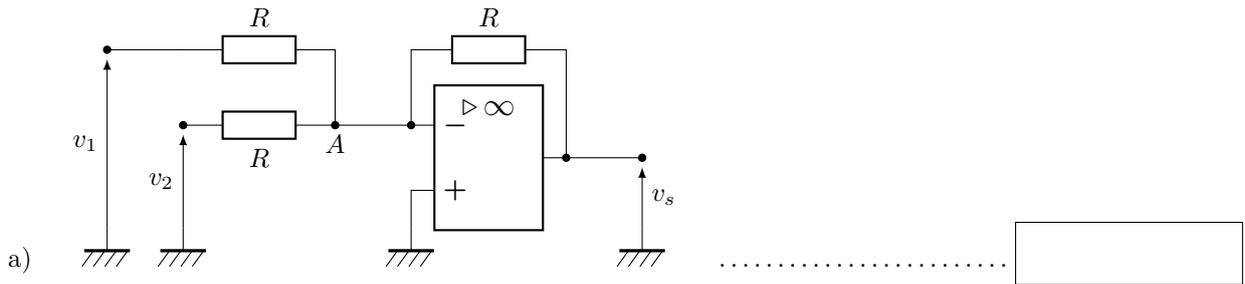
- a) L'ALI peut-il fonctionner en régime linéaire?
- b) Dans le cas du régime linéaire, quelle est la relation entre les potentiels V^+ et V^- des entrées inverseuse et non inverseuse?
.....
- c) Donner, en régime linéaire, le potentiel V_A du point A

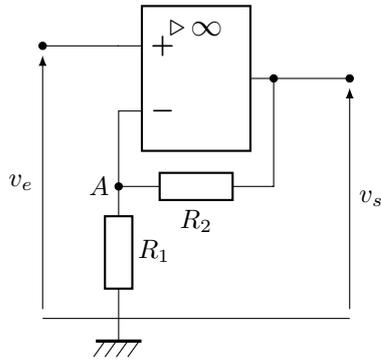
🍏 **Entraînement 1.4 — Détermination de potentiels électriques.**



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

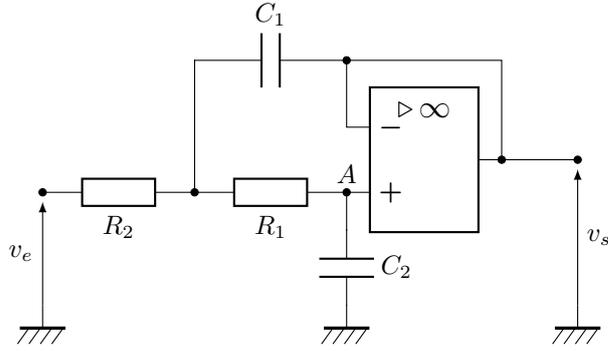
Donner, pour chaque montage, le potentiel V_A du point A en fonction de v_e ou de v_s . Le potentiel peut également être nul.





d)

.....



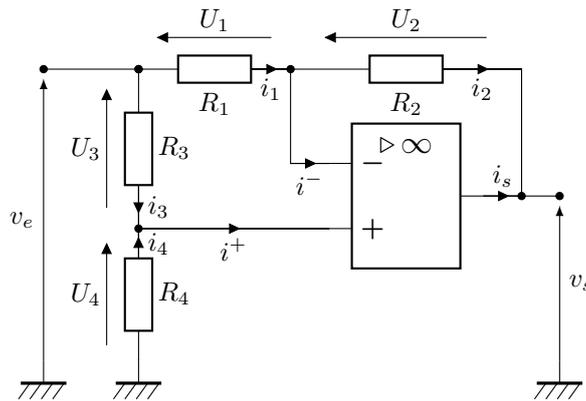
e)

.....

QCM Entraînement 1.5 — Vrai ou faux ?



On considère le montage ci-dessous dans lequel l'ALI est idéal et fonctionne en régime linéaire.



Pour chaque affirmation, répondre par vrai ou faux.

- a) Toutes les résistances sont orientées en convention récepteur
- b) La loi des nœuds assure $i_1 = i_2$
- c) La loi des nœuds assure $i_3 = i_4$
- d) Les tensions U_1 et U_3 sont égales
- e) Les tensions U_2 et U_4 sont égales

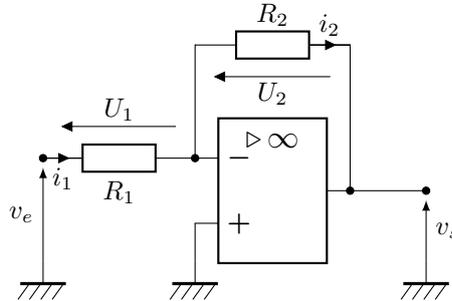
Circuits usuels

🍏 Entraînement 1.6 — 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 ($R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 3,3 \text{ k}\Omega$)

.....

