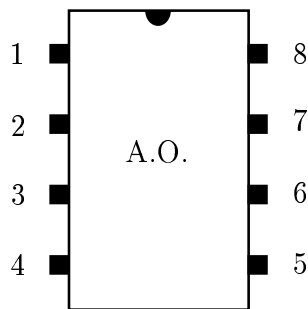


# TP3 : AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL I

## 1 Présentation et polarisation

### 1.1 Présentation

L'A.O. dans sa version standard se présente sous forme d'un circuit intégré à 8 pattes (voir figure 1). Il a l'aspect d'un parallélépipède rectangle. Lorsqu'il est vu de dessus, une encoche ou un point permet le repérage de ses bornes.



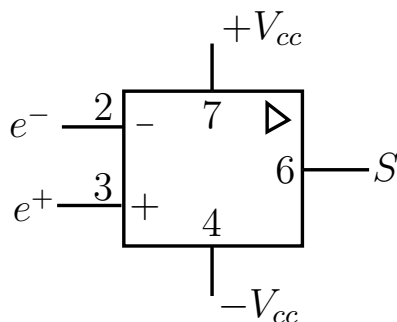
(a) Boîtier DIL d'un A.O.

- 1 : réglage de la tension de décalage ;
  - 2 : entrée inverseuse  $-$  ;
  - 3 : entrée non inverseuse  $+$  ;
  - 4 : polarisation négative ( $-V_{cc}$ ) ;
  - 5 : réglage de la tension de décalage (offset) ;
  - 6 : sortie  $S$  ;
  - 7 : polarisation positive ( $+V_{cc}$ ) ;
  - 8 : non connectée.
- (b) Description du brochage.

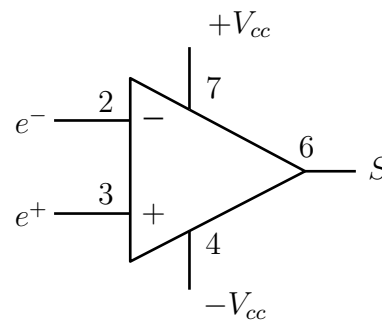
FIGURE 1 – Amplificateur Opérationnel (A.O.) vu de dessus (pattes vers le bas) et son brochage.

On utilise dans ce T.P. différents types d'A.O correspondant à des performances et à des origines (constructeurs) variées : TL081, CA741,  $\mu A741$ .

Dans un schéma électrique on représente l'amplificateur opérationnel de la façon représentée figure 2 :



(a) Symbole français ou européen.



(b) Symbole anglo-saxon.

FIGURE 2 – Différents symboles d'un amplificateur opérationnel . En général on ne représente pas les broches d'alimentation 4 et 7.

## 1.2 Polarisation

L'amplificateur opérationnel est un circuit actif, il comporte bon nombre de transistors et nécessite de ce fait une alimentation externe. Celle-ci se compose dans la plupart des cas, de deux sources continues de tensions ( $-V_{cc}$ ) et ( $+V_{cc}$ ). En générale ces tensions sont symétriques et possèdent un point milieu connecté à la référence des potentiels du circuit (la masse).

Une autre conséquence de la structure interne de l'amplificateur opérationnel est la nécessité de le **polariser avant** toute utilisation (sous peine de destruction) et **d'éteindre cette polarisation après** l'extinction de toutes les sources de signaux externes.

On a représenté figure 3, le circuit de polarisation de l'amplificateur opérationnel (continue, symétrique et à point milieu à la masse). On utilisera ce type d'alimentation dans tous les montages, celle-ci ne sera par conséquent plus représentée sur les schémas de principe des circuits étudiés.

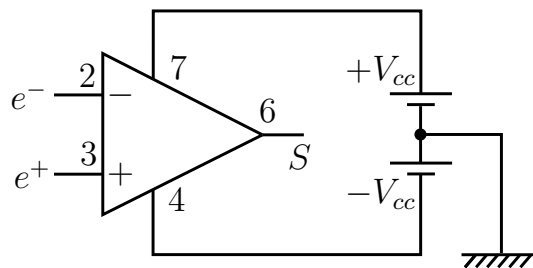


FIGURE 3 – Circuit de polarisation symétrique de l'amplificateur opérationnel.

## 2 Conditions de fonctionnement linéaire de l'A.O.

### 2.1 Présentation

L'amplificateur opérationnel peut présenter deux types de fonctionnement différents selon la façon dont on connecte ses broches inverseuses et non inverseuses au reste du circuit. Ces deux modes de fonctionnement sont respectivement le mode de fonctionnement *linéaire* et le mode *non linéaire* ou saturé. le but de ce T.P. est de dégager les caractéristiques fondamentales de chacun de ces modes de fonctionnement.

