

Thème I. Ondes et signaux (Électricité)

TD n°9 Amplificateurs Linéaires Intégrés

Filtres actifs

Exercice n°	1	2	3	4	5
Capacités					
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 dérivateur.			✍		
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.				✍	

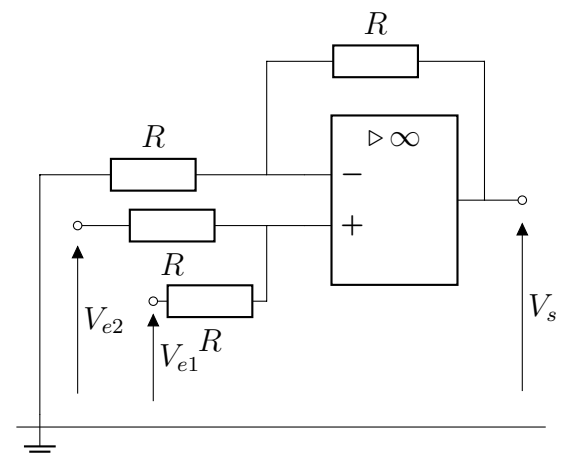
Parcours possibles

- ♪ 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*)

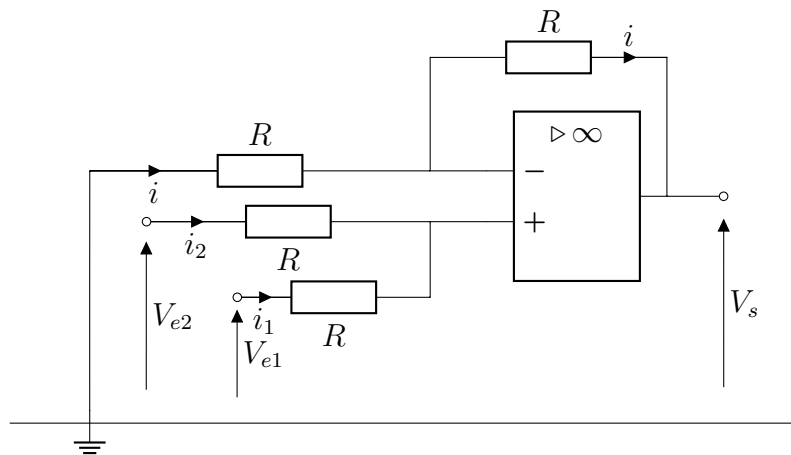
On étudie le montage ci-contre, où l'ALI est supposé idéal.



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.

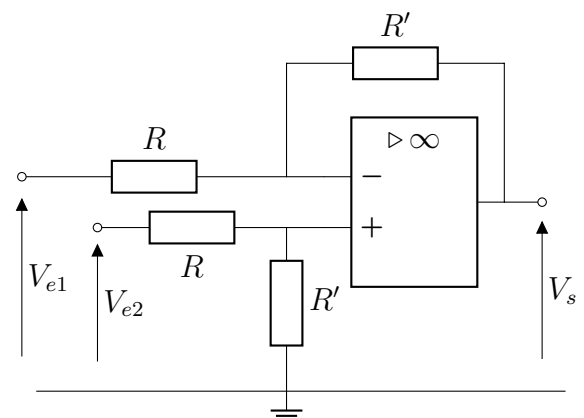
Exercice n°2 Soustracteur 🎵

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} .

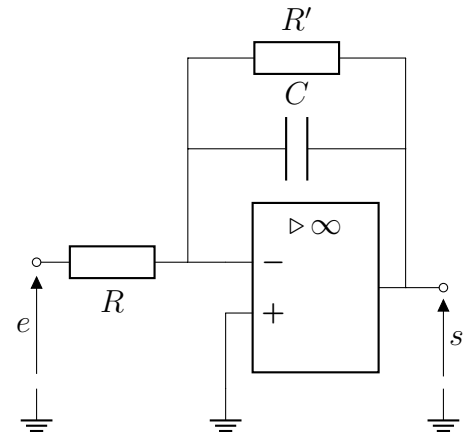
Q3. Justifier le nom donné au montage.



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.