QCM Entraînement 1.7 — Amplificateur inverseur.



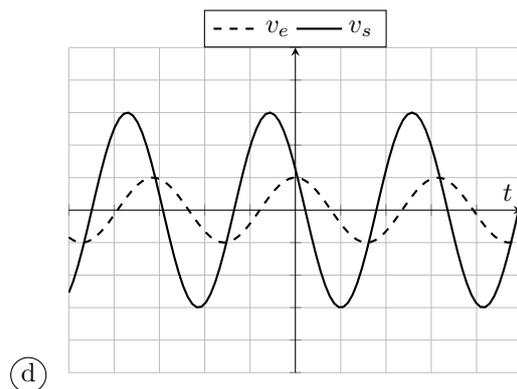
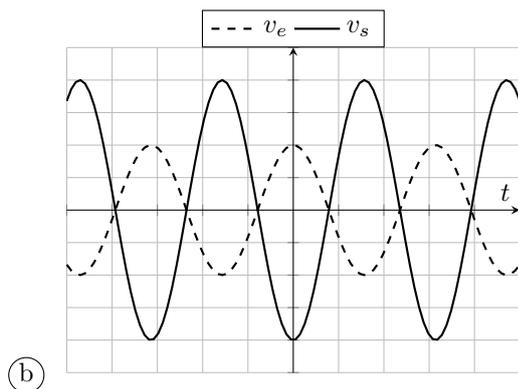
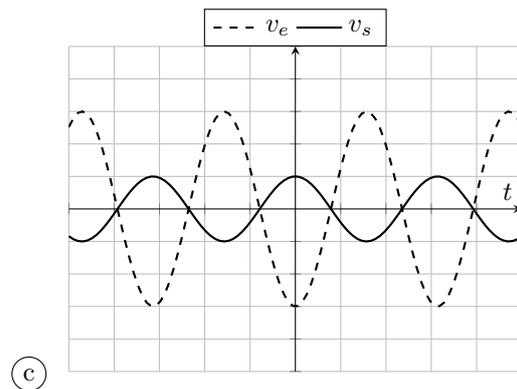
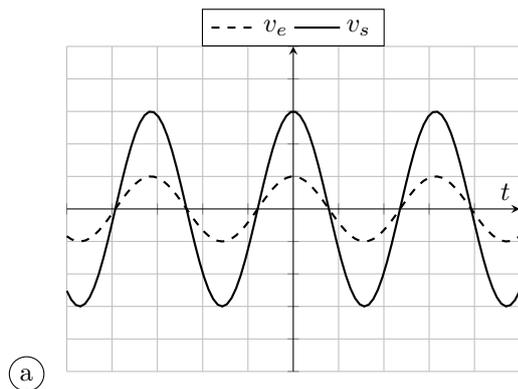
Un montage amplificateur inverseur produit un gain

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

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 .



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

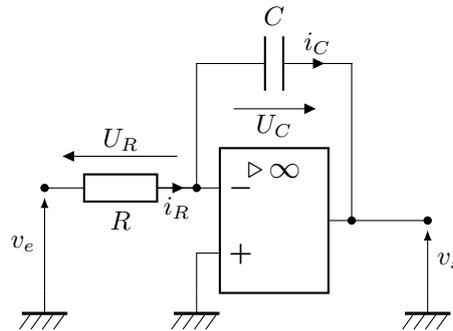
.....

🍏 **Entraînement 1.9 — 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 1.10



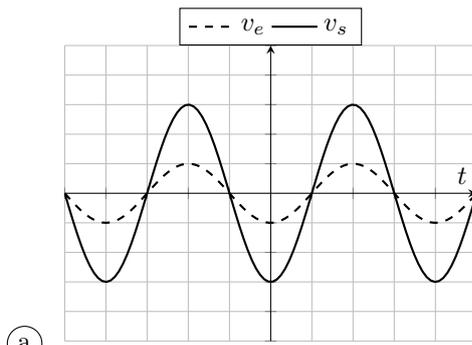
Un montage intégrateur inverseur a pour fonction de transfert

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

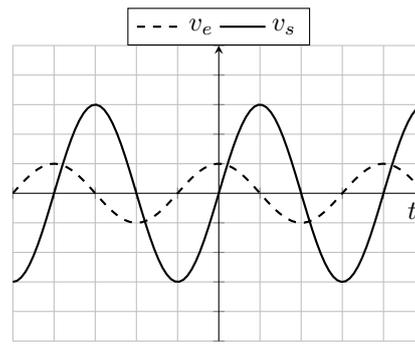
avec $R = 11\text{ k}\Omega$ et $C = 4,7\text{ nF}$.