- ☞ Comment caractériser expérimentalement la linéarité d'un système physique? Comment procéder dans le cas particulier d'un circuit électronique?
- ☞ Énoncer le critère expérimental de linéarité d'un système physique.

### 2.2 Amplificateur opérationnel en boucle ouverte

- ☞ Réaliser le montage représenté figure 4(a).
- ☞ On applique tout d'abord sur l'entrée non-inverseuse de l'A.O. une tension continue  $u_e = 1\text{ V}$ . Que valent les tensions  $\varepsilon$  et  $u_s$ ? Même question si  $u_e = -1\text{ V}$ .
- ☞ On applique maintenant sur l'entrée non-inverseuse de l'A.O. une tension sinusoïdale alternée  $u_e(t)$  de basse fréquence. Quelle est la forme du signal de sortie  $u_s(t)$ ? Interpréter.
- ☞ Combien de valeurs le signal de sortie peut-il prendre? Relier le signe de  $\varepsilon$  et la valeur de  $u_s$ .

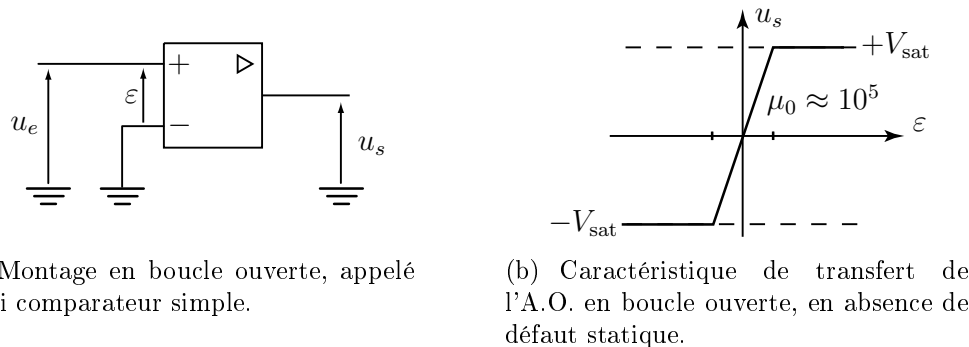


FIGURE 4 – Amplificateur opérationnel en boucle ouverte.

- ☞ En diminuant l'amplitude du signal d'entrée, essayer d'obtenir un signal sinusoïdal en sortie, conclure sur le fonctionnement de l'A.O. en boucle ouverte.
- ☞ Pour quoi choisir un signal sinusoïdal pour faire l'analyse précédente ?
- ☞ Analyser les différentes parties de la caractéristique de transfert  $u_s = f(\varepsilon)$  de l'A.O. en boucle ouverte (figure 4(b)).
- ☞ Sachant que la pente  $\mu_0$  de la partie linéaire de la caractéristique de transfert  $u_s = f(\varepsilon)$  est de l'ordre de  $10^5$  et que  $V_{\text{sat}} = 15 \text{ V}$ , expliquer pourquoi dans les conditions de l'expérience on ne peut jamais observer le fonctionnement linéaire en boucle ouverte.

## 2.3 Amplificateur Opérationnel en boucle fermée

Dans la plus grande partie des applications, on utilise l'A.O. en boucle fermée. On peut alors envisager trois situations :

- un bouclage entre l'entrée non inverseuse et la sortie (réaction positive), le potentiel de l'entrée inverseuse étant fixé ;
- un bouclage entre l'entrée inverseuse et la sortie (réaction négative), le potentiel de l'entrée non-inverseuse étant fixé ;
- et finalement un bouclage comprenant les deux cas précédents.

Le régime de fonctionnement du circuit complet dépend du type de bouclage utilisé.

### 2.3.1 Réaction positive

On réalise le montage représenté figure 5. On applique sur l'entrée inverseuse de l'A.O. une tension sinusoïdale  $u_e(t)$  d'amplitude  $V_{\text{emax}} = 10 \text{ V}$  et de fréquence  $f = 1 \text{ kHz}$ .