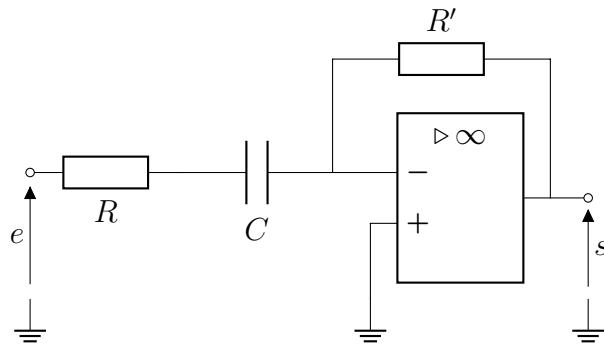


- Q2. Pourquoi le montage peut-il fonctionner en régime linéaire ?
- Q3. Nature du filtre ?
- Reproduire l'équivalent du circuit à basse fréquence. Quel montage reconnaissez-vous ?
Établir la relation entre s et e (et R et R') à basse fréquence.
 - Reproduire l'équivalent du circuit à haute fréquence. Que veut-on dire de s par rapport à v_- ? Conclure sur la valeur de s .
 - 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 : $\underline{H} = \frac{H_0}{1 - j\frac{\omega_c}{\omega}}$

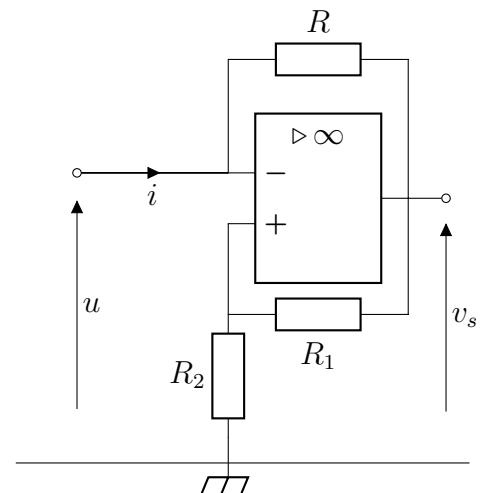
Identifier les expressions de ω_c et ω .

- 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 $\omega = 1.10^5 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
- 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.



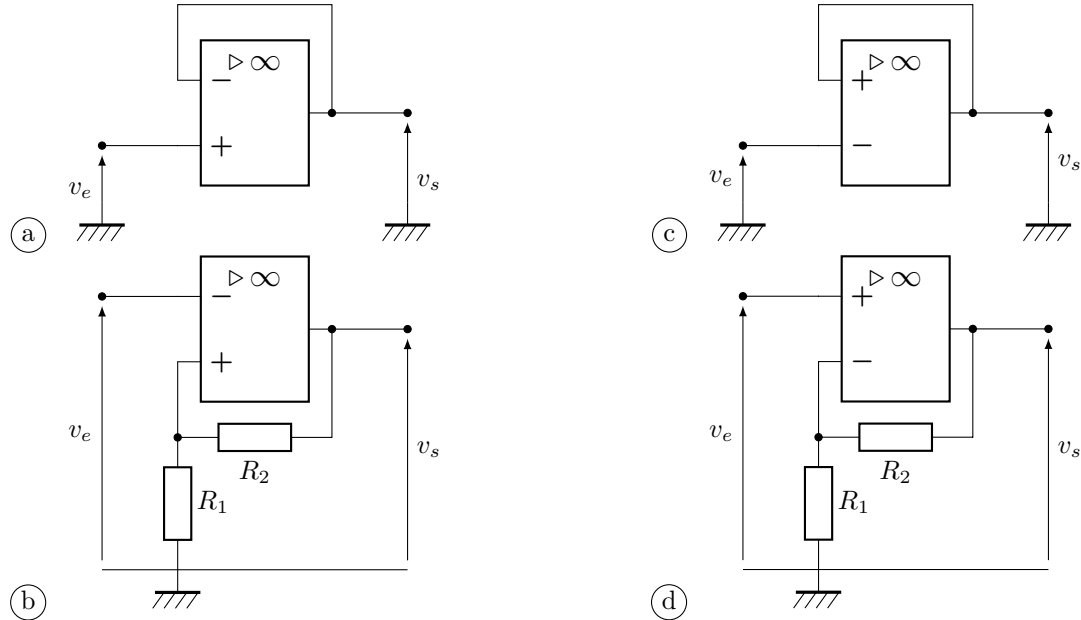
III Extraits du cahier d'entraînement de physique-chimie

Les fondamentaux

Entraînement 7.1 — Régime linéaire ?



