

# Rétroaction

## Extrait du programme

La partie 1 illustre quelques propriétés relatives à la rétroaction sur l'exemple de l'amplificateur linéaire intégré. L'étude des circuits est strictement limitée à des situations pouvant être facilement abordées avec les outils introduits en première année (loi des mailles, loi des noeuds, diviseur de tension). La vitesse limite de balayage de l'ALI est uniquement évoquée en TP afin d'identifier les distorsions harmoniques traduisant un comportement non linéaire du système étudié. L'identification de certains montages à des systèmes bouclés permet de faire le lien avec le cours d'automatique de SII.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>1. Rétroaction</b>	
Modèle de l'ALI défini par des courants de polarisation nuls, une résistance de sortie nulle, une fonction de transfert du premier ordre en régime linéaire, une saturation de la tension de sortie, une saturation de l'intensité de sortie.	Citer les hypothèses du modèle et les ordres de grandeur du gain différentiel statique et du temps de réponse. Modéliser un ALI fonctionnant en régime linéaire par un schéma bloc fonctionnel.
Montages amplificateur non inverseur et comparateur à hystérésis.	Distinguer les différents régimes de fonctionnement.
Vitesse de balayage.	Identifier la manifestation de la vitesse limite de balayage d'un ALI dans un montage.
Cas limite d'un ALI idéal de gain infini en régime linéaire.	Identifier la présence d'une rétroaction sur la borne inverseuse comme un indice de stabilité du régime linéaire.
Cas limite d'un ALI idéal de gain infini en régime saturé.	Établir la relation entrée-sortie du comparateur simple. Pour une entrée sinusoïdale, faire le lien entre la non linéarité du système et la génération d'harmoniques en sortie. Établir le cycle du comparateur à hystérésis.

## Sommaire

- 1 Modèle de l'ALI**
  - 1.1 Composant électronique**
  - 1.2 Propriétés essentielles**
  - 1.3 Régimes de fonctionnement**
  - 1.4 Modèle idéal de l'ALI**
- 2 Principe de rétroaction**
  - 2.1 Montage amplificateur non inverseur (TP-cours 1)**
  - 2.2 Montage comparateur à hystérésis (TP-cours 2)**
- 3 Vitesse de balayage**

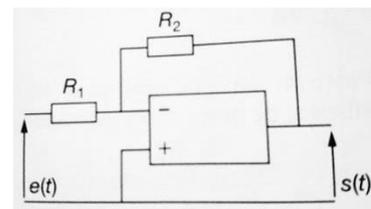
## 4 Questions de cours

- 1) Donner les hypothèses du modèle de l'ALI.
- 2) Donner les ordres de grandeur du gain différentiel statique et du temps de réponse d'un ALI en régime linéaire.
- 3) Modéliser un ALI fonctionnant en régime linéaire par un schéma bloc fonctionnel.
- 4) Donner le montage d'un amplificateur non inverseur. A quoi le reconnaît-on ?
- 5) Donner le montage d'un comparateur à hystérésis. A quoi le reconnaît-on ?
- 6) Qu'appelle-t-on vitesse de balayage ?
- 7) Dans quel cas un montage à base d'ALI est-il dit stable ?
- 8) Etablir la relation entrée-sortie du comparateur simple.
- 9) Pour une entrée sinusoïdale sur un comparateur simple, quelle est la forme du signal de sortie ? Que peut-on dire de son spectre ?
- 10) Établir le cycle d'un comparateur à hystérésis.

## 5 Exercices

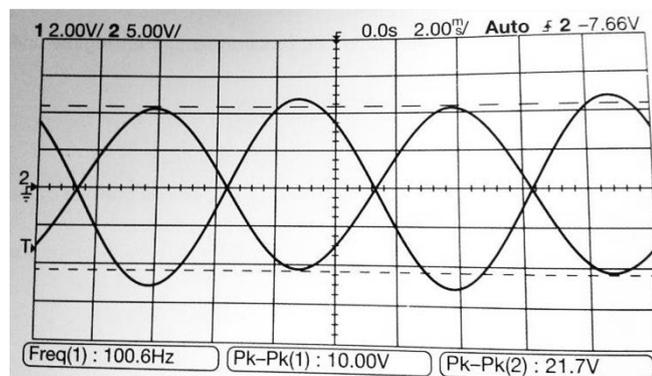
### 5.1 Etude d'un amplificateur inverseur

Un amplificateur intégré linéaire est associé à deux résistors  $R_1 = 33k\Omega$  et  $R_2 = 68k\Omega$  comme indiqué sur la figure suivante.



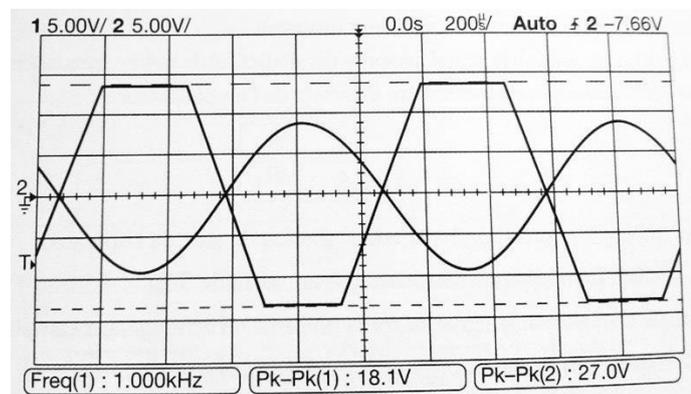
#### 1) Observations expérimentales

En appliquant un signal sinusoïdal d'amplitude crête à crête égale à 10,0 V de fréquence 100 Hz à l'entrée de cet opérateur, on obtient les oscillogrammes de la figure suivante. L'amplitude crête à crête du signal de sortie s'avère égale à 21,7V.

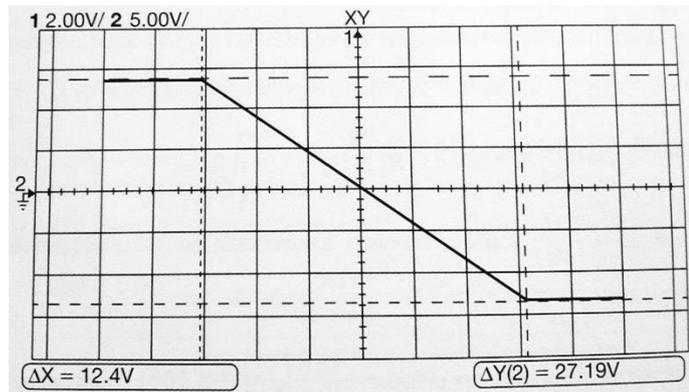


a) Commenter la forme des signaux et leur déphasage. Les observations quantitatives sont-elles conformes aux attentes, compte tenu des valeurs de résistances utilisées ?

b) Dans un deuxième temps, l'utilisateur applique un signal sinusoïdal d'amplitude crête à crête égale à 18,1 V, de fréquence 1,0 kHz à l'entrée du même dispositif et obtient les oscillogrammes suivants. L'amplitude crête à crête du signal de sortie s'avère égale à 27,0 V. Quel phénomène est apparu ? Que peut-on en déduire comme renseignement de l'amplitude crête à crête relevée en sortie ?



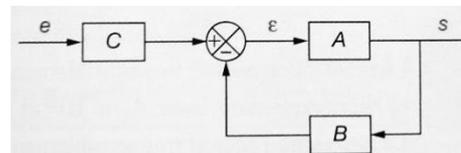
c) Avec les mêmes signaux, mais en sélectionnant le mode XY, le manipulateur obtient la trace représentée à la figure suivante. Expliquer. Quelle propriété de l'opérateur peut-on déduire de l'indication des curseurs :  $\Delta X = 12,4V$  et  $\Delta Y = 27,2V$  ?



2) Modélisation de la rétroaction

On souhaite tenir compte du gain différentiel fini, noté A, de l'amplificateur linéaire intégré. Pour cette étude, on suppose que l'amplitude du signal d'entrée est suffisamment faible pour qu'aucune saturation n'apparaisse.

a) On pose  $\varepsilon = V_+ - V_-$  différence de potentiels des entrées de l'amplificateur intégré. Proposer un schéma fonctionnel composé de 3 blocs linéaires, tels qu'indiqué sur la figure suivante.



b) Exprimer en régime stationnaire le rapport d'amplification  $G = \frac{s}{e}$  de l'opérateur et examiner le comportement dans la limite  $A \rightarrow \infty$ . Conclure.

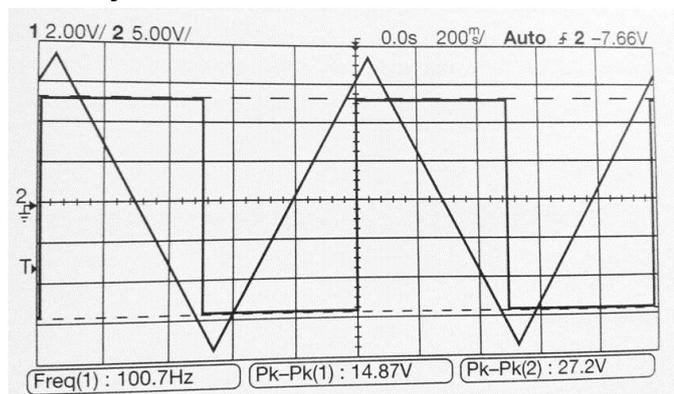
3) Etude de la bande passante

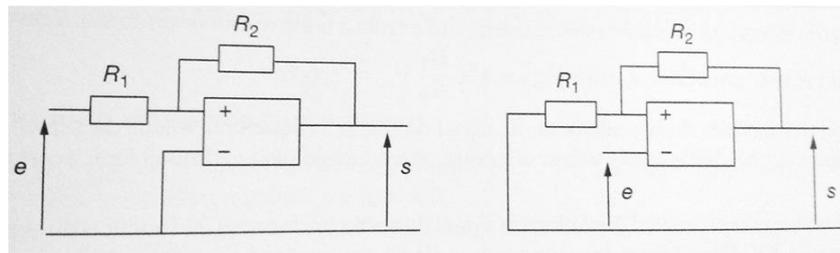
- a) Justifier que la bande passante de l'opérateur complet est fixée par celle du réseau bouclé formé par le soustracteur et les blocs A et B.
- b) En déduire l'expression de la bande passante de l'opérateur dans l'hypothèse d'un amplificateur linéaire intégré du premier ordre de gain statique  $A_0$  et de fréquence de coupure  $f_0$ .
- c) Proposer une valeur numérique. Conclure sur les observations effectuées au début de l'étude.

**5.2 Manipulation d'un comparateur à hystérésis**

Un comparateur à hystérésis a permis le relevé des oscillogrammes de la figure suivante, lorsque le signal d'entrée est un signal de forme triangulaire d'amplitude crête à crête égale à 14,9 V et de fréquence 100Hz.

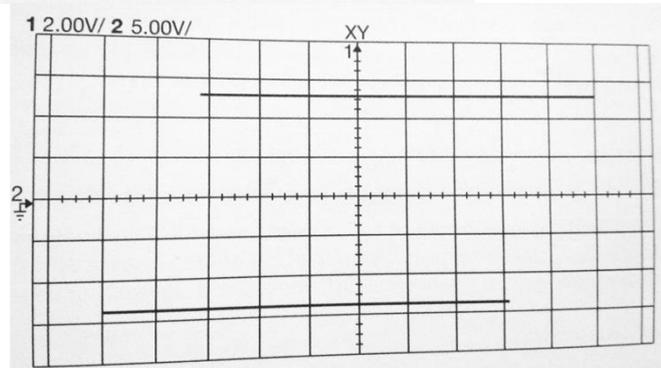
- 1) Laquelle des deux structures de la figure suivante a été utilisée ?
- 2) Les valeurs de résistances utilisées sont  $R_1 = 33k\Omega$  et  $R_2 = 68k\Omega$ . Les observations sont-elles cohérentes avec ce choix, sachant que l'amplitude crête à crête mesurée en sortie est égale à 27,2 V ?





3) Quel mode de visualisation à l'oscilloscope permet d'obtenir la courbe représentée sur la figure suivante ?

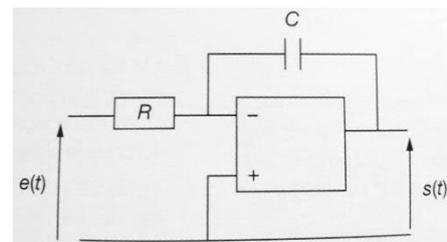
4) Pour cette dernière courbe, l'utilisation d'un signal d'entrée sinusoïdal aurait-elle donné le même relevé ?



### 5.3 Intégrateur réalisé à l'aide d'un amplificateur linéaire intégré

On considère l'opérateur de la figure suivante couramment appelé intégrateur-inverseur. On se propose de déterminer l'influence, sur sa fonction de transfert, de la variation de gain différentiel de l'amplificateur linéaire intégré avec la fréquence.

On utilisera les valeurs  $R = 1 \text{ k}\Omega$  et  $C = 100 \text{ nF}$  ainsi que les paramètres caractéristiques de l'amplificateur intégré : gain statique  $A_0 = 10^5$  et fréquence de coupure  $f_0 = 30 \text{ Hz}$ .



1) Dans le modèle d'ALI idéal, quelle est la fonction de transfert  $\underline{H} = \frac{s}{e}$  de l'opérateur ?

2) On tient compte à présent du gain fini  $\underline{A}_d$  de l'ALI. Proposer une nouvelle expression de la fonction de transfert, en faisant intervenir  $\underline{A}_d$ .

3) Dans le modèle d'un gain prenant la forme d'une fonction de transfert du premier ordre de gain statique  $A_0$  et de fréquence de coupure  $f_0$ , mettre la fonction, de transfert de l'opérateur sous la forme d'une fonction du second ordre.

4) Peut-on envisager une factorisation en un produit de fonctions de transfert du premier ordre ? Dans l'affirmative, quelles en sont les pulsations de coupure ?

5) La gamme des fréquences d'utilisation est choisie égale à  $[1 \text{ kHz} ; 1 \text{ MHz}]$ , quel comportement approché peut-on proposer pour l'opérateur ? Conclure.

## 5.4 Filtre actif

Le schéma suivant est celui d'un filtre actif, réalisé à l'aide d'un amplificateur linéaire intégré, que l'on supposera idéal. Le paramètre noté  $k$  est un nombre strictement supérieur à l'unité.

- 1) Quelle relation permet d'exprimer le potentiel de l'entrée + en fonction de la tension de sortie ?
- 2) Déterminer la fonction de transfert et la mettre sous

la forme : 
$$\underline{H}(j\omega) = \frac{H_0}{1 + 2j\sigma \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}$$

- 3) De quel type de filtre s'agit-il ?
- 4) Retrouver la valeur du gain statique sans calcul.
- 5) Quelle condition sur  $k$  assure la stabilité du circuit ?