- ☞ Quelle est la forme du signal de sortie ? En agissant sur l'amplitude du signal d'entrée, essayer d'obtenir un fonctionnement linéaire de ce circuit. Conclure.
- ☞ En mode XY de l'oscilloscope, visualiser la tension de sortie  $u_s$  sur l'axe Y en fonction de la tension d'entrée  $u_e$  sur l'axe X pour une fréquence très basse de l'ordre de  $f = 1 \text{ Hz}$ . Relever la courbe observée à l'écran avec son sens de parcours sur le cahier de laboratoire.
- ☞ Mesurer les valeurs  $\pm V_b$  du potentiel  $V_+$  de la patte non-inverseuse pour lesquelles la sortie S bascule d'un état à un autre.

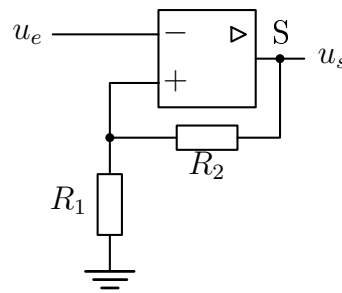
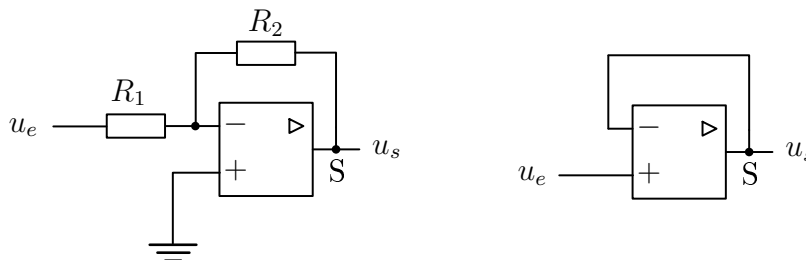


FIGURE 5 – Comparateur à hystérésis avec  $R_1 = R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$ .

- ☞ À l'aide d'un multimètre numérique, mesurer la valeur efficace de la tension  $\varepsilon$ . Conclure
- ☞ Quelle opération ce circuit réalise-t-il ? Quelles applications en voyez-vous ?

### 2.3.2 Réaction négative

On réalise le montage représenté figure 6(a), et on applique une tension sinusoïdale de faible amplitude à l'entrée du montage ( $\hat{u}_e < 1\text{V}$ ).



(a) Montage amplificateur inverseur avec  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  et  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ . (b) Montage suiveur non inverseur.

FIGURE 6 – Montages amplificateur inverseur et suiveur non inverseur.

- ☞ Déterminer l'expression théorique de la fonction de transfert  $\underline{H}(j\omega)$  du montage.
- ☞ Visualiser à l'oscilloscope les tensions d'entrée et de sortie. Quelle est le régime de fonctionnement du circuit ?
- ☞ Comparer l'observation avec ce que prévoit l'expression de  $\underline{H}(j\omega)$ . Conclure.

### 2.3.3 Limitations fondamentales

On veillera à ne pas se mettre dans des situations où plusieurs limitations interviennent en même temps.

**2.3.3.1 Limitation en amplitude de la tension de sortie** On utilise encore le montage de la figure 6(a).

- ☞ À partir du régime de fonctionnement obtenu précédemment, augmenter progressivement l'amplitude du signal d'entrée. Observer le signal de sortie. Que se passe-t-il ? Relever la valeur  $\hat{u}_e^{\max}$

de l'amplitude  $\hat{u}_e$  qui permet d'observer un changement de comportement du circuit. Comparer la valeur mesurée à la valeur théorique.

- ☞ Pour  $\hat{u}_e \gg \hat{u}_e^{\max}$ , mesurer la valeur efficace de la tension  $\varepsilon$  à l'aide d'un multimètre numérique. Conclure.
- ☞ Conclure sur la limitation en amplitude de la tension de sortie et son influence sur le mode de fonctionnement du circuit.

**2.3.3.2 Limitation de la pente du signal de sortie** On utilise toujours le montage de la figure 6(a) avec un amplificateur opérationnel  $\mu A741$ . Le signal d'entrée est sinusoïdal alterné d'amplitude 1 V. On rappelle que la pente  $\sigma$  du signal de sortie est donnée par  $\sigma = du_s/dt$ .

- ☞ En partant d'un fonctionnement linéaire, augmenter progressivement la fréquence du signal d'excitation jusqu'à obtenir une « triangulation » du signal de sortie. Le circuit fonctionne-t-il toujours de manière linéaire ? Mesurer la fréquence correspondante, en déduire la valeur du « slewer-rate » de l'A.O.  $\mu A741$ , c'est à dire la valeur de  $\sigma$  pour laquelle la triangulation apparaît. Comparer avec la valeur annoncée par le constructeur.
- ☞ Sur quel facteur peut-on jouer pour limiter l'effet précédent ? Vérifier vos réponses à l'oscilloscope.
- ☞ Conclure sur la limitation en pente du signal de sortie.

