

# TP ÉcB. Montages à amplificateur linéaire intégré (ALI)

## Objectifs

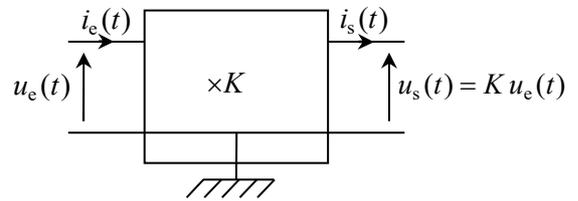
- Réalisation de montages à amplificateur linéaire intégré (ALI) sur plaque d'essais
- Étude de leurs performances et défauts
- Tracé expérimental d'un diagramme de Bode
- Visualisation de l'intégration d'un signal
- Utilisation de la fonction *Single* (observation monocoup) de l'oscilloscope

## 1. Amplification de tension

### a) Schéma général

□ Un *amplificateur de tension* est un quadripôle qui, à partir d'une tension d'entrée  $u_e(t)$ , fournit une tension de sortie  $u_s(t) = K u_e(t)$ , où le gain  $K$  est une constante, positive ou négative, telle que  $|K| > 1$ . C'est donc un quadripôle *linéaire*.

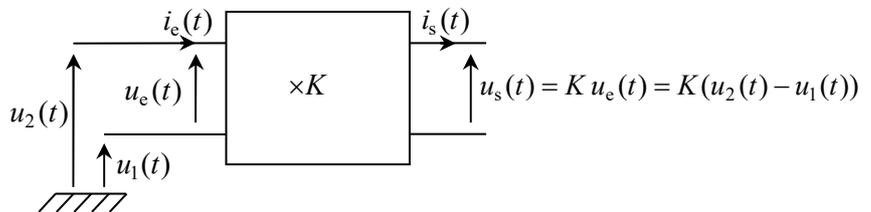
Les deux tensions sont généralement mesurées à partir d'un point commun, la masse du circuit.



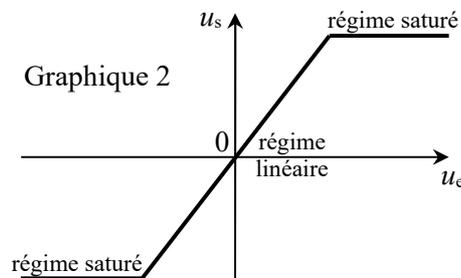
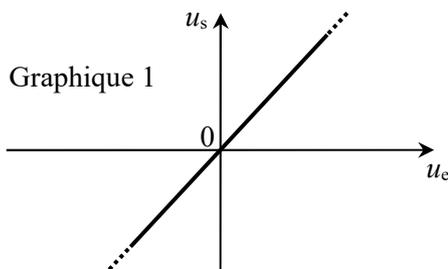
On rappelle que le quadripôle est dit *idéal* si :

- son impédance d'entrée est infinie, c'est-à-dire que  $i_e(t) = 0$  ;
- son impédance de sortie est nulle, c'est-à-dire que la tension  $u_s(t)$  est indépendante de  $i_s(t)$ , donc indépendante du dipôle branché aux bornes de sortie (« charge »).

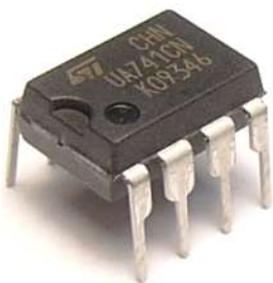
□ Dans le cas d'un *amplificateur différentiel*, aucune des deux bornes d'entrée n'est reliée à la masse (cela peut être aussi le cas des deux bornes de sortie).



□ La caractéristique de transfert entrée–sortie d'un amplificateur est théoriquement une droite passant par l'origine (graphique 1), de pente  $K$ . Mais en réalité il existe toujours un phénomène de saturation, c'est-à-dire que la tension de sortie est bornée (à des valeurs qui dépendent de la structure du montage), donc la caractéristique de transfert réelle a toujours l'allure du graphique 2.