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 :

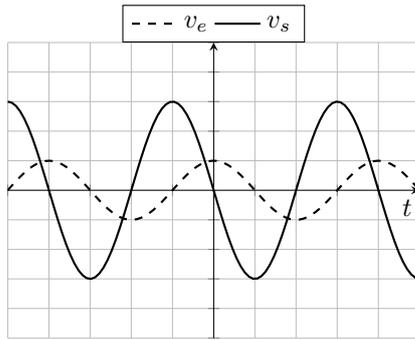
- calibre vertical : 1 V/division pour les deux voies,
- calibre horizontal : 250 μs /division.



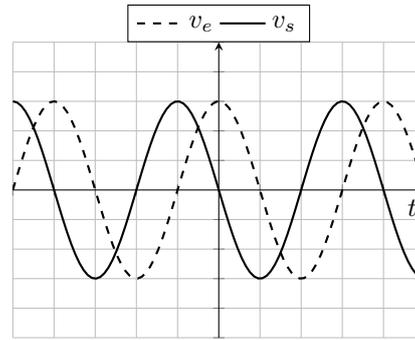
(a)



(c)



(b)



(d)

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 1.11 — Montage intégrateur inverseur.



Un montage intégrateur inverseur a pour fonction de transfert

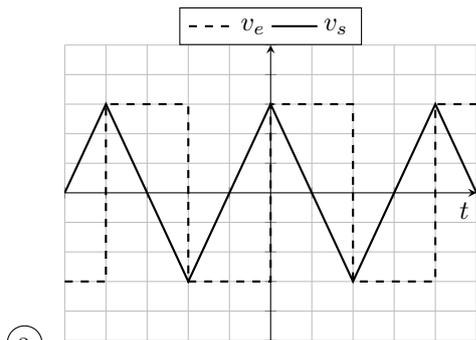
$$\underline{H} = -\frac{1}{jRC\omega}$$

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

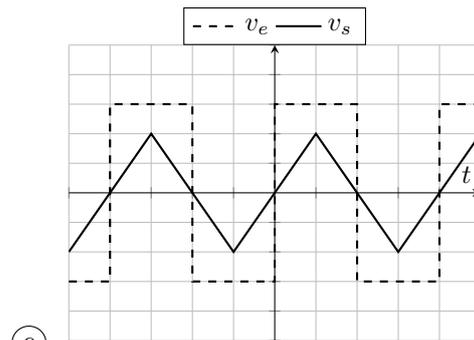
Les courbes suivantes représentent des allures temporelles de v_e (en pointillés) et v_s (en trait plein) en fonction du temps.

Les réglages de l'oscilloscope sont les suivants :

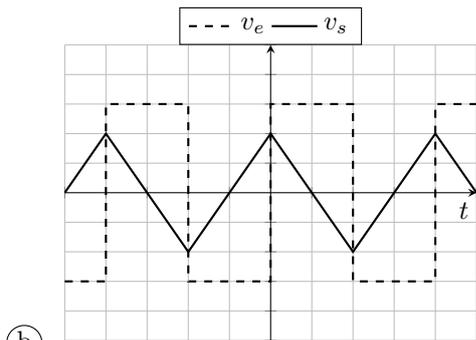
- calibre vertical : 1 V/division pour les deux voies,
- calibre horizontal : 250 μs /division.



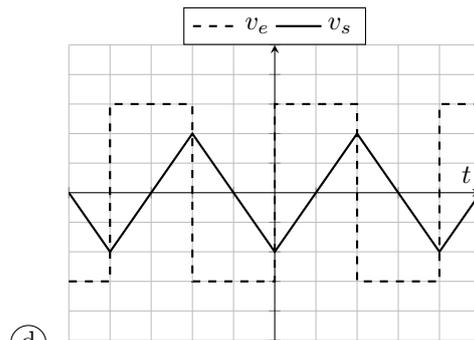
(a)



(c)



(b)



(d)

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?

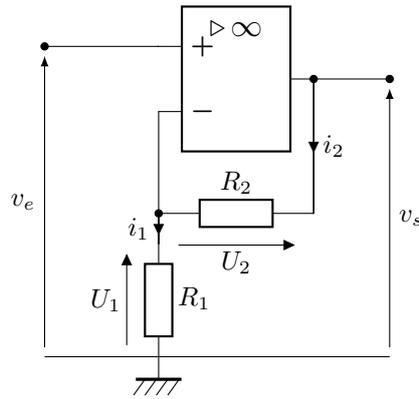
.....