**2.3.3.3 Limitation en amplitude du courant de sortie** Pour éviter de superposer une limitation de l'amplitude de la tension de sortie à celle du courant, on utilise le montage *suiveur* non inverseur représenté figure 6(b).

- ☞ Régler l'amplitude  $\hat{u}_e$  de sorte à ce que l'amplitude  $\hat{u}_s$  de la tension de sortie soit égale à 1 V en régime linéaire de fonctionnement.
- ☞ Brancher une résistance réglable  $R_c$  (boîte à décades) entre la sortie de l'amplificateur et la masse.
- ☞ En commençant par fixer une grande valeur à  $R_c$  ( $R_c = 100 \text{ k}\Omega$ ), diminuer progressivement  $R_c$  tout en observant l'allure du signal de sortie. Déterminer la valeur  $R_c^{\min}$  qui introduit un changement de comportement du circuit. En déduire tout d'abord la valeur de l'intensité du courant électrique qui circule dans la résistance de charge puis l'intensité  $I_{AO}$  débitée par l'amplificateur opérationnel. Comparer avec les données du constructeur (fiche technique).
- ☞ Conclure sur la limitation en amplitude du courant de sortie.

**2.3.3.4 Conclusion : conditions d'un fonctionnement linéaire de l'A.O**

- ☞ Tirer de toutes les études précédentes, les conditions de fonctionnement linéaire d'un circuit ne comportant que des dipôles linéaires et des amplificateurs opérationnels.
- ☞ Indiquer les conséquences sur les propriétés de l'amplificateur opérationnel pour chaque type de régime de fonctionnement.

### 3 Amplification linéaire en continu et basses fréquences

Nous proposons d'abord quelques applications élémentaires du fonctionnement linéaire de l'amplificateur opérationnel.

### 3.1 Amplification avec inversion – Conversion $I \rightarrow V$

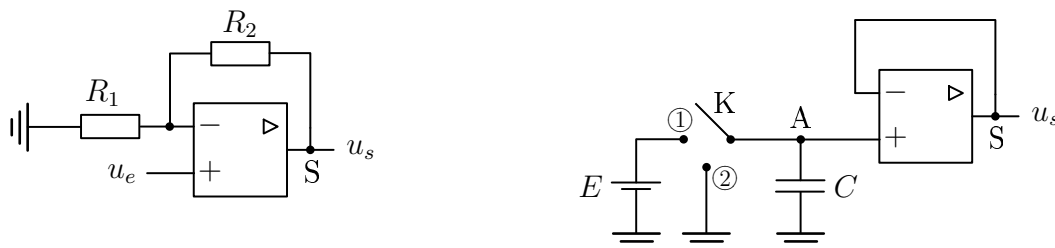
On utilise encore le montage de la question 2.3.2 avec une résistance de charge  $R_c$  infinie.

- ☞ Rappeler l'expression de l'amplification en tension de ce montage (on suppose l'A.O. idéal).
- ☞ Comment modélise-t-on un amplificateur de tension unidirectionnel vu de son entrée ?
- ☞ On désire mesurer le paramètre précédent à l'aide de la méthode de demi-tension. Rappeler le principe de cette méthode.
- ☞ Mesurer l'impédance d'entrée du montage amplificateur inverseur. Comparer avec la valeur théorique.
- ☞ Est-il possible de mesurer l'impédance de sortie du montage amplificateur précédent ? justifier votre réponse.
- ☞ Justifier le fait que ce montage est un « convertisseur » courant-tension ( $I \rightarrow V$ ).

### 3.2 Amplification sans inversion $V \rightarrow V$

#### 3.2.1 Cas général

Réaliser le montage représenté figure 7(a).



(a) Montage amplificateur non-inverseur avec  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  et  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ .

(b) Application du suiveur non inverseur : amélioration d'un voltmètre analogique. Prendre  $C$  de 1 à 100  $\mu\text{F}$ .

FIGURE 7 – Montages amplificateur non-inverseur et application du suiveur non inverseur.

- ☞ En supposant l'amplificateur opérationnel idéal, déterminer l'expression de l'amplification en tension de ce montage. Quelle est la condition de validité de ce calcul ?
- ☞ Mesurer l'amplification en tension de ce montage pour successivement un signal d'entrée sinusoïdal d'amplitude 1 V, et un signal continu de 1 V. Conclure.