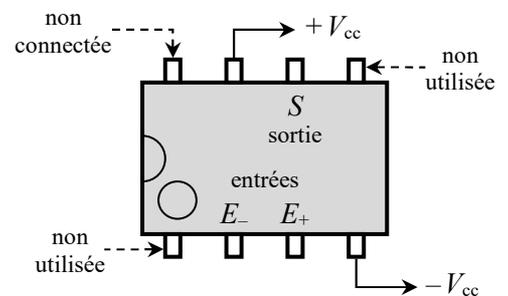


### b) Amplificateur linéaire intégré (ALI) ou amplificateur opérationnel (AO)



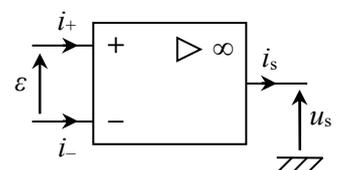
□ L'ALI ou AO est un composant électronique à sept bornes :

- deux bornes d'entrée (entrée *non inverseuse* notée  $E_+$  sur ce schéma, et entrée *inverseuse* notée  $E_-$ ) ;
- une borne de sortie (notée ici  $S$ ) ;
- deux bornes devant être reliées à des alimentations continues  $+V_{cc}$  et  $-V_{cc}$  (généralement  $+15\text{ V}$  et  $-15\text{ V}$ ) ;



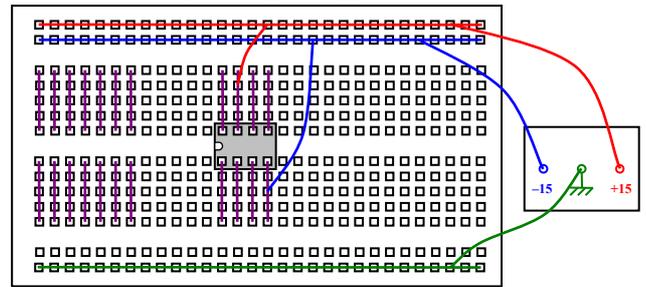
- deux autres bornes que nous n'utiliserons pas (elles peuvent servir à compenser un défaut de l'ALI). La huitième broche n'est connectée à rien.

□ Sur un schéma de circuit, on ne fait apparaître que les deux bornes d'entrée (notées  $+$  et  $-$  au lieu de  $E_+$  et  $E_-$ ) et la borne de sortie. La connexion aux alimentations  $\pm V_{cc}$  est *toujours sous-entendue* (l'ALI ne pouvant pas fonctionner sans elles).  $\varepsilon$  est la *tension différentielle d'entrée* :  $\varepsilon = v_+ - v_-$  en notant  $v_+$  et  $v_-$  les potentiels des deux entrées.  $u_s$  est la tension de sortie, mesurée par rapport à la masse.



□ On rencontre deux modèles fréquents, appelés  $\mu A741$  et TL081 ; ce nom de code est écrit sur l'ALI lui-même. Le premier est un modèle de base, le second est plus performant (défauts moins grands par rapport au modèle idéal).

□ Pour réaliser un montage avec un ALI, on utilisera une *plaque d'essais* (appelée aussi platine d'expérimentation ou Labdec, marque déposée) sur laquelle seront fixés également tous les composants miniaturisés (résistances, capacités, fils de liaison...). Les trous sont connectés entre eux horizontalement sur les lignes du haut et du bas, mais verticalement (par groupes de cinq) dans les parties centrales (c'est ce qui est figuré par les traits violets).



On devra connecter trois lignes horizontales aux trois bornes de l'alimentation continue : potentiel  $+V_{cc}$  tout en haut (fil rouge de préférence), potentiel  $-V_{cc}$  juste en dessous (fil bleu) et potentiel 0 (masse du circuit) tout en bas.

□ Modèle de l'ALI idéal de gain infini

– Les courants d'entrée sont nuls :  $i_+ = 0$  et  $i_- = 0$ .

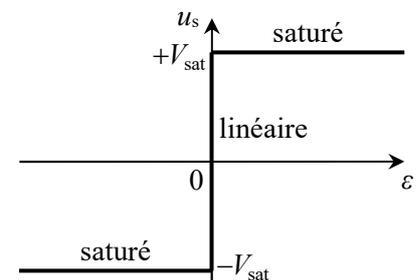
– L'intensité de sortie  $i_s$  est toujours une *inconnue a priori*, c'est-à-dire qu'aucune loi ne la relie aux autres grandeurs. Par conséquent il est généralement inutile d'appliquer la loi des nœuds à la sortie d'un ALI, puisque cela ne fait qu'ajouter à la fois une inconnue et une équation.