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

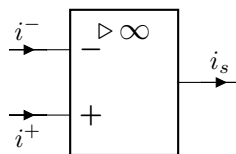


.....

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



Pour chaque affirmation, répondre par vrai ou faux.

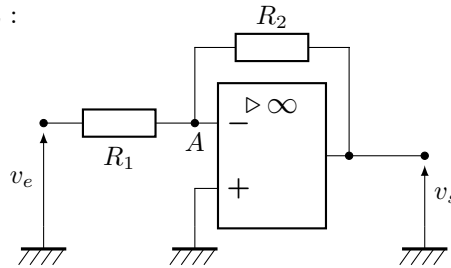


- a) L'impédance d'entrée de l'ALI idéal est infinie
- b) Les courants d'entrée i^+ et i^- de l'ALI idéal sont nuls
- c) Le courant de sortie i_s de l'ALI est toujours nul
- d) Les potentiels V^+ et V^- des entrées sont nuls en régime linéaire.
.....

Entraînement 7.3



On considère le montage suivant :



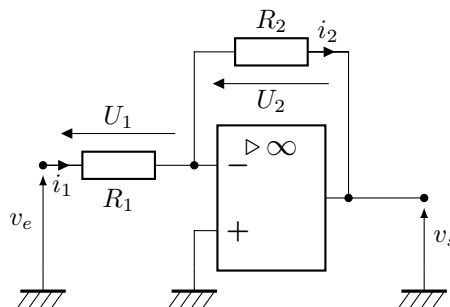
- L'ALI peut-il fonctionner en régime linéaire ?
- Dans le cas du régime linéaire, quelle est la relation entre les potentiels V^+ et V^- des entrées inverseuse et non inverseuse ?
- Donner, en régime linéaire, le potentiel V_A du point A

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.



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

Entraînement 7.7 — Amplificateur inverseur.



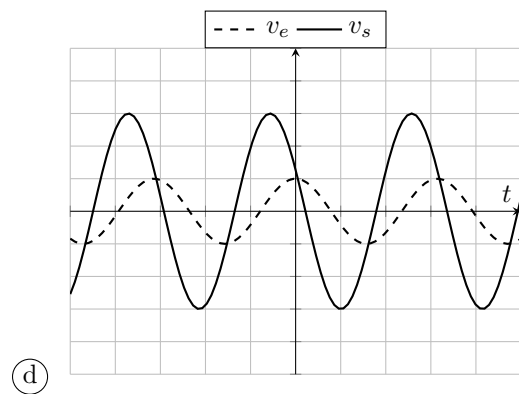
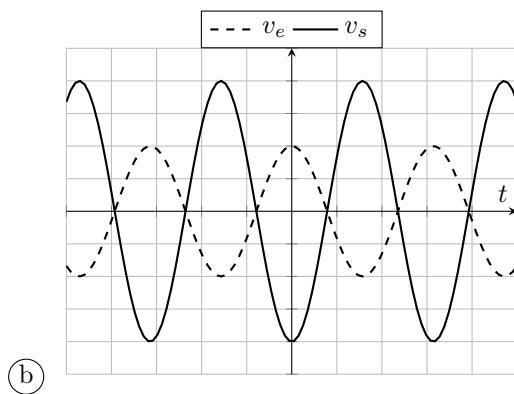
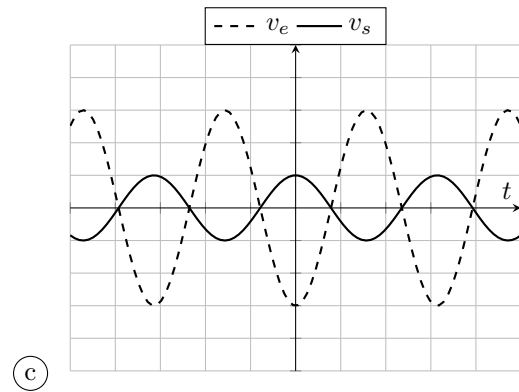
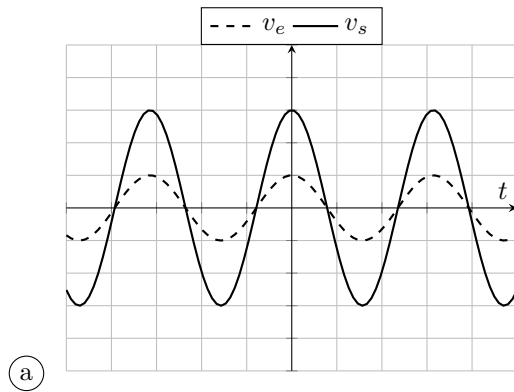
Un montage amplificateur inverseur produit un gain