#### 3.2.2 Cas particulier important du suiveur

On réalise un suiveur à partir du montage précédent en réalisant  $R_1 \rightarrow \infty$  et  $R_2 = 0$ .

- ☞ Faire le schéma du suiveur.
- ☞ Calculer l'amplification en tension théorique de ce montage. Quelle est l'impédance d'entrée théorique de ce montage ?

### 3.2.3 Exemple d'application du suiveur

Pour illustrer l'intérêt *fondamental* du montage suiveur<sup>1</sup> nous proposons l'application élémentaire du montage représenté figure 7(b).

Lorsque l'interrupteur K est sur la position ①, le condensateur  $C$  est chargé sous la tension continue  $E = 5\text{ V}$ . La position ② permet de vider le condensateur (remise à zéro : RAZ).

- ☞ Après avoir chargé le condensateur, mettre K « en l'air ». À l'aide d'un voltmètre analogique H1000, mesurer la tension aux bornes du condensateur au point A. Qu'observez-vous ? Comment expliquez-vous ce phénomène ?
- ☞ Recharger si besoin le condensateur et remettre l'interrupteur K en l'air. Mesurer la tension de sortie de l'amplificateur opérationnel (point S). Qu'observe-t-on ? Quelle amélioration apporte le montage suiveur ? Expliquer.

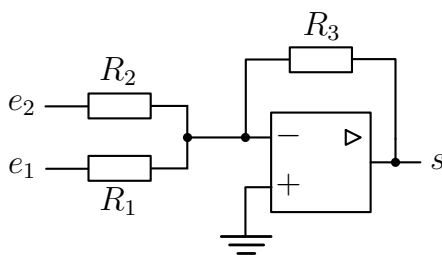
## 4 Application de l'A.O. en électronique analogique linéaire, en régime continu ou en basses fréquences

L'amplificateur opérationnel permet de réaliser des systèmes électroniques qui jouent le rôle d'opérateur en réalisant une opération mathématique sur le signal à traiter. Cette opération peut être linéaire (addition, soustraction, intégration, dérivation, multiplication par une constante, ...) ou non linéaire (multiplication, division, racine carrée, conformation, ...). Nous proposons d'aborder ici quelques opérations élémentaires réalisables avec un amplificateur opérationnel.

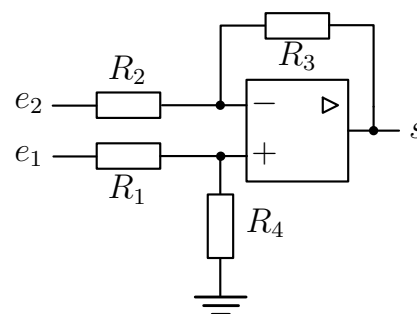
### 4.1 Addition et soustraction

#### 4.1.1 Addition

Réaliser le montage représenté figure 8(a) :



(a) Montage sommateur à amplificateur opérationnel.



(b) Montage soustracteur à amplificateur opérationnel.

FIGURE 8 – Addition et soustraction avec un amplificateur opérationnel.

- ☞ Déterminer l'expression de la tension de sortie en fonction de  $e_1(t)$ ,  $e_2(t)$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ .

1. Certains constructeurs proposent des amplificateurs opérationnels branchés intérieurement en suiveur comme le LM110 par exemple.

- ⚡ Comment doit-on choisir les résistances  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  pour réaliser l'opération addition ? Proposer un montage permettant de s'affranchir du signe de cette somme.
- ⚡ Comment doit-on choisir les résistances  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  pour réaliser la somme pondérée  $s(t) = e_1(t) + 2e_2(t)$  ?
- ⚡ Comment modifier le montage précédent pour réaliser la somme  $s(t) = e_1(t) + e_2(t) + e_3(t)$  ?
- ☞ Réaliser le montage additionneur avec  $R_1 = 1\text{ k}\Omega$  (les valeurs de  $R_2$  et  $R_3$  étant déterminées par la relation trouvée précédemment). Le signal  $e_1(t)$  sera par exemple un signal sinusoïdal de fréquence 1 kHz et d'amplitude 1 V. Le signal  $e_2(t)$  sera une tension continue de 1 V.
- ☞ Relever l'allure de  $s(t)$ .
- ☞ Même chose si le signal  $e_2(t)$  est un signal sinusoïdal de fréquence  $f_2$  très proche de  $f_1 = 1\text{ kHz}$  (c'est à dire  $f_2 = f_1 + \Delta f$ ). Comment s'appelle le phénomène observé.
- ⚡ Quelles sont les précautions à prendre pour un fonctionnement linéaire de cet opérateur ?