🍏 **Entraînement 1.13 — 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 $R_2 = 33\text{ k}\Omega$

QCM Entraînement 1.14 — Montage amplificateur non inverseur.



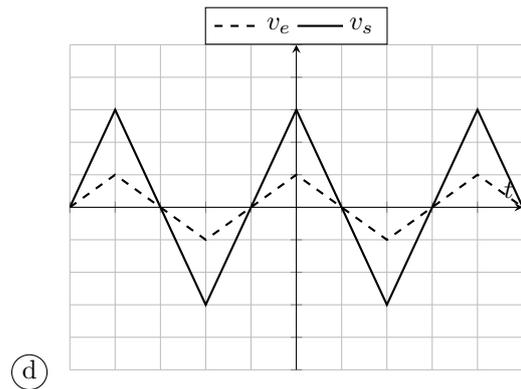
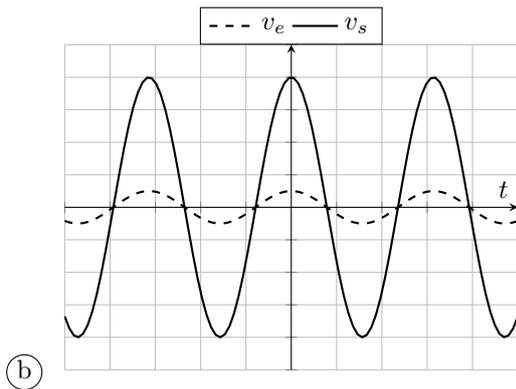
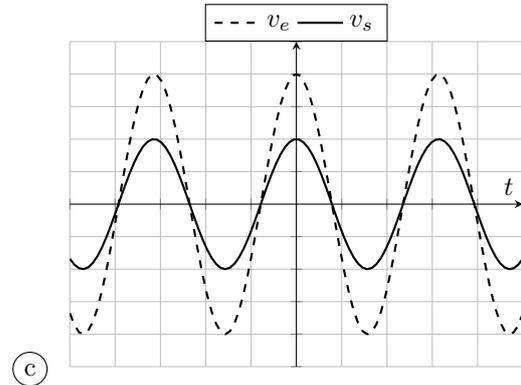
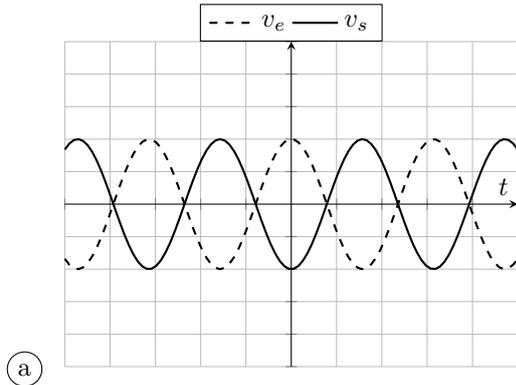
Un montage amplificateur non inverseur possède un gain

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

avec $R_1 = 1,5\text{ k}\Omega$ et $R_2 = 7,5\text{ k}\Omega$.

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

Le calibre utilisé pour v_e est de 1 V/division alors que le calibre pour v_s est de 2 V/division.



Quelles sont les courbes qui peuvent correspondre au montage non inverseur ?

.....

Impédances d'entrée

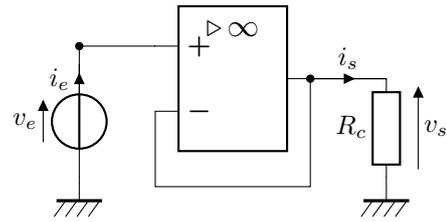
Entraînement 1.15 — Montage suiveur.



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.



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

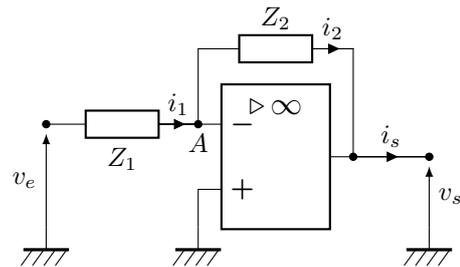
Entraînement 1.16 — Circuits inverseurs.



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 ω .

L'ALI est idéal et fonctionne en régime linéaire.



- Exprimer l'intensité i_1 en fonction de v_e et de Z_1
- Donner l'impédance d'entrée du circuit

La tension d'entrée est constante égale à 10 V.

- Donner l'impédance d'entrée si Z_1 est un condensateur.
- Donner l'impédance d'entrée si Z_1 est une bobine

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

- 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 $R = 15 \text{ k}\Omega$?