– Enfin la notion de gain infini (symbole  $\infty$  sur le schéma) signifie  $K \rightarrow \infty$ , donc l'ALI n'est en régime linéaire que lorsque la tension  $\varepsilon$  est quasi nulle.

Sa caractéristique statique de transfert a alors l'allure ci-contre.

• En régime linéaire :  $\varepsilon = 0$  et  $-V_{sat} < u_s < +V_{sat}$ .

• En régime saturé :  $\begin{cases} \varepsilon > 0 \text{ et } u_s = +V_{sat} \\ \text{ou bien} \\ \varepsilon < 0 \text{ et } u_s = -V_{sat} \end{cases}$



$V_{sat}$  est la *tension de saturation*, légèrement inférieure à la tension d'alimentation  $V_{cc}$  (pour  $V_{cc} = 15 \text{ V}$ ,  $V_{sat} \approx 13 \text{ V}$ ).

□ On n'utilise pas l'ALI seul comme quadripôle amplificateur, puisqu'il sature pour tout signal d'entrée non nul. Il est inclus dans des montages comportant d'autres composants (résistances, capacités...) pour réaliser différents types d'opérations analogiques : amplification, dérivation, intégration, addition, soustraction... Ces montages comportent généralement une boucle de rétroaction, c'est-à-dire une branche connectant la sortie de l'ALI avec l'une des deux entrées. Cette boucle doit arriver *sur l'entrée inverseuse* pour un fonctionnement en régime linéaire. Nous étudierons ici un montage amplificateur, puis un filtre pouvant servir d'intégrateur.

## 2. Montage amplificateur non inverseur

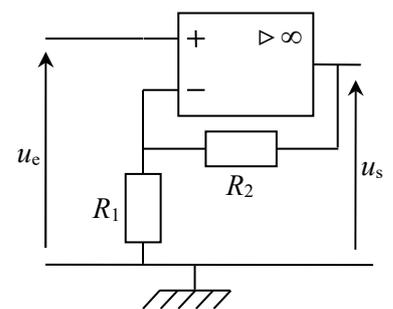
### a) Présentation et étude théorique

□ Le schéma du montage est donné ci-contre.

#### ➤ Questions 1

– En utilisant le modèle de l'ALI idéal de gain infini ( $i_+ = 0$ ,  $i_- = 0$  et  $\varepsilon = 0$ ), montrer que ce quadripôle réalise une amplification de tension et préciser la valeur de son gain  $K$  en fonction des deux résistances.

– Préciser ses impédances d'entrée et de sortie.



### b) Réalisation et observation

**Ne pas allumer les appareils avant d'avoir fait vérifier les branchements ! Il y a un risque de destruction de l'ALI.**

#### ➤ Protocole préliminaire : installation de l'ALI

– Relier les trois bornes de l'alimentation continue (+15 V, -15 V et 0) aux trois lignes horizontales de la plaquette.

– Placer l'ALI au milieu de la plaquette, et le relier aux deux lignes d'alimentation (voir schéma en haut de la page).

#### ➤ Protocole 1

– Ajouter sur la plaquette deux résistances  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  et  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$  (à vérifier à l'ohmmètre) ainsi que les fils de connexion nécessaires pour réaliser le montage. La tension d'entrée  $u_e$  (basse fréquence) sera fournie par un GBF.

– Déterminer comment faire apparaître à l'écran de l'oscilloscope la caractéristique de transfert entrée-sortie de ce quadripôle. Déterminer la pente de la courbe en régime linéaire, et comparer à la valeur attendue.

#### ➤ Protocole 2

– Observer le comportement de ce montage dans différents domaines de fréquences. Dans quel domaine réalise-t-il la fonction attendue ? Montrer qu'il y a en fait un effet de filtrage (à préciser), et évaluer la fréquence de coupure  $f_0$ .

– Montrer expérimentalement que dans ce montage, le « produit gain-bande passante »  $K \times f_0$  a une valeur fixée. En déduire les choix à faire lors de l'utilisation pratique d'un tel amplificateur.

### 3. Montage pseudo-intégrateur

#### a) Étude théorique

Le montage pseudo-intégrateur est donné par le schéma ci-contre.

L'ALI est supposé idéal de gain infini, et fonctionnant en régime linéaire.