#### 4.1.2 Soustraction

On réalise le montage représenté figure 8(b)

- ⚡ Déterminer l'expression de la tension de sortie  $s$  en fonction de  $e_1$ ,  $e_2$  et des éléments du circuit.
- ⚡ Comment doit-on choisir les résistances pour réaliser l'opération soustraction ?
- ☞ Réaliser le montage avec le choix précédent. Visualiser le signal correspondant à la différence de deux signaux sinusoïdaux de même amplitudes et de fréquences très proche. On prendra des valeurs de résistances du même ordre de grandeur qu'au montage additionneur.
- ⚡ Citer quelques exemples de mise en œuvre pratique de cette opération différence.

## 4.2 Intégration et dérivation

Les opérations intégration et dérivation sont fondamentales dans l'étude des systèmes linéaires puisqu'elles conditionnent l'ordre de l'équation différentielle qui caractérise le système.

### 4.2.1 Intégration

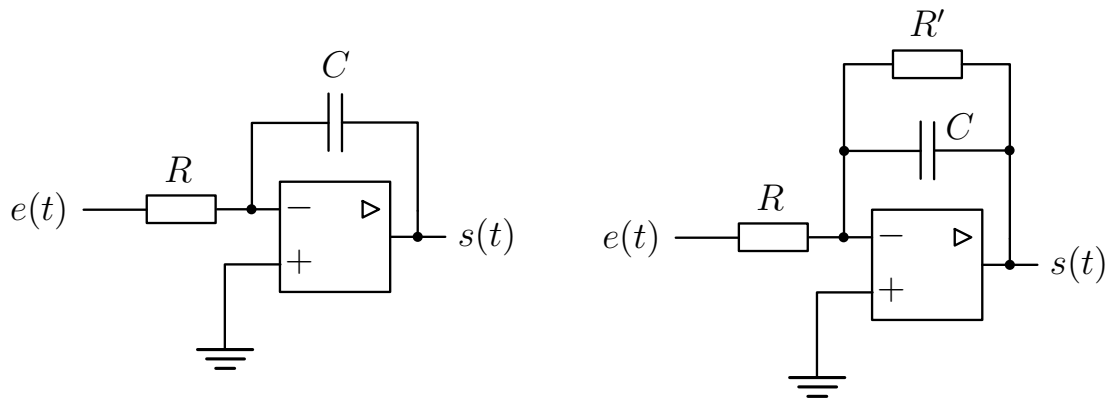
**4.2.1.1 Montage théorique** Le montage théorique qui permet de réaliser la fonction intégration avec un amplificateur opérationnel est représenté figure 9(a).

- ⚡ Déterminer la fonction de transfert harmonique du montage intégrateur idéal.
- ☞ Réaliser le montage correspondant, en utilisant un A.O. TL081, le générateur d'entrée fournit un signal carré symétrique. Qu'observe-t-on ? La fonction linéaire intégration est-elle vérifiée ?
- ⚡ Quelles sont les origines des phénomènes précédents ? Comment peut-on les atténuer ? (On étudiera plus en détail ces phénomènes dans la séance Amplificateur opérationnel II).

**4.2.1.2 Montage pratique** On propose, pour éliminer les phénomènes précédents, d'utiliser le montage pseudo-intégrateur représenté figure 9(b).

- ⚡ Expliquer simplement pourquoi l'adjonction d'une résistance  $R'$ , de grande valeur ( $R' = 100\text{ k}\Omega$ ), en parallèle avec  $C$ , permet d'éliminer les phénomènes observés précédemment.





(a) Montage intégrateur idéal à amplificateur opérationnel avec  $C = 100 \text{ nF}$  et  $R = 10 \text{ k}\Omega$ .

(b) Modification pratique de l'intégrateur idéal.

FIGURE 9 – Intégration avec un amplificateur opérationnel.