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

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 .



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

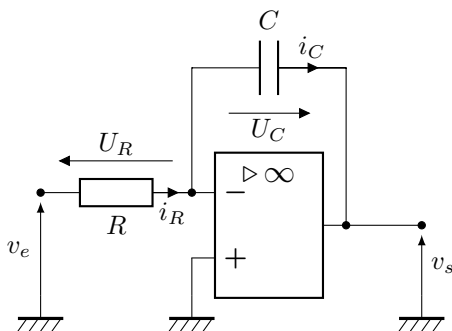
.....

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



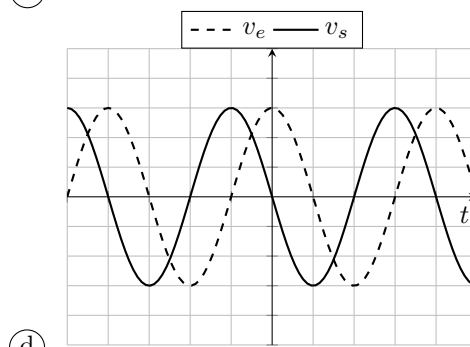
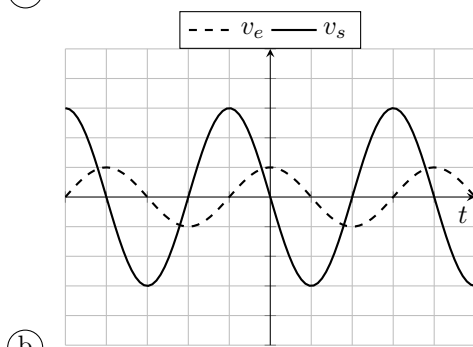
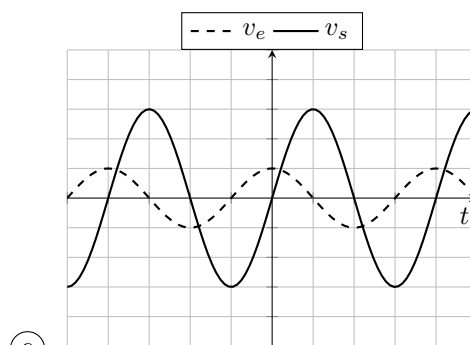
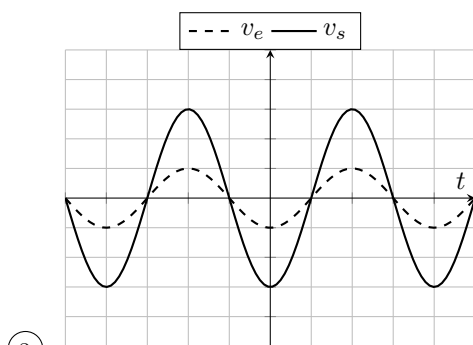
Un montage intégrateur inverseur a pour fonction de transfert