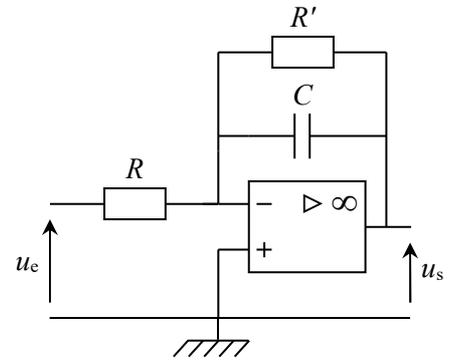
#### ➤ Questions 2

– Montrer que la fonction de transfert de ce quadripôle est :

$$\underline{H} = \frac{H_0}{1 + j\omega/\omega_0} \text{ avec } H_0 = -\frac{R'}{R} \text{ et } \omega_0 = \frac{1}{R'C}.$$

– Montrer que ce quadripôle se comporte en *intégrateur* dans un certain domaine de fréquences.

– Déterminer les impédances d'entrée et de sortie du montage. Que peut-on en conclure ?



#### b) Réalisation du montage et diagramme de Bode

##### ➤ Protocole 3

– Réaliser le montage avec  $R = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R' = 20 \text{ k}\Omega$  (ou  $22 \text{ k}\Omega$ ) et  $C = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$ . Relier l'entrée du montage au GBF, donnant un signal sinusoïdal de  $1 \text{ kHz}$ , et relier l'entrée et la sortie aux deux voies de l'oscilloscope.

**Faire vérifier le montage, puis allumer les appareils** et observer les signaux.

– Si le signal sature, comment faire pour le rendre bien sinusoïdal ?

##### ➤ Protocole 4

– Par la méthode de votre choix, établir le tracé de la courbe de gain du diagramme de Bode de ce quadripôle.

– À partir de cette courbe, déterminer les trois grandeurs suivantes (et leurs *incertitudes*) et comparer aux valeurs attendues : gain asymptotique en BF ; pente de l'asymptote en HF ; fréquence de coupure  $f_0$ .

#### c) Caractère intégrateur

##### ➤ Protocole 5

– Alimenter maintenant le circuit avec un signal carré (en créneaux) et faire varier sa fréquence. Conclure sur le domaine dans lequel le circuit se comporte effectivement comme un intégrateur.

– Se placer à la fréquence  $f = 1,0 \text{ kHz}$  (où l'opérateur fonctionne en intégrateur), avec un signal carré entre  $-1,0 \text{ V}$  et  $+1,0 \text{ V}$ . Mesurer (avec les curseurs) l'amplitude du signal de sortie et évaluer son incertitude.

Prévoir théoriquement le signal que l'on doit observer en sortie dans ce cas, et comparer à la valeur mesurée.

#### d) Modification du montage : intégrateur idéal ?

On souhaiterait pouvoir intégrer à toutes les fréquences : il faut donc que  $\omega_0$  tende vers zéro, donc  $R'$  vers l'infini.

##### ➤ Protocole 6 (s'il reste du temps)

– Comment réaliser une résistance  $R'$  infinie ? Modifier le montage de cette manière. Observer alors l'évolution de la tension de sortie  $v_s$  du montage. Obtiens-tu ce qui est attendu ? Vers quelle valeur s'arrête l'évolution observée ?

– Pour pouvoir relancer le montage à partir d'une condition initiale  $v_s(0) = 0$ , ajouter un fil en parallèle avec le condensateur : le condensateur restera alors déchargé (donc  $v_s = 0$ ) jusqu'à  $t = 0$  où on débranchera ce fil. Observer à nouveau l'évolution de  $v_s$  à partir de  $t = 0$ , avec différents signaux d'entrée (y compris un signal nul).

– La saturation à laquelle on aboutit est due à un défaut à l'entrée – de l'ALI : le courant de polarisation, d'intensité  $i_-$  constante, très faible mais non nulle. Ce courant charge le condensateur progressivement, jusqu'à la saturation. Pour mesurer ce courant, prendre  $v_e(t) = 0$  en débranchant le GBF et en connectant l'entrée du montage à la masse. Avec le bouton **Single**, enregistrer le signal  $v_s(t)$  à partir de  $t = 0$  : faire en sorte d'avoir une *grande* droite qui traverse tout l'écran. Déterminer la pente de la droite et en déduire la valeur de  $i_-$ .

Sachant qu'il existe un courant similaire  $i_+$  dans l'entrée +, conclure sur le modèle de l'ALI idéal.