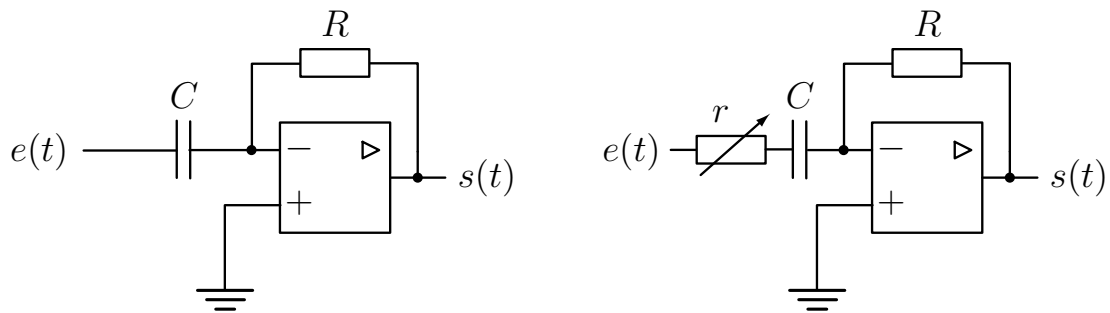
- ✎ Déterminer l'expression de la fonction de transfert harmonique  $H(j\omega)$  de ce montage. Quelle est la nature de ce filtre ? Dans quel domaine de fréquences peut-on considérer que ce montage réalise la fonction intégration ?
- ✎ Réaliser le montage 9(b). Le signal d'entrée est carré, alterné, de rapport cyclique  $\alpha = 0,5$  et d'amplitude 1 V. Pour différentes fréquences d'excitation bien choisies, observer, décrire et interpréter le comportement du montage en visualisant le signal de sortie  $s(t)$ .
- ✎ On ajoute cette fois une composante continue au signal d'entrée, on utilise une fréquence d'excitation correspondant au fonctionnement intégrateur du montage. Commenter l'allure du signal de sortie.
- ✎ Expliquer comment réaliser un signal rampe ou dent de scie avec ce montage.

## 4.2.2 Dérivation

**4.2.2.1 Montage théorique** Le montage théorique qui permet de réaliser la fonction dérivation avec un amplificateur opérationnel est représenté figure 10(a).

- ✎ Déterminer la fonction de transfert harmonique du montage dérivateur idéal.
- ✎ Réaliser le montage correspondant, le générateur d'entrée fournit tout d'abord un signal carré symétrique, d'amplitude 1V et de fréquence 100 Hz, puis un signal triangulaire de mêmes caractéristiques. Qu'observe-t-on dans chacun des cas ? La fonction linéaire dérivation est-elle vérifiée ?
- ✎ Montrer que l'origine des phénomènes précédents est cette fois *dynamique*. Chercher l'ordre apparent du montage. Les phénomènes observés sont-ils compatibles avec un montage d'ordre 1 ?
- ✎ Comment peut-on les atténuer ?

**4.2.2.2 Montage pratique** On propose, pour éliminer les phénomènes précédents, d'utiliser le montage pseudo-dérivateur représenté figure 10(b).



(a) Montage dérivateur idéal à amplificateur opérationnel, avec  $C = 100 \text{ nF}$  et  $R = 10 \text{ k}\Omega$ .

(b) Modification pratique du dérivateur idéal.

FIGURE 10 – Dérivation avec un amplificateur opérationnel.

On place en série avec le condensateur, une résistance réglable  $r$  (boîte à décades  $\times 1 \times 10 \times 100 \times 1000$ ).

- ☞ Observer l'influence de  $r$  sur l'allure du signal de sortie  $s(t)$ . On excitera le montage avec un signal d'entrée tout d'abord carré symétrique, d'amplitude 1 V et de fréquence 100 Hz, puis triangulaire de même caractéristiques. Dans chacun des cas, on augmentera  $r$ , en partant d'une valeur faible (1  $\Omega$  par exemple) et on notera la valeur minimale  $r_0$  de  $r$  qui permet l'intégration du signal d'entrée.
- ☞ Quel est le rôle de la résistance  $r$  ?
- ☞ Déterminer l'expression de la fonction de transfert harmonique  $\underline{H}(j\omega)$  de ce montage. Quelle est la nature de ce filtre ? Dans quel domaine de fréquence peut-on considérer que ce montage réalise la fonction dérivation ?

## 5 Fonctionnement non linéaire

### 5.1 Comparateur simple

Le comparateur simple a déjà été étudié dans ce T.P. au paragraphe 2.2 Ce montage permet de comparer une tension  $u_e$  (sur la patte + par exemple) à une référence  $u_{\text{ref}}$  (sur la patte -). Ici nous choisissons la masse du circuit pour référence  $u_{\text{ref}} = 0 \text{ V}$ . Nous proposons une application physique de la comparaison : la détection de passages à zéro. Le montage est représenté figure 11.

- ☞ Le signal d'entrée est un signal sinusoïdal de fréquence  $f = 1 \text{ kHz}$  et d'amplitude  $\hat{e} = 3 \text{ V}$ . Visualiser, en concordance des temps les tensions  $e(t)$  et  $u_{S_1}(t)$ , puis  $u_{S_2}(t)$  et finalement  $u_{S_3}(t)$ . Relever les oscillogrammes sur le cahier de T.P.
- ☞ Analyser le rôle de chaque élément du montage. En particulier analyser le rôle des cellules  $C_1, R_1$  et  $D, R_2$ .
- ☞ Faire varier la fréquence d'excitation et observer l'effet sur la forme du signal de sortie  $v_s(t)$ . Commenter.

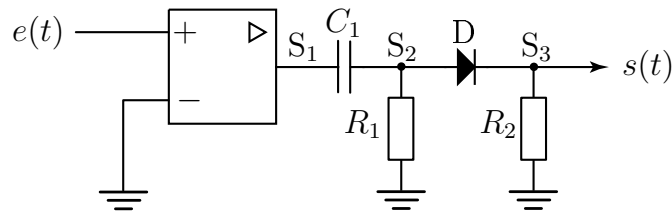


FIGURE 11 – Circuit détecteur de passage à zéro, avec  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $C_1 = 22 \text{ nF}$  et D une diode signal 1N4148.

- ☞ Montrer que ce montage peut être utilisé pour générer un pseudo peigne de DIRAC ou comme circuit de synchronisation élémentaire au niveau dans un oscilloscope. Que se passe-t-il si on inverse le sens de la diode entre  $S_2$  et  $S_3$  ?

## 5.2 Comparateur à hystérésis

Le fonctionnement en comparateur à hystérésis ou trigger de SCMITT est un exemple important de fonctionnement non linéaire de l'amplificateur opérationnel. Le montage correspondant est représenté figure 12.

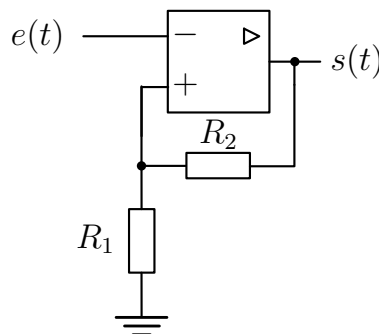


FIGURE 12 – Comparateur à hystérésis, avec  $R_1 = R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$ .

- ☞ Expliquer pourquoi l'amplificateur opérationnel ne fonctionne pas de manière linéaire dans ce montage.
- ☞ La tension  $e(t)$  est tout d'abord choisie continue, délivrée le GBF<sup>2</sup>. Déterminer expérimentalement et avec précision les seuils de basculement de la tension de sortie. Placer entre  $R_1$  et la masse une source de tension continue (délivrée par exemple par la source annexe de l'alimentation symétrique de l'A.O) de *f.e.m*  $E_0 = 2 \text{ V}$ . Mesurer les nouveaux seuils de basculement.
- ☞ On supprime la tension de référence  $E_0$ , la tension d'entrée est maintenant une tension sinusoïdale de fréquence comprise entre 10 Hz et 100 Hz et d'amplitude suffisante pour observer les basculements. Relever l'oscillogramme donnant  $s(t)$  en fonction de  $e(t)$ . Comment s'appelle cette courbe ?

2. Si *aucun* bouton poussoir n'est enfoncé, le GBF se comporte comme une source de tension continue dont la valeur est réglable grossièrement par le bouton d'offset et finement par le bouton d'amplitude.

### 5.3 Multivibrateur astable

- ☞ En disposant d'un condensateur  $C = 100\text{ nF}$  et d'une résistance  $R = 10\text{ k}\Omega$ , compléter le comparateur à hystérésis afin d'obtenir un *multivibrateur astable*<sup>3</sup>. Reporter le schéma de ce multivibrateur sur le cahier de T.P.
- ☞ Visualiser en concordance des temps, la tension de sortie et la tension aux bornes du condensateur.
- ☞ Mesurer la période  $T$  de ces signaux. Comparer avec la valeur théorique :

$$T = 2RC \ln \left( 1 + 2 \frac{R_1}{R_2} \right)$$

(à établir !)

- ☞ Proposer et réaliser les modifications du montage astable précédent nécessaires à l'obtention d'un signal de sortie carré, de rapport cyclique  $\alpha$  variable, compris entre  $-15\text{ V}$  et  $+15\text{ V}$ , puis entre  $0$  et  $+15\text{ V}$ .

---

3. On rappelle qu'un multivibrateur astable est oscillateur dont la grandeur de sortie varie de manière discontinue entre seulement deux états *instables* :  $-15\text{ V}$  et  $+15\text{ V}$ , ouvert et fermé, vide et plein,  $0$  et  $1$ , ...