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

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

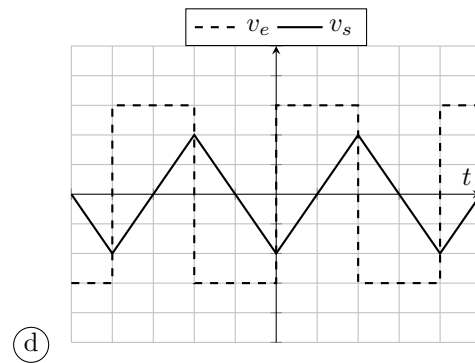
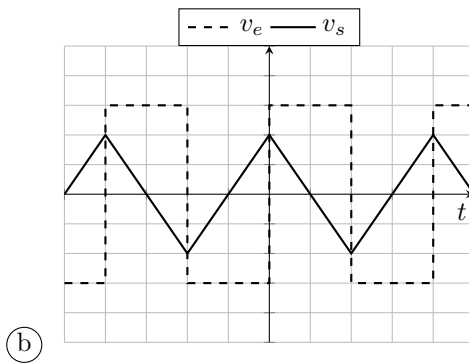
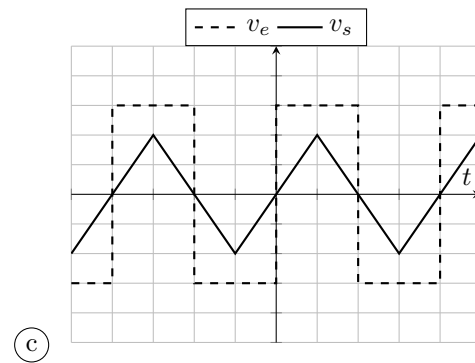
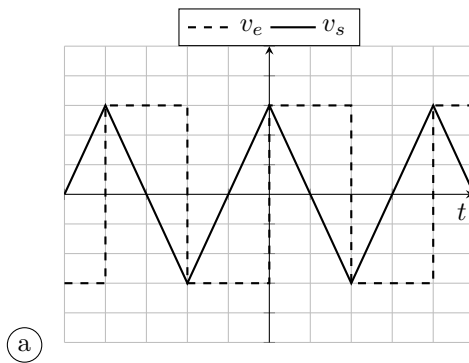
$$\underline{H} = -\frac{1}{jRC\omega}$$

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 : $250 \mu\text{s/division}$.



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 ?

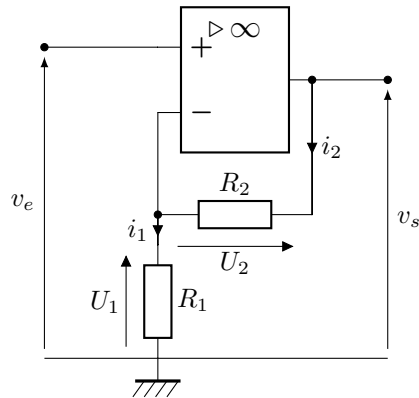
.....

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 $R_2 = 33 \text{ k}\Omega$

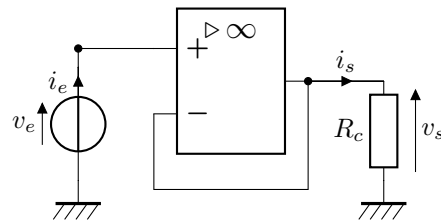
Impédances d'entrée

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.

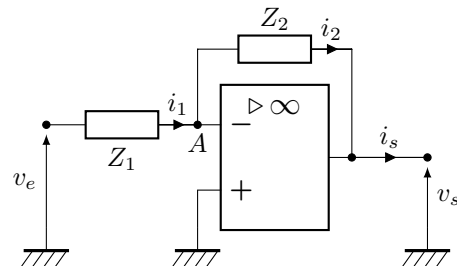
d) Quelle est l'impédance d'entrée du montage suiveur ?

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 ω .

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)	$\frac{\alpha}{1 + \alpha^2}$	∞	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)	∞	Vrai	$i_1 = i_2$	$\frac{1}{RC\omega}$	0 V	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{v_e}{Z_1}$	$-\frac{E}{RC\omega} \sin(\omega t)$
1 kHz	(a) (d)	$-\frac{E}{RC} t + K$	Faux	16	Faux	Faux	$1 + \frac{R_2}{R_1